



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOMA KÖMÜR HAVZASINDA KÖMÜRLEŞME VE
HİDROKARBON OLUŞUMUNUN MODELLENMESİ**

Jeo.Müh. Kübra TIRPAN
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Prof.Dr. M.Namık YALÇIN

Temmuz, 2011

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOMA KÖMÜR HAVZASINDA KÖMÜRLEŞME VE
HİDROKARBON OLUŞUMUNUN MODELLENMESİ**

**Jeo.Müh. Kübra TIRPAN
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

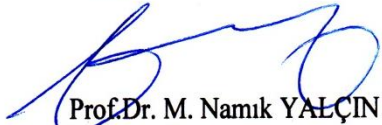
**Danışman
Prof.Dr. M.Namık YALÇIN**

Temmuz, 2011

İSTANBUL

Bu çalışma 05/09/ 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Uygulamalı Jeoloji programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. M. Namık YALÇIN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



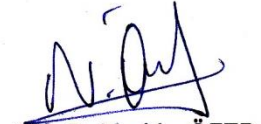
Prof. Dr. Hayrettin KORAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Sedat İNAN
TUBİTAK



Doç. Dr. Naşide ÖZER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 6672 numaralı projesi ve TÜBİTAK TARAL 1007 Programınca desteklenen 108G035 nolu projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Prof.Dr.M.Namık YALÇIN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

TÜBİTAK-MAM tarafından yürütülen “Soma Tersiyer Havzası’nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi” adlı proje kapsamında gerçekleşen bu çalışma için yardımlarını esirgemeyen Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Doç.Dr. Sedat İNAN’a, Jeo. Yüksek Mühendisi Fırat DUYGUN’a, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Yüksek Lisans öğrencisi Emre Korhan YAŞAR’a saha ve laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan, aileme teşekkür ederim.

Temmuz, 2011

Kübra TIRPAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.2. KAPSAM.....	2
1.3. ÇALIŞMA ALANI.....	3
1.3.1. İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.3.2. Akarsu ve Yükselti.....	4
1.3.3. Yerleşim Merkezleri,Ulaşım ve Ekonomi.....	4
2. GENEL KISIMLAR.....	7
2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MALZEME VE YÖNTEM	12
3.1. SAHA ÇALIŞMALARI.....	12
3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	14
3.2.1. Organik Jeokimyasal Yöntemler.....	14
3.2.2. Organik Petrografik Yöntemler.....	15
3.2.2.1.Vitrinit/Huminit Yansıması (%Ro) Ölçümleri.....	15
3.3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLEME ÇALIŞMALARI	17

4. BULGULAR.....	19
4.1. JEOLojİ.....	19
4.1.1. Stratigrafi.....	21
4.1.2. Temel.....	24
4.1.3. Soma Formasyonu.....	24
4.1.3.1. Çakıltası-Kumtaşı-Siltaşı-Kiltaşı (M1).....	25
4.1.3.2. Alt Linyit Seviyesi (KM2).....	27
4.1.3.3. Marn (M2).....	27
4.1.3.4. Kireçtaşı (M3).....	29
4.1.3.5. Orta Linyit Seviyesi (KM3).....	30
4.1.4. Deniz Formasyonu.....	34
4.1.4.1. Kumtaşı-Siltaşı-Kil (P1).....	36
4.1.4.2. Üst Linyit Seviyesi (KP1).....	36
4.1.4.3. Marn- Kiltaşı-Tüf (P2ab).....	37
4.1.4.4. Kumtaşı-Kiltaşı (P2c).....	38
4.1.4.5. Silisifiye Kireçtaşı (P3).....	38
4.1.5. Tüfler (Plt).....	39
4.1.6. Örtü Volkanitleri (v).....	39
4.1.7. Alüvyon (Qal).....	39
4.2. KÖMÜRLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL ve PETROGRAFİK	
ÖZELLİKLERİ.....	44
4.2.1 Rock-Eval Piroliz Sonuçları.....	45
4.2.2 Vitrinit Yansıması (%Ro) Ölçümleri	49
4.3. KÖMÜRLEŞME ve HİDROKARBON OLUŞUMUNUN	
MODELLENMESİ.....	52
4.3.1. Soma Havzası Jeolojik Evriminin Kavramsal Modeli	56
4.3.2. Kontrol Parametreleri.....	59
4.3.3. Kavramsal Modelin Kalibrasyonu	61
4.3.4. Tek Boyutlu Modelleme.....	63
4.3.5. İnpıt (Girdiler)	63
4.3.6. Modelleme Sonuçları.....	70
4.3.6.1. Gömülme Tarihçesi.....	70
4.3.6.2. Sıcaklık Tarihçesi	71

4.3.6.3. Kömürleşme Tarihçesi (Olgunluk).....	72
4.3.6.4. Hidrokarbon oluşumu.....	74
4.3.7. İki Boyutlu Modelleme.....	76
4.3.8. Input (Girdiler)	78
4.3.9. Modelleme Sonuçları.....	84
4.3.9.1. Gömülme..	84
4.3.9.2. Sıcaklık.....	92
4.3.9.3. Kömürleşme Tarihçesi (Olgunluk).....	95
4.3.9.4. Hidrokarbon oluşumu.....	97
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Çalışmanın genel akış şeması.....	3
Şekil 1.2	: Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası	5
Şekil 1.3	: Çalışma Alanının Doruk ve Akarsu Ağı Haritası.....	6
Şekil 3.1	: Çalışma sahasındaki sondajların konumları (Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi Tübitak-MAM 3. Gelişme raporundan alınmıştır).....	13
Şekil 3.2	: Epoksi dökülmüş kalıplar.....	16
Şekil 4.1	: Türkiye'nin neotektonik birlikleri (Bozkurt, 2003).....	19
Şekil 4.2	: Batı Anadolu grabenleri (Bozkurt, 2001'den değiştirilerek).....	20
Şekil 4.3	: Soma-Eynez, Kınık-Yaylaköy civarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Tan ve diğer, 2008). Pltv birimine V ile gösterilen andezitik-bazaltik kayalar pembe ile gösterilerek eklenmiştir.....	22
Şekil 4.4	: Çalışma alanının jeoloji haritası (Tan ve diğ.,2008 ve arazi çalışmalarından derlenerek oluşturulmuştur. Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi Tübitak-MAM 3. Gelişme Raporundan alınmıştır).....	23
Şekil 4.5	: Soma kömür havzasında ayırtlanan fasiyesler (İnci, 2002'den değiştirilerek).....	26
Şekil 4.6	: Alt linyit (KM2) seviyesinin çökelme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002).....	29
Şekil 4.7	: Orta linyit (KM3) seviyesinin çökelme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002).....	31
Şekil 4.8	: Batı Kısırak Deresi panosundan bir görünüm.....	32
Şekil 4.9	: RockWorks 14 programından elde edilen havzadaki Soma Formasyonunun yayılımı.....	33
Şekil 4.10	: Üst linyit (KP1) seviyesinin çökelme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002).....	37
Şekil 4.11	: Volkanik Örtünün görünümü.....	40
Şekil 4.12	: RockWorks 14 programından elde edilen havzadaki Deniz Formasyonunun yayılımı.....	41
Şekil 4.13	: Soma Kömür Havzasında yapılan çalışmaların karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.14	: Modelleme çalışması için tüm yayınlar derlenerek oluşturulan genelleştirilmiş stratigrafik kesit.....	43
Şekil 4.15	: Petrografik analiz için seçilen örneklerin HI - Tmax diyagramındaki konumları.....	45
Şekil 4.16	: Kömür örneklerinin detaylı HI - OI diyagramı (Redding, C.E. ve diğ., 1980).....	48

Şekil 4.17	: Kömür örneklerinin HI - Tmax kerojen tipi sınıflama diyagramında (Mukhopadhyay, 1995) dağılımları.....	49
Şekil 4.18	: Ro (%)- Derinlik değişim grafiği.....	51
Şekil 4.19	: Modelleme çalışmalarındaki genel akış şeması (Yalçın,1997).....	54
Şekil 4.20	: Tek ve iki boyutlu modelleme yapılan kuyu/kesit konumları.....	55
Şekil 4.21	: Soma Havzasının B-D yönündeki genelleştirilmiş zaman-kaya stratigrafi kesiti	57
Şekil 4.22	: Soma Havzasının KD-GB yönündeki genelleştirilmiş zaman-kaya stratigrafi kesiti.....	58
Şekil 4.23	: Modelleme çalışmasında kalibrasyon amaçlı kullanılacak vitrinit yansıması–derinliktrendi.....	60
Şekil 4.24	: Modellemeye ait paleo batimetri, sediman/su arayüzü sıcaklığı, ısı akısı değerleri.....	61
Şekil 4.25	: E-314 nolu kuyuya ait hesaplanan sıcaklık ve olgunluk değerlerinin ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.26	: Tek boyutlu modelleme yapılan kuyuların konumları.....	64
Şekil 4.27	: E-311 nolu kuyuya ait gömülme diyagramı.....	66
Şekil 4.28	: E-311 nolu kuyuya ait hesaplanan sıcaklık ve olgunluk değerlerinin ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.29	: E-311 Nolu kuyuda modelleme sonunda elde edilen gömülme diyagramı.....	70
Şekil 4.30	: KM2 birimine ait farklı sıcaklık-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.31	: E-311 Nolu kuyuya ait sıcaklık -zaman grafiği	72
Şekil 4.32	: KM2 birimine ait %Ro -zaman grafiği	73
Şekil 4.33	: E-311 Nolu kuyuya ait %Ro -zaman grafiği.....	73
Şekil 4.34	: KM2 birimine ait Hidrokarbon oluşturma potansiyeli grafiği	74
Şekil 4.35	: E-311 Nolu kuyuya ait Hidrokarbon oluşturma potansiyeli grafiği.....	75
Şekil 4.36	: Hipotetik kuyuya ait Hidrokarbon oluşturma potansiyeli grafiği.....	76
Şekil 4.37	: İki boyutlu modelleme yapılan kesit güzergahları (Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi projesi 4. Gelişme raporundan alınmıştır.....	77
Şekil 4.38	: Havzanın Güneyinden KB-GD doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit.....	78
Şekil 4.39	: Havzanın Kuzeyinden KB-GD doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit.....	79
Şekil 4.40	: Havzanın KD-GB doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit.....	79
Şekil 4.41	: Vitrinit yansıması değerlerinin derinlik ve yüksekliğe göre konumlandırılması.....	80
Şekil 4.42	: Kesit 1'in Derinlik-% Ro grafiği.....	81
Şekil 4.43	: Kesit 2'nin Derinlik-% Ro grafiği.....	82
Şekil 4.44	: Tek ve İki boyutlu model sonuçlarının karşılaştırılması	83
Şekil 4.45	: Kesit 3'ün Derinlik-% Ro grafiği.....	83
Şekil 4.46	: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları.....	84
Şekil 4.47	: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları.....	85
Şekil 4.48	: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları.....	85

Şekil 4.49	: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3- Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları	86
Şekil 4.50	: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) günümüz konumları.....	87
Şekil 4.51	: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları.....	87
Şekil 4.52	: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları.....	88
Şekil 4.53	: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları.....	88
Şekil 4.54	: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3- Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları	89
Şekil 4.55	: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3- Pltv) günümüz konumları.....	89
Şekil 4.56	: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları.....	90
Şekil 4.57	: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları.....	90
Şekil 4.58	: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları.....	91
Şekil 4.59	: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3- Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları	91
Şekil 4.60	: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) günümüz konumları.....	92
Şekil 4.61	: Kesit 1 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö).....	92
Şekil 4.62	: Kesit 2 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö).....	93
Şekil 4.63	: Kesit 3 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö).....	93
Şekil 4.64	: Kesit 1 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (günümüzde).....	94
Şekil 4.65	: Kesit 2 sıcaklık değerlerinin dağılımı (günümüzde).....	94
Şekil 4.66	: Kesit 3 değerlerinin dağılımı (günümüzde).....	95
Şekil 4.67	: Kesit 1 ait kömürleşme derecesi.....	96
Şekil 4.68	: Kesit 2 ait kömürleşme derecesi.....	96
Şekil 4.69	: Kesit 3 ait kömürleşme derecesi.....	97
Şekil 4.70	: Kesit 1 hidrokarbon oluşumu.....	98
Şekil 4.71	: Kesit 2 hidrokarbon oluşumu.....	98

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Havza modellemesindeki farklı metotların karşılaştırılması (Hermanrud,1993; değiştirilerek).....	11
Tablo 3.1	: Proje kapsamında örnek alınan sondajlarda Alt kömür damarının konumu ve kalınlığı.....	12
Tablo 4.1	: Tmax ve organik madde olgunlaşma dereceleri (Tissot,B.; Welte, 1984).....	46
Tablo 4.2	: Rock-Eval Piroliz Analiz sonuçları.....	46
Tablo 4.3	: Kömür örneklerinin vitrinit yansıma değerleri.....	50
Tablo 4.4	: Vitrinit Yansıma değerlerine göre olgunlaşma derecesi (Tissot,B.; Welte,1984).....	51
Tablo 4.5	: Kavramsal modele ait input (girdi) değerleri.....	65
Tablo 4.6	: Birimlere ait ısı iletkenlik, özgül ağırlık, kompaksiyon katsayısı değerleri.....	67
Tablo 4.7	: Kömür örneklerine ait HC (Hidrokarbon) oluşum potansiyeli ve HC oluşumunun kinetik parametreleri (Yalçın vd.,2000).....	69

ÖZET

SOMA KÖMÜR HAVZASINDA KÖMÜRLEŞME VE HİDROKARBON OLUŞUMUNUN MODELLENMESİ

Soma Kömür Havzası Türkiye'nin ekonomik olarak linyit üretimi yaptığı linyit sahalarından birisidir. Bölgede 3 farklı kömür seviyesi bulunmaktadır. Bu seviyeler; Alt, Orta ve Üst Linyit Seviyeleri'dir. Bu çalışma kapsamında incelenen kömür seviyesi Alt Kömür Seviyesi (KM2)'dir. Havzada, TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri) ve TÜBİTAK – MAM (Marmara Araştırma Merkezi) Yer Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından yürütülen proje kapsamında, Havzasının kömür kökenli gaz potansiyelinin araştırılması çalışmalarının bir bölümünü, havza genelinin bilgisayar destekli modellenmesi oluşturmaktadır.

2009 yılında başlatılan bu proje kapsamında, havzada açılan bu kuyulardan elde edilen veriler kullanılarak KM2 kömürlerinin kömürleşme sürecinin modellenmesi ve varsa hidrokarbon oluşumunun ortaya konması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda son yıllarda açılmış olan sekiz kuyu (E-311, E-314, E-315, E-319, E-320, E-321, E-330, E-333) PetroMod yazılımı kullanılarak tek-boyutlu (1-D) olarak modellenmiştir. 1-D modellemeye ek olarak belirlenen KD-GB ve KB-GD yönlü iki kesit boyunca iki boyutlu (2-D) modelleme de yapılmıştır. Modelleme çalışmalarının genel akış şeması uyarınca ilk aşamada havzanın jeolojik evriminin bir kavramsal modeli oluşturulmuştur. Havzanın genelleştirilmiş stratigrafi kesitinin ve bölgesel jeolojik verilerin ışığında Neojen yaşlı istifin çökelmeye başladığı dönemden (18.5 Ma öncesinden) başlayarak günümüze kadar toplam 11 ayrı evre tanımlanmıştır. Bunlardan dokuzu çökeltme, ikisi ise aşınma evresidir. Aşınma evreleri, Soma Formasyonu ve Deniz Formasyonu arasındaki ve volkanoklastik birimin çökeltmesinin ardından meydana gelmiş aşınma evreleridir. Çökelmeyle temsil edilen evreler ise, yaşlıdan gence, M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv olarak sıralanmaktadır. Kavramsal modelin oluşturulması bağlamındaki bir sonraki aşamada tanımlanmış olan her evre için bir dizi parametre tanımlanarak (litoloji, yaş, paleo-batimetri, paleo-ısı akısı ve paleo-sediman/su arayüz sıcaklıkları) ilk input verileri oluşturulmuştur. Oluşturulan kavramsal modelin kalibrasyonu için kuyulardan alınmış olan kömür örneklerinde ölçülen vitrinit yansıması değerleri kullanılmıştır. Yansıma değerlerinin her bir kuyuda oldukça kısa bir aralığı temsil ediyor olması nedeniyle, daha güvenilir bir kalibrasyon için kuyularda ölçülmüş değerlerin tümü birden kullanılmıştır. Kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında özellikle ısı akısı değerlerinin zamana bağlı değişimlerinin ve son iki milyon yıldaki aşınma miktarlarının belirlenmesi, bölgenin jeolojik ve yapısal evriminin ışığında şekillendirilmiş ve optimize edilerek kesinleştirilmiştir. Kesinleştirilen kavramsal modelin ışığında hazırlanan input verileri kullanılarak sekiz kuyunun 1-D (tek boyutlu) ve üç kesit 2-D (iki boyutlu) modellemesi tamamlanmıştır. Modelleme

sonuçları, kömürleşme sürecindeki en kritik evrenin alt kömür damarının maksimum derinliğe gömüldüğü günümüzden 5 ila 2 milyon öncesi (GÖ 5-2) dönem olduğunu ve ulaşılan kömürleşme derecesinin bu dönemde çökelmiş ve son iki milyon yılda'da kısmen aşındırılmış volkanoklastik birimin (Pltv) orijinal kalınlığı ile kontrol edildiğini göstermiştir.

Bu çalışma sonucunda, kömürün çok daha derinde bulunduğu ve henüz kuyu kontrolü bulunmayan havzanın güneybatı kesimlerinde, sürmekte olan proje kapsamında gerçekleştirilen sismik çalışmaların verileri kullanılarak yapılacak modelleme çalışmalarıyla, kömürleşme derecesinin önceden saptanması ve kömür işletmeciliğinin planlaması aşamasında kullanılması olanaklı hale gelmiştir.

Anahtar kelimeler; Soma Havzası , kömür, kömürleşme derecesi, hidrokarbon, Hidrokarbon oluşumu, modelleme

SUMMARY

MODELLING OF COALIFICATION AND HYDROCARBON GENERATION IN SOMA COAL BASIN

Soma coal basin in Western Anatolia is one of the lignite coal fields of Turkey. There are three lignite seams (Lower, Middle and Upper) in the Soma coalfield and with in the frame of study the Lower coal interval will be investigated. For this study, coal samples were collected from selected wells, drilled for stratigraphic purposes. Computer-aided modeling of the basin evolution is a major part of the study, which aims the determination of coalbed gas potential of the Soma Basin.

Within the frame of a multi-disciplinary project, launched in 2009, modeling of coalification of KM2 coals and of its temporal development is also aimed, using the data obtained from these wells. For this purpose, recently drilled eight wells (E-311, E-314, E-315, E-319, E-320, E-321, E-330, E-333) are modeled using the PetroMod 1-D basin modeling software. Two representative sections, striking NE-SW (one section) and NW-SE (two sections) are also modeled using the PetroMod 2-D basin modeling software. In accordance with the general flow chart of modeling studies, first a conceptual model of the geological evolution of the basin is constructed. In the light of the generalized stratigraphy of the basin and of the regional geology, for the time period starting from the onset of deposition of the Neogene sequence (18.5 Ma ago) upto the Present, 11 separate events are described. Nine of these events are depositional and two of them erosional. Erosional events are related to the unconformities between the Soma and the Deniş Formations and at the top of the volcanoclastic unit. Depositional events are represented from the oldest to youngest, by the M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3 and Pltv units. In the context of the construction of the conceptual model for each event, a number of parameters (lithology, age, paleo-bathymetry, paleo-heat flux and paleo sediment/water interface temperature) are defined to create the first input data. For the calibration of the conceptual model vitrinite reflectance values, measured in coal samples taken from wells, are used. Hereby, as reflectance trend at each well was limited to a relatively short depth interval, trends of all the modeled wells together were used, in order to ensure a more reliable calibration. During the calibration of the conceptual model, temporal changes of the heat flux values and the thicknesses of the eroded units during the last two million years, are optimized and finalized, in the light of the geological and structural evolution of the region. 1-D modeling of eight wells and 2-D modeling of three sections has been completed using the input data, prepared in the light of the finalized conceptual model. Modeling results showed, that the period of maximum burial during 5 to 2 Mabp and accordingly the original thickness of the unit Pltv, deposited during this period and was partly eroded subsequently, are the most critical parameters for the coalification of coal seam KM2.

With a new modeling study using data from seismic studies, conducted in the context of the ongoing multi-disciplinary project, it will be now possible to predict the coalification degree of KM2 coals in the southern part of the basin, where the coals are located much deeper ,but borehole control does not yet exist.

Key words ; Soma Basin, coal, coal rank,hydrocarbon generation ,modelling

1. GİRİŞ

Batı Anadolu Graben Sistemi içinde yer alan Soma Havzası GB-KD yönünde uzanan gerilmeli bir havzadır. Soma Havzası 600 milyon ton görünür rezervi ile ülkemizdeki önemli linyit sahalarından birisidir. Farklı alanlarda kullanılmak üzere her yıl 10 milyon ton linyit üretimi yapılmaktadır. Havzada Miyosen yaşlı 3 farklı kömür seviyesi bulunmakla birlikte, bunlardan stratigrafik olarak en altta yer alan ve “Alt Kömür Seviyesi-KM2” olarak adlandırılmış olanı arama ve işletme çalışmalarındaki hedeftir. Havzanın kuzeyinde açık ocak olarak işletme sürmekle birlikte, güneye doğru örtü kalınlığının arttığı kesimlerde kapalı ocak işletmeciliğine de başlanmıştır. Gelecekte kapalı işletmenin daha güneye doğru kaydırılması planlanmış olup, işletme öncesi planlama için sondajlı araştırmalar sürmektedir.

2009 yılında TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri) ve TUBİTAK-MAM (Marmara Araştırma Merkezi) Yer Bilimleri Araştırma Enstitüsü tarafından başlatılan “Soma Tersiyer Havzası’nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi” projesi kapsamında, kömür yayılımının özel bir jeofizik yöntemle saptanmasının yanı sıra, havzada açılan kuyulardan elde edilen veriler kullanılarak KM2 kömürlerinin kömürleşme ve hidrokarbon oluşturma sürecinin modellenmesi ve gelişimlerinin ortaya konması da hedeflenmiştir.

Kömürlerin hidrokarbon (petrol ve doğal gaz) oluşturma potansiyelinin belirlenmesinde, kritik unsurlardan birisi de hidrokarbon oluşumun zaman içindeki gelişiminin saptanmasıdır. Kömürde hidrokarbon oluşumunun, kömürün sıcaklık evrimi ile petrol-gaz oluşumunun kinetik özellikleriyle denetlendiği çok sayıda araştırmacı tarafından gösterilmiştir (Jüntgen 1966; Welte vd, 1988). Kinetik özelliklerin piroliz yöntemiyle saptanabilmesine karşın, sıcaklık evriminin doğru bir şekilde ortaya konması oldukça karmaşık bir problemdir. Gömülme diyagramları ile birlikte kullanılan jeotermik gradyan yöntemi çoğun yetersiz kalmaktadır (Yalçın ve Welte, 1988). Buna karşın,

günümüzde yaygın olarak kullanılan modelleme yöntemleri, çökel havzalarında ısı transferi sürecinin hesaplanmasını, dolayısıyla sıcaklık evriminin daha doğru bir şekilde saptanmasını olanaklı kılmıştır. Bu uygulamanın yerbilimlerine getirdiği en önemli yeniliklerden biri de, farklı disiplinlerden sağlanmış verilerin mantıksal ve sinerjetik bir bütünlük içinde kullanılması ve değişik jeolojik evrim senaryolarının test edilmesine olanak sağlamasıdır (Yalçın, 1997).

Soma Kömür Havzası'nda modellemeyeyle ilgili daha önce bir çalışma yapılmamış olup, sadece kömürlerin organik petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin saptanması süreci kapsamında sistematik olmayan kömürleşme derecesi (% Ro) ölçümleri yapılmıştır (Karayığit ve Whateley, 1997, Tan ve Diğ. 2008, Toprak, 2009). Bu çalışmada, Soma Kömür Havzası'nda Alt Kömür Seviyesinin kömürleşme sürecinin ve hidrokarbon oluşturma potansiyelinin modellenmesi çalışması ilk defa yapılmıştır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı Soma Kömür Havzası'nda kömürleşme ve HC (petrol ve doğal gaz) oluşumu sürecinin mekana ve zamana bağlı olarak gelişiminin ortaya konmasıdır. Modelleme çalışmalarıyla, kömürleşme derecesinin önceden saptanması ve işletme planlaması aşamasında kullanılması olanaklı hale gelecektir.

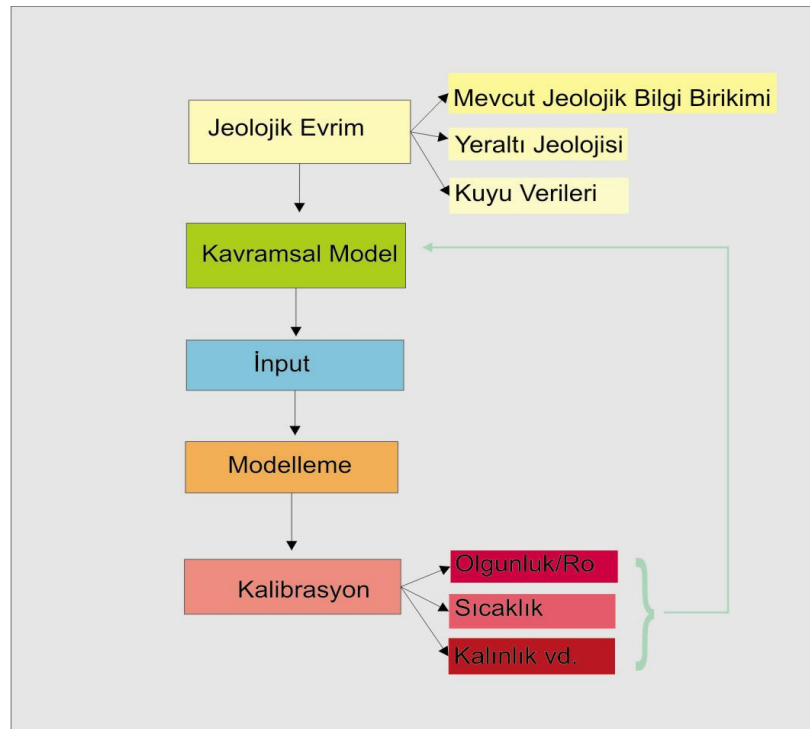
1.2. KAPSAM

Bu çalışmada öncelikle bölgeyle ilgili mevcut jeolojik bilgiler ve kuyu verileri kullanılarak Soma Havzası'nın jeolojik evrimi ortaya konmuştur. Daha sonra jeolojik evrime ilişkin kavramsal model oluşturulmuş ve kuyu verileri kullanılarak input verileri hazırlanmıştır.

Bilgisayar destekli modelleme çalışmasından önce, 96 adet sondaj verisi RockWorks 14 Demo yazılımına girilerek her bir kuyu için sondajda kesilen birim ve kalınlıkların yer aldığı veri tabanı oluşturuldu. Tek boyutlu ve iki boyutlu modelleme çalışmaları sırasında bu veri tabanından yararlanılmıştır. Modelleme çalışmaları kapsamında son yıllarda açılmış olan dokuz kuyu (E-311, E-314, E-315, E-318, E-319, E-320, E-321,

E-330, E-333) PetroMod yazılımı kullanılarak tek-boyutlu (1-D) olarak modellenmiştir. Yine havzada KD-GB yönlü bir ve KB-GD yönlü iki kesit boyunca iki boyutlu (2-D) modelleme yapılmıştır. 1D (Tek boyutlu) ve 2D (İki boyutlu) modelleme için IES-Petromod 10 v.10 yazılımı kullanılmıştır.

Sondajlardan alınan örneklerde, kömürün petrografik (vitrit yansıması) ve jeokimyasal (Tmax) özellikleri ile olgunluk derecesi belirlenmeye çalışılmış, elde edilen değerler kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında kullanılmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Çalışmanın genel akış şeması

1.3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Soma Kömür Havzası içerisinde; Soma ilçesinin yaklaşık 15 km güneybatısında; kuzeyde Arpaseki köyü, güneyde Arpadere köyü doğusu, batıda Kuşkayası mahallesi ile doğuda Eynez köyü arasında kalan alanda bulunmaktadır (Şekil 1.2).

Eynez sektörünü kapsayan İR 4009 numaralı ruhsat sahası Manisa-Soma ilçesinin güneybatısında, İzmir-Kınık ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır.

1.3.1. İklim ve Bitki Örtüsü

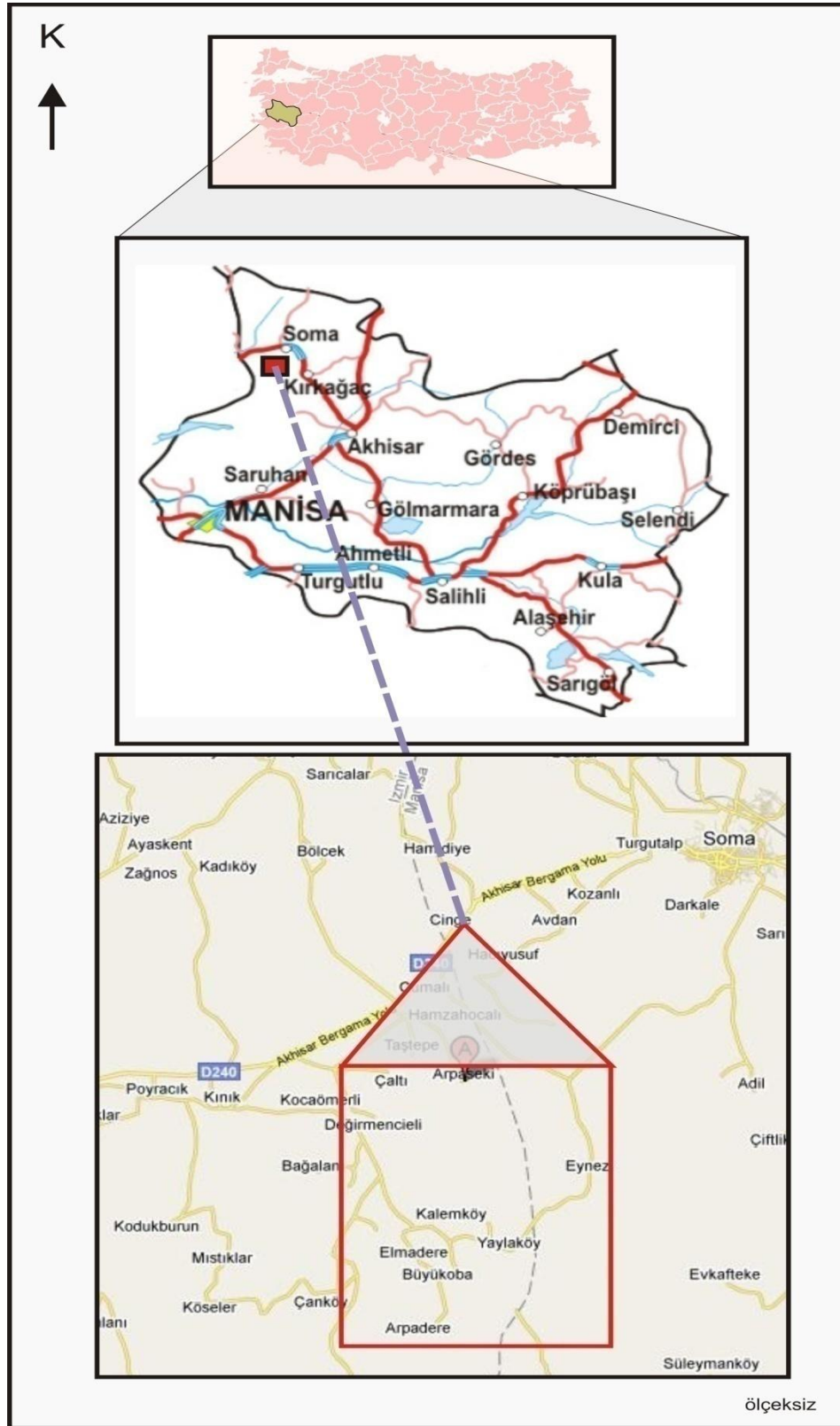
Yörede Akdeniz iklimi hüküm sürmekte olup yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Topoğrafyanın nisbeten yüksek ve eğimin çok olduğu alanlar genellikle çam ormanları yer yerde makilerle kaplıdır. Düz alanlarda tarlalar bulunmaktadır.

1.3.2. Akarsu Ve Yükseltiler

Çalışma alanında yönü batı ve güney olan kuru dereler mevcuttur. Bu dereler akış yönü kuzey olan Kara Dere ile bağlantılıdır (Şekil 1.3). Güneyde Somaklı Tepe (890 m), Sarı Tepe (822 m), doğuda Asar Tepe,Yığıltaş Tepe,Bozburun Tepe (858 m) ve kuzeyde Tuğla Tepe (684 m) arasında kalan çalışma alanında ortalama yükseklik 450-800 metre aralığındadır (Tan ve diğ.,2008).

1.3.3. Yerleşim Merkezleri, Ulaşım ve Ekonomi

Çalışma alanı içerisinde Kalemköy, Yaylaköy, Arpaseki, Dereköy, Elmadere ve kuzeydoğusunda Eynez Köyü bulunmaktadır. İdari bakımdan Eynez köyü Manisa-Soma ilçesine Kalemköy ve Yaylaköy İzmir-Kınık ilçesine bağlıdır. Yöre halkının bağlantıları Soma ve Kınık İlçesi ile olup, ulaşım asfalttır.



Şekil 1.2: Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası

Şekil 1.3: Çalışma Alanının Doruk ve Akarsu Ağı Haritası

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÖNCEKİ İNCELEMELER

Bu bölümde Soma Havzasının Jeolojisi ve Bilgisayar Destekli Modelleme çalışmaları hakkındaki önceki çalışmalar ayrı ayrı gruplar şeklinde değerlendirilecektir.

Soma Havzasının Jeolojisi İle İlgili Önceki Çalışmalar

Brinkmann, R., Feist, R., Marr, W. U., Nickel, E., Schlimm, W., Walter, H. R., 1970; Soma bölgesinin 1/25000 ölçekli jeolojik haritasını yapmış ve Neojen stratigrafisini açıklamıştır. Buna göre; temel kayalar üzerine uyumsuzlukla gelen Neojen birimlerini, üst kömür seviyesine kadar olan kısmı 6 tabakaya ayırmış ve Miyosen olarak yaşılandırmıştır. Bunun üzerine gelen birimleri 4 tabaka olarak incelemiş ve Pliyosen yaşını vermiştir.

Nebert, K., 1978; Linyit içeren Soma Neojen bölgesinin stratigrafi çalışmaları ile yapısal jeoloji analizlerini yapmıştır. Oluşturduğu kapsamlı sondaj projesinde 60 adet lokasyonda 16.533m sondaj yapılmıştır. Neojen istifinin Üst Miyosen Soma Formasyonu ile Alt Pliyosen Deniz Formasyonundan meydana geldiğini belirtmiştir. Alanın yapısal jeolojisinin Neojen öncesi ve sonrası olmak üzere iki tektonik evrede tamamlandığını ileri sürmüştür.

Akyürek, B., ve Soysal, Y., 1981; Bölgedeki Tersiyer volkanit ve sedimentlerin yayılımları ve stratigrafisini ortaya koymuşlardır. Yuntdağ volkanitleri ile bunlarla eş zamanlı akarsu ve göl sedimentlerinden oluşan Balıca formasyonu ve kömür içeren Soma formasyonunun her yerde kömürlü ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşında olduklarını belirtmişlerdir.

Ercan ve diğerleri, 1985; Batı Anadolu'da kuzeyden güneye doğru gençleşen bir volkanizma olduğunu ileri sürmüştür. Kuzeyde Üst Kretase yaşlı adayayı volkanizması, daha güneyde Paleosen-Eosen yaşlı Bağburun Formasyonu volkanitleri ile başlayan Tersiyer'in Eybek ve Kozak Plütonları ile süre gelmekte olduğunu, daha sonra Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Hallaçlar Formasyonu volkanitleri, Alt Miyosen yaşlı Dedetepe Formasyonu volkanitleri, Orta-Üst Miyosen yaşlı Yuntdağ volkanitlerinin gözlendiğini belirtmişlerdir. Pliyosen yaşlı Rahmanlar aglomasına karasal ortam ürünü çökellerin eşlik ettiğini belirtmişlerdir.

Tolganay, Y. ve Nakoman, E., 1988; Soma-Deniş bölgesinin jeolojisi hakkında kısa bir bilgi vermişlerdir. Deniş I ve Deniş II sektörlerinde kömür işletmesinin açık ocak şeklinde yapıldığını, Deniş I sektöründe Alt linyit kömür damarının işletildiğini A ve B panosunu kapsadığını, Deniş II sektöründe ise Üst linyit kömür damarının işletildiğini söylemişlerdir. İşletilen kömürlerin kısa analizini yaparak analiz sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

Gemici, Y., Akyol, E., Akgün, F., Seçmen, Ö., 1991; Soma kömür havzasında makro ve mikroflorasını incelemişlerdir. Havza florasının yaşının Orta Miyosen olduğunu, o dönemde sıcak ve nemli karakterli subtropik bir iklimin varlığını gösterdiğini ve gölün kenarında belirli bir türün baskın olduğu bataklık ormanı ile arka planda karışık Quercus-Pinus ormanı olduğunu belirtmişlerdir.

Takahashi, E. ve Jux, U., 1991; Bölgede yaptıkları paleontolojik çalışmada Soma linyit yatağı istifinin yaşının Miyosen olduğunu belirtmişlerdir.

Karayiğit, A.İ., Whateley, M. K. G., 1997; Soma Formasyonunda yer alan Alt linyit kömür damarının kısa, elementel, mineralojik, jeokimyasal ve petrografik analizini yapmışlardır. Florosans Spektroskopisi ve vitrinit yansıması ölçümleriyle kömürleşme derecesini belirlemişlerdir.

Soma formasyonuna Pliyosen-Pleyistosen süresinde olivin bazalt sokulumu olduğunu ve bu sokulumun Alt linyit kömür damarı üzerinde yerel kontakt metamorfizmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Alt linyit kömür damarı üzerinde yaptıkları analiz sonuçlarına

göre damarın kendi içinde normal kömür, geçiş zonu ve doğal kok olarak değişik metamorfizma derecelerine uğradığını belirlemişlerdir. Ayrıca analiz sonuçlarının damar içindeki dikey değişimlerini tablolar halinde vermişlerdir.

İnci, U., 1998.; Linyit yatağı içeren Deniz Formasyonu' nun çökelmeyle eş zamanlı oluşan patlamalı volkanizmadan etkilendiğini ve Deniz formasyonunda volkanoklastik alüvyal fanlar ile volkanik alüvyal düzlük çökelleri geliştiğini belirtmiştir.

İnci, U., 2002; Soma kömür havzasında Soma ve Deniz Formasyonları içerisinde 15 fasiyes ayırt etmiştir. Ayırt ettiği bu fasiyesleri tanımlayarak çökelme ortamlarını tek tek yorumlamıştır. Alt kömür istifinin alüvyal fan, geçici göl ve bataklık ortamlarında oluştuğunu ve bu istif içerisinde ortalama 20 metre kalınlıkta altbitümlü kömür geliştiğini belirtmiştir.

Tan, T., Ertürk, İ., Bekmezci, F., Altınay, A., 2008; MTA' nın Soma kömür havzasında önceden kömür yayılımını belirlemek ve rezerv hesabı için yapmış olduğu sondajlara ek olarak yapılan 8 adet sondajın verilerini değerlendirmişlerdir. Raporlarında bölgenin jeolojisini yapılan sondaj verileri doğrultusunda anlatarak, sondajlarda geçilen kömür horizonlarından (alt linyit, orta linyit ve üst linyit horizonları) alınan örneklerin kimyasal, jeokimyasal ve petrografik analiz sonuçlarını sunmuşlardır. Her üç kömür horizonu için de, yapılan sondajlardan elde edilen verilerin ışığında, ayrı ayrı rezerv ve kalite hesabı yapmışlardır.

Toprak, S., 2009; Türkiye' deki başlıca kömür yataklarının petrografik özelliklerini ve damarların formasyon özelliklerini yer aldıkları bölgenin kısaca jeolojisiyle birlikte değerlendirmiştir. Türkiye' deki kömürlerin genellikle düşük kömürleşme derecesine sahip olduğunu ve çoğunun Miyosen, Eosen ve Pliyosen yaşlı olduğunu söylemektedir. Farklı lokasyonlardan aldığı 190 adet kömür örneğinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini değerlendirerek çökelme ortamları ve içeriklerini yorumlamıştır. Bütün kömür örneklerinin benzer petrografik özelliklere sahip olduğunu ve çoğunun göl ortamında depolandığını söylemiştir. Kömürlerde bulunan en bol maseral grubunun Hüminit, maseralın ise Gelinit olduğunu ve örneklerdeki maseral bileşimlerinin büyük benzerlikler gösterdiğini belirtmiştir.

Modelleme İle İlgili Önceki Çalışmalar

Modelleme çalışmaları 1960'lı yılların sonlarından itibaren jeolojide kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta daha çok olasılık hesaplarına dayalı matematiksel modeller kullanılmıştır (Bonham-Carter ve Harbaugh; 1968, Harbaugh ve Bonham-Carter; 1970). Bilgisayar teknolojinin gelişmesi ve deterministik modelleme yöntemiyle birçok jeolojik sürecin simülasyonu bu bunların birlikte kullanılmasıyla sedimenter havzaların gelişimlerinin modellenmesi olanaklı hale gelmiştir (Welte ve Yükler, 1981; Welte ve Yalçın, 1988; Yalçın ve Welte 1988; Yalçın, 1991).1980'lerin başlarında Illinois Üniversitesi, South Carolina Üniversitesi, Fransa Petrol Enstitüsü ve IES Almanya havza modellemesi üzerinde önemli çalışmalarda bulunmuştur (Tablo 2.1).

IES Almanya, Yükler ve Welte (1980); 3 boyutlu modelleme üzerinde çalışmışlar, sıvı akışı, kompaksiyon, ısı transferi ve hidrokarbon oluşumu gibi süreçleri 3 boyutlu modellemeye entegre etmişlerdir. Welte ve Yükler (1981). 3 boyutlu modelleme ile ilgili çalışmalarını bir çökel havzasında test etmişlerdir.

Fransa Petrol Enstitüsü, Durand ve diğ., (1984), Petrol oluşumu ve göç mekanizmasının 2 boyutlu modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Bu model, Doligez ve diğ., (1986), Tissot ve diğ., (1987), ve Ungerer ve diğ.,(1990) tarafından yapılan çalışmalarda daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Illinois Üniversitesi, Bethke (1985), kompakte olan sedimenter bir havzadaki ısı ve sıvı akışının modellenmesi ile ilgili çalışmıştır. Burada yapılan modelleme çalışmaları daha çok su akışı ve basınç artışı ile ilgilidir.

South Carolina Üniversitesi, Lerche ve Glezen (1984), modelleme çalışmalarında daha önce yapılan çalışmalardan farklı bir ölçek kullanmışlardır. Bu çalışmada kompaksiyona uğrayan sedimenter birimlerin porozite düşüşleri kontrol parametresi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.1: Havza modellesindeki farklı metotların karşılaştırılması (Hermanrud,G.,1993; değiştirilerek)

	Koordinat Sistemi	Nümerik Metot	Geçici denklem P ve /veya T	Boyut	Porozite	HC oluşumu	HC atılması	k or K
1930-1983 yılları arasında								
Ortenblad,1930	E	A	P	1	TZ,C	-	-	K
Gibson, 1958	E	A,D	P	1	TZ,C	-	-	-
Paaswell,1967	E	A	P,T	1	TZ,C	-	-	K
Bredehoeft ve Hanshaw,1968	E	A	P	1	TZ,C	-	-	K
Smith,1971	E	A	P	1	TZ,EM	-	-	k
Domenico and Palciauskas,1973	-	A	P,T	2	-	-	-	K
Sharp ve Domenico,1976	E	D	P,T	1	TZ,C	-	-	K
Yükler et al.,1978	E	D	P,T	1	TZ,C	-	-	K
Royden et al.,1980	-	A	T	1	-	(+)	-	-
Sclater and Christie,1980	-	A*	-	-	Z,EM	(+)	-	-
Angevine,1983	E	A	T	1	Z,EM	+	-	-
De Bremaecker,1983	L	EL	T	1	-	(+)	-	-
1980'li yılların başları								
IES Almanya	E	D	P,T	3	TZ,C	+	+	K
Fransa Pet. Enstitüsü	L	D,EL	P,T	2	TZ,EM	+	+	K
Illinois Üniversitesi	L	D	P,T	2	TZ,EM	-	-	K
South Carolina Üniversitesi	L,F	D	P,T	2	TZ,EM	+	+	K
1985-1992 yıllar arasında								
Keiht ve Rimstidt, 1985	E	D	P	1	TZ,EM	-	-	K
Rosenlat,1985	E	A	P	2	TZ,EM	-	+	k
Haugerud,1986	-	D	T	1	-	-	-	-
Shi ve Wang,1986	L	EL	P	1	TZ,C	-	-	k
Bianchard,1987	E	EL	P	2	TZ,C	-	-	K
Pedesen, 1987	L	D	T	2	Z,EM	(+)	-	-
Deming ve Champman,1988	-	EL	-	2	Z,EM	-	-	-
Deming ve Champman,1989	E	D	T	1	Z,EM	(+)	-	-
Mudford,1990	L	D	P	1	TZ,EM	+	+	k
Henry ve Wang, 1991	L	EL	P,T	2	TZ,C	-	-	k
Hermanrud et al.,1991	L	EL	P,T	2	TZ,EM	(+)	+	k
Özkaya,1991	E	D	P	1	TZ,EM	+	+	k

E	Euler koordinat sistemi	TZ	Porozite azalması Terzaghi (1925)
L	Lagrangian koordinat sistemi	C	Sediment sıkışabilirliğinden hesaplanan porozite
F	Kesirli koordinat sistemi	Em	Ampirik porozite değeri (Derinlik/efektif basınç)
A	Analitik çözüm	Z	Derinlik/porozite arasındaki ilişkiden sıkışmanın hesaplanması
D	Sonlu metot	-	Modele dahil
A*		+	Modele dahil değil
EL	Sonlu elemanlar yöntemi	(+)	Olgunluk
P	Sürekli akışkan	k	Permabilite
T	Sıcaklık	K	Hidrolik konduktivite

3. MALZEME VE YÖNTEMLER

Bölgenin jeolojisini, havzanın stratigrafisini ve yapısal özelliklerini belirlemek, gelişimini anlamak ve bunların doğrultusunda ana linyit kömür damarının havzadaki konumu ve yayılımını belirlemek, analiz sonuçlarını sağlıklı yorumlamak için önemlidir. Bu bilgilerin elde edilmesi için bölgede daha önce yapılmış mevcut çalışmalar değerlendirilmiş ve gerekli bilgilerin derlenmesine çalışılmıştır.

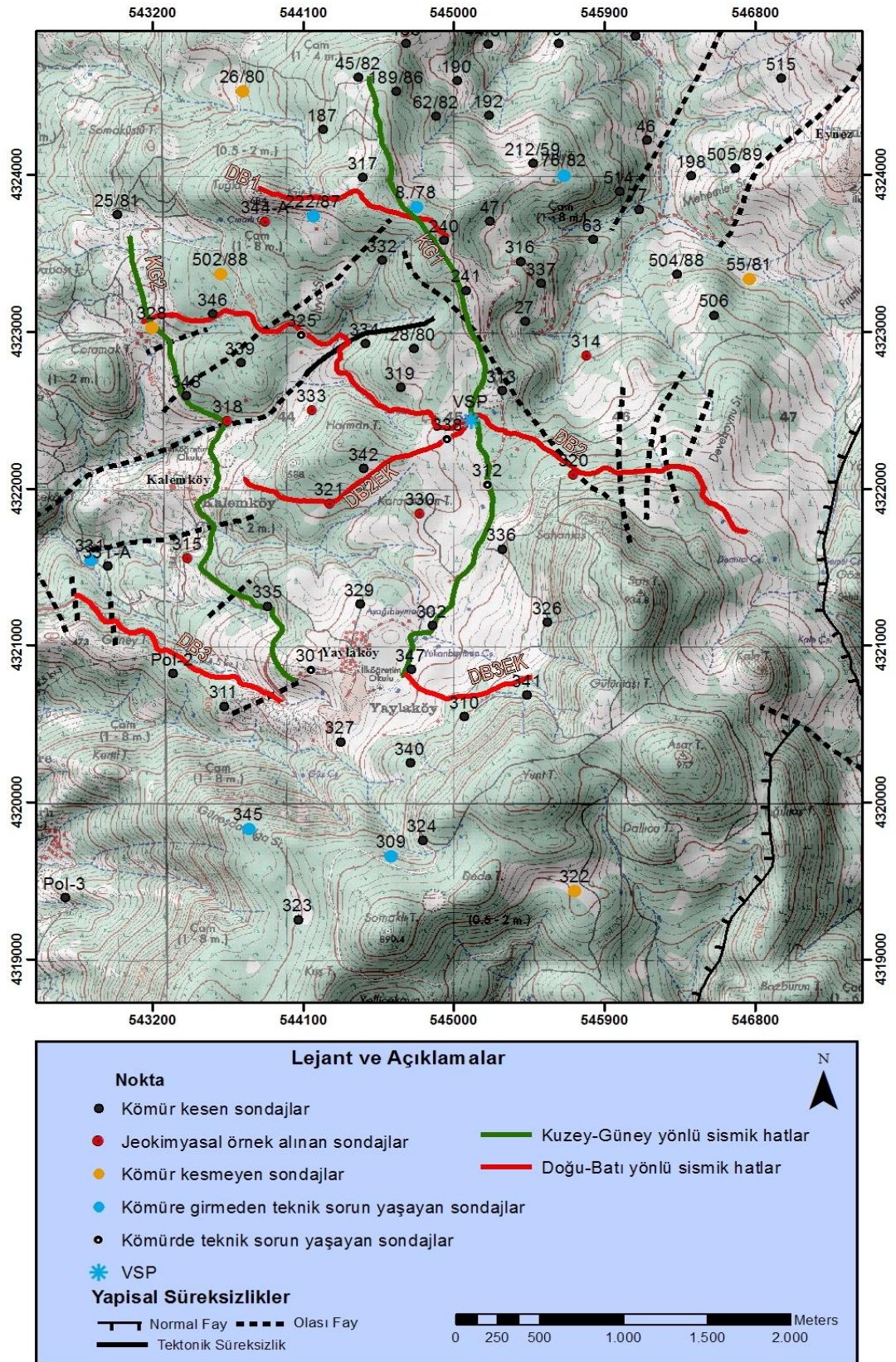
3.1. SAHA ÇALIŞMALARI

Bu çalışma kapsamında incelenen kömür seviyesi Miyosen yaşlı Soma Formasyonu içerisinde yer alan Alt Kömür seviyesidir (KM2). Havzadaki Tersiyer istifinin dağılımı, kömürlerin özellikleri ve üretim için rezervlerin hesaplandığı çalışmalar MTA (Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü) ve TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu) tarafından ortaklaşa sürdürülmüştür ve günümüzde bu çalışmalar hala devam etmektedir. Bölgede daha önce MTA tarafından yapılmış ve hala devam eden birçok sondaj bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında havzayı temsil edecek şekilde seçilen sondajlara ait karotlardan Alt Kömür seviyeleri bütün damarı temsil edecek şekilde örneklenmiştir. Seçilen 8 adet sondajdan toplam 60 adet örnek alınmıştır. Seçilen sondajların dağılımı Şekil 3.1' de, örnek alınan sondajlarda Alt Kömür damarının coğrafi ve stratigrafik konumu Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1:Proje kapsamında örnek alınan sondajlarda Alt kömür damarının konumu ve kalınlığı

Sondaj no	UTM ED50 Z35		Sondaj giriş kotu (m)	KM2 damarı giriş derinliği (m)	KM2 damarı çıkış derinliği (m)	KM2 Kömür tabakasının kalınlığı (m)
	X	Y				
314	545794	4322850	549,4	576,4	591,4	15
315	543411	4321557	462	824,6	830,5	6
318	543649	4322433	456,39	733,1	743,2	10
319	544602	4322496	554,13	717,95	745,15	27
320	545716	4322089	674,1	617,5	630,5	13
321	544259	4321907	557,7	720,55	747,05	26,5
330	544008	4320695	598,85	776,8	802,1	25,3
333	544153	4322501	528,16	688,5	714,4	25,9



Şekil 3.1: Çalışma sahasındaki sondajların konumları (Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi projesinin Tübitak-MAM tarafından hazırlanan 3. Gelişme raporundan alınmıştır)

3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Alınan örneklerden petrografik ve organik jeokimyasal analizler yapılarak kömürün modelleme çalışmalarında kullanılacak olgunlaşma düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Petrografik analizlerle kömürlerin vitrinit yansıması değerleri, Rock Eval Piroliz analizleri ile kömürün toplam organik madde yüzdesi ve Tmax değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler havza gelişiminin kavramsal modelinin oluşturulması/oluşturulan modelin kalibrasyonu amacıyla kullanılmıştır.

3.2.1. Organik Jeokimyasal Yöntemler

Kömürlerin, TOC, hidrojen indeksi değerlerinin, organik madde türünün ve termal olgunluğunun belirlenmesi (kömürleşme derecesi) amacıyla Rock-Eval Piroliz yöntemi kullanılmıştır.

Rock-Eval Piroliz yönteminde, bir piroliz hücresi, bir iletken ve piroliz ürünlerinin kapamlara ve dedektörlere akmasını sağlayan bir ayıraçtan oluşan cihaz kullanılır. Dedektör olarak Alev İyonizasyon Dedektörü (FID) ve Termal İletkenlik Dedektörü (TCD) yararlanılır. Piroliz ürünü He veya N₂ gazı ile taşınır. Bu işlemten sonra bu ürünün yarısı doğrudan FID'ye, diğer yarısı ise önce bir CO₂ kapanına ve daha sonra TCD'ye gidecek şekilde ayrılır.

Rock-Eval Piroliz yönteminde analiz sonucu üç pik elde edilir. İlk iki pik FID'den alınan sinyaller, üçüncü pik ise TCD'den alınan sinyaldir. Birinci pik yaklaşık 300 °C'ye kadar olan piroliz sıcaklıklarındaki açığa çıkan ürünleri temsil eder. S₁ olarak sembolize edilen bu pik, kayaçtaki serbest hidrokarbonlardan elde edilen ürünler ile ilişkilidir. S₂ ise kerojenin ısısal parçalanması sürecinde gelişen HC (hidrokarbon) benzeri ürünlerin miktarını verir. S₂ piki ayrıca T_{max} parametresi vasıtasıyla olgunlaşma seviyesi hakkında bilgi verir. S₃ piki ile kerojen içerisindeki O₂ taşıyan fonksiyonel gruplardan piroliz süresince üretilen CO₂ miktarı belirlenir.

3.2.2. Organik Petrografik Yöntemler

Organik petrografi analizleri, kerojen adı verilen ve kayaçlar içindeki katı halde bulunan organik maddenin fiziksel ve optik özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan analizlerdir. Analizler, mikroskopik analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilir. Bu çalışmada üstten aydınlatmalı mikroskop kullanılmıştır.

Bu çalışmada petrografik analizler kapsamında vitrinit/huminit grubu maserallerinde yapılan hüminit (vitrinit) yansıması (%Ro) ölçümleri yapılmıştır.

3.2.2.1. Vitrinit/Huminit Yansıması (%Ro) Ölçümleri

Vitrinit yansıması ölçümleri, organik maddenin olgunluğunu (kömürleşme derecesi) tespit etmede kullanılan en etkili ve en güvenilir yöntemlerden biridir.

Çökellerle birlikte çökelme işlemine katılan bitkisel malzeme, jeolojik zaman içerisinde yine bu çökellerle birlikte gömülme işlemine maruz kalır. Kayaç içindeki bu bitkisel malzeme sıcaklık ve zamanın etkisiyle bir dizi fiziko-kimyasal değişim geçirir. Bu süreç sonunda, alifatik bileşenlerden arınmış, tamamen aromatik bileşenlerden oluşan bir kısım geriye kalır. Kimyasal yapıda meydana gelen bu değişim (kömürleşme), artan aromatikleşme (karbon içeriğinin artması ve hidrojen içeriğinin azalması) organik maddenin mikroskopta ışığı yansıtma derecesinin artmasına neden olur.

Vitrinit yansıması ölçümleri, belirli bir dalga boyuna (542 nm) sahip ışıktaki yansıması bilinen bir standart ile ölçümü yapılacak örneğin doğrudan karşılaştırılması prensibine dayanır (Teichmüller, 1974; Stach, 1982).

Çalışma kapsamında, Leitz Orthoplan/MPV-SP Photometer tip mikroskop, 32X objektif, ışığı kırma indisi 1.518 olan immersiyon yağı, kalibrasyon için safir (%0.592 Ro) standardı kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Epoksi dökülmüş kalıplar

Parlatma biriketleri hazırlanırken sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmiştir; Kömür örneklerinin herbiri için tabakalanmaya paralel ve dik olmak üzere parçalar seçilmiştir. Daha sonra bu parçalar kalıplara alınarak, kalıplara epoksi reçine, dondurucu ve hızlandırıcı dökülmüştür. Hazırlanan kalıplar sırasıyla 400 ve 600 gridlik zımpara aşamalarından geçirilerek kabaca aşındırılmıştır. Daha sonra Alüminyum tozu ile ince parlatma yapılmış ve keçe işlemi ile son parlatma yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan teknik, hüminit grubu maserallerin ısı/derinlik artışına bağlı olarak artan oranlarda ışığı yansıtma özelliğine dayalıdır. Örnek üzerine gönderilen ışık demeti, olgunlaşma düzeyinin bir fonksiyonu olarak değişik oranlarda yansıtılır. Yansımanın oranı mikroskoba bağlı elektronik fotometre sisteminden sayısal olarak okunur.

3.3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bir çökel havzasının gelişimi, genellikle son derece karmaşık ve çok sayıda süreç tarafından denetlenir. Bu süreçler, eşzamanlı ve birbirleriyle son derece sıkı bir ilişki içinde gelişirler. Zamana bağlı bu gelişimin dinamik oluşu her havzanın bir diğerinden farklı bir gelişim sunmasına neden olmaktadır. Havza gelişiminin modellenmesi için, gelişimin dinamiğinin gözetilmesine imkan veren bir modelleme yöntemi gerekmektedir. Bu amaçla yaygın olarak düz çözüm yöntemini kullanan deterministik-dinamik modeller kullanılmaktadır (Yalçın ve Welte 1988; Yükler 1984; Welte ve Yalçın 1988).

Herhangi bir sürecin veya çeşitli süreçlerden oluşan sistemlerin, deterministik-dinamik anlamda modellenmesindeki başlıca evreler şunlardır:

- a) Sürecin ve/veya sistemin tanımlanması
- b) Modelin oluşturulması
- c) Simülasyon yoluyla sistemin davranışının incelenmesi

Sistemin tanımlanması; yapılan gözlem, inceleme ve derlenen verilere dayandırılan bir işlemdir. Bu çerçevede, modellenmek istenen sistemin öğeleri arasındaki ilişkiler ve bu unsurların zamana bağlı değişimleri saptanır. Daha sonra sistemi ve gelişimini tanımlayan bir kavramsal model veya bir hipotez gerçekleştirilir ve buna dayalı olarak bir matematiksel model oluşturulur. Matematiksel modellerin simülasyonu, genellikle çok sayıda mantıksal ve matematiksel işlem gerektirdiğinden, modellemenin bilgisayar desteği olmaksızın gerçekleştirilmesi hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle, bilgisayar destekli simülasyon, bilgisayar programı haline dönüştürülmüş bir matematik model olarak tanımlanabilir (Harbough ve Bonham-Carter, 1970).

Bilgisayar programı yardımıyla, herhangi bir süreç veya bir sistemin modellenmesi ve sonuçların elde edilmesiyle, model sonuçlarının gerçek veriler ile karşılaştırılması aşamasına gelinir.

Bu aşamada, gerek kavramsal, gerekse matematiksel modelin doğruluğu test edildiği için, karşılaştırma ve denkleştirme işlemi önemlidir. Model sonuçları ile gözlem ve ölçüm sonuçları arasındaki uyum tatmin edici olmadığı takdirde, geriye dönülerek, kavramsal ve/veya sayısal modelde gerekli düzeltmeler yapılır. Bu işlem, uyum tatmin edici bir düzeye gelinceye kadar olarak tekrarlanır. Çok sayıda parametre için uyum sağlandığında, oluşturulan modelin gerçeğe uygun olduğuna karar verilerek, sistemin veya sürecin değişik koşullardaki davranışlarının incelenmesine başlanabilir (Yalçın,1997).

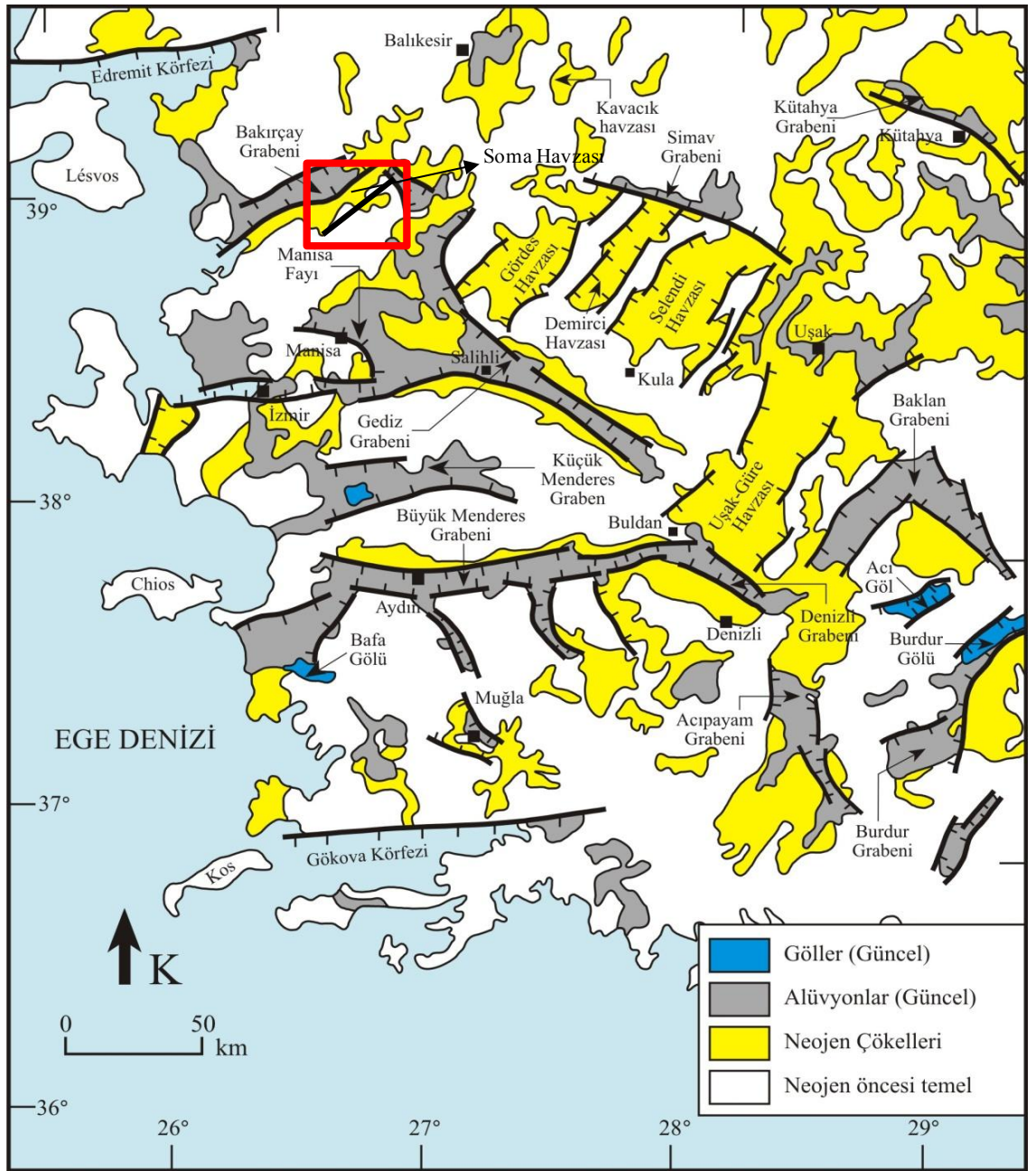
Kısaca tanımlanan bu yaklaşım kullanılarak ve aşağıdaki hususlar gözetilerek, Soma Havzasının gelişimi bir boyutlu olarak modellenmiştir:

- Bölgesel jeolojik konum, stratigrafi, yapısal jeoloji, litolojik özellikler, kalınlıklar, çökelme ortamı, vb özelliklerin saptanması.
- Eldeki tüm verilerin kullanılmasıyla, havza gelişiminin bir kavramsal modelinin oluşturulması.
- Modellenecek kuyuların seçimi ve gerekli girdi (input) verilerinin hazırlanması.
- Modelleme ve ölçme sonuçlarının yardımıyla kavramsal modelin kalibrasyonu.
- Model sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması.

Bir boyutlu modelleme için E-319, E-315, E-330,E-311,E-333,E-321,E-320,E-314 kuyuları kullanılmıştır. Input verilerinin hazırlanması amacıyla önce,

- Modellemenin başlangıç ve bitiş zamanının
- Farklı jeolojik-zaman ve zaman-kaya stratigrafi birimleri ile bunların niteliklerinin
- Zaman stratigrafi (Kronostratigrafi) birimlerinin litoloji ve bugünkü kalınlıklarının
- Çökelme ortamları ve su derinliği ile yüzey ve/veya çökelme sırasında deniz tabanındaki sıcaklıkların
- Isı akısının zamana bağlı değişimlerinin tanımlanması yapılmıştır.

1979; Le Pichon ve Angelier, 1981; Jackson ve McKenzie, 1988; Meulenkamp ve diğ., 1988; Meulenkamp ve diğ., 1994); orojenik çökme modeli, Geç Oligosen-Erken Miyosen'deki çarpışmanın ardından aşırı kalınlaşan kıta kabuğunun açılması ve incilmesi (Dewey, 1988; Seyitoğlu ve Scott, 1996) ile açıklanmaktadır. Önerilen bir diğer model ise iki aşamalı episodik modeldir ve Miyosen-Erken Pliyosen'de orojenik çökmeden kaynaklanan gerilme fazı ve buna Pliyokuvaterner'de Anadolu bloğunun batıya kaçışından kaynaklanan K-G gerilme fazının eklenmesi (Koçyiğit ve diğ., 1999) şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 4.2: Batı Anadolu grabenleri (Bozkurt, 2001'den değiştirilerek)

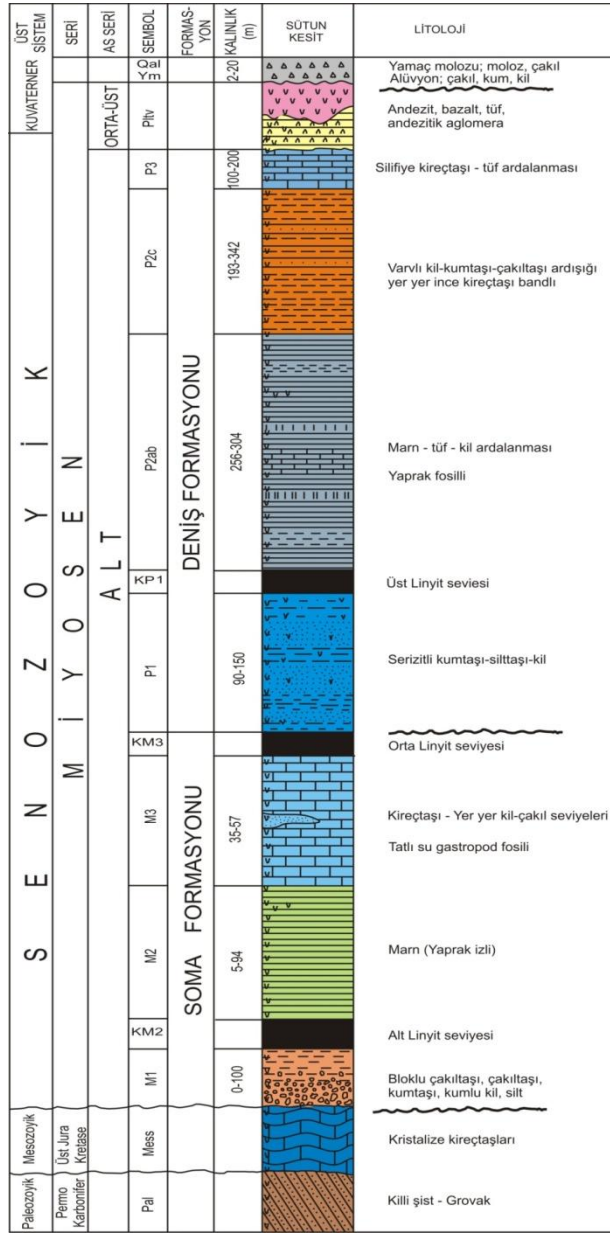
4.1.1. Stratigrafi

Paleozoyik yaşılv grovak ve şistler ile Mesozoyik yaşılv rekristalize kireçtaşları bölgenin temelini oluşturur. Temel üzerinde Miyosen yaşılv karasal çökeller (Soma ve Deniş Formasyonları) diskordan olarak yer alır. Alt-Orta Miyosen ve Üst Miyosen çökelleri birbirlerinden bir aşınma düzlemiyle ayrılan iki ayrı sedimanter çökelme evresini işaret eder. Miyosen yaşılv bu istif Pleyistosen dönemine ait andezit, tuf ve aglomeralar tarafından açısız uyumsuzlukla örtülür. Tüm bu birimler Kuvaterner yaşılv alüvyon ve yamaç molozları ile örtölmektedir (Nebert, 1959; Brinkmann ve diğ., 1970; Nebert, 1978; Seyitoğlu ve Scott, 1991; Karayığıt ve Whataley, 1997, İnci, 1998 ve 2002, Tan ve diğ., 2008).

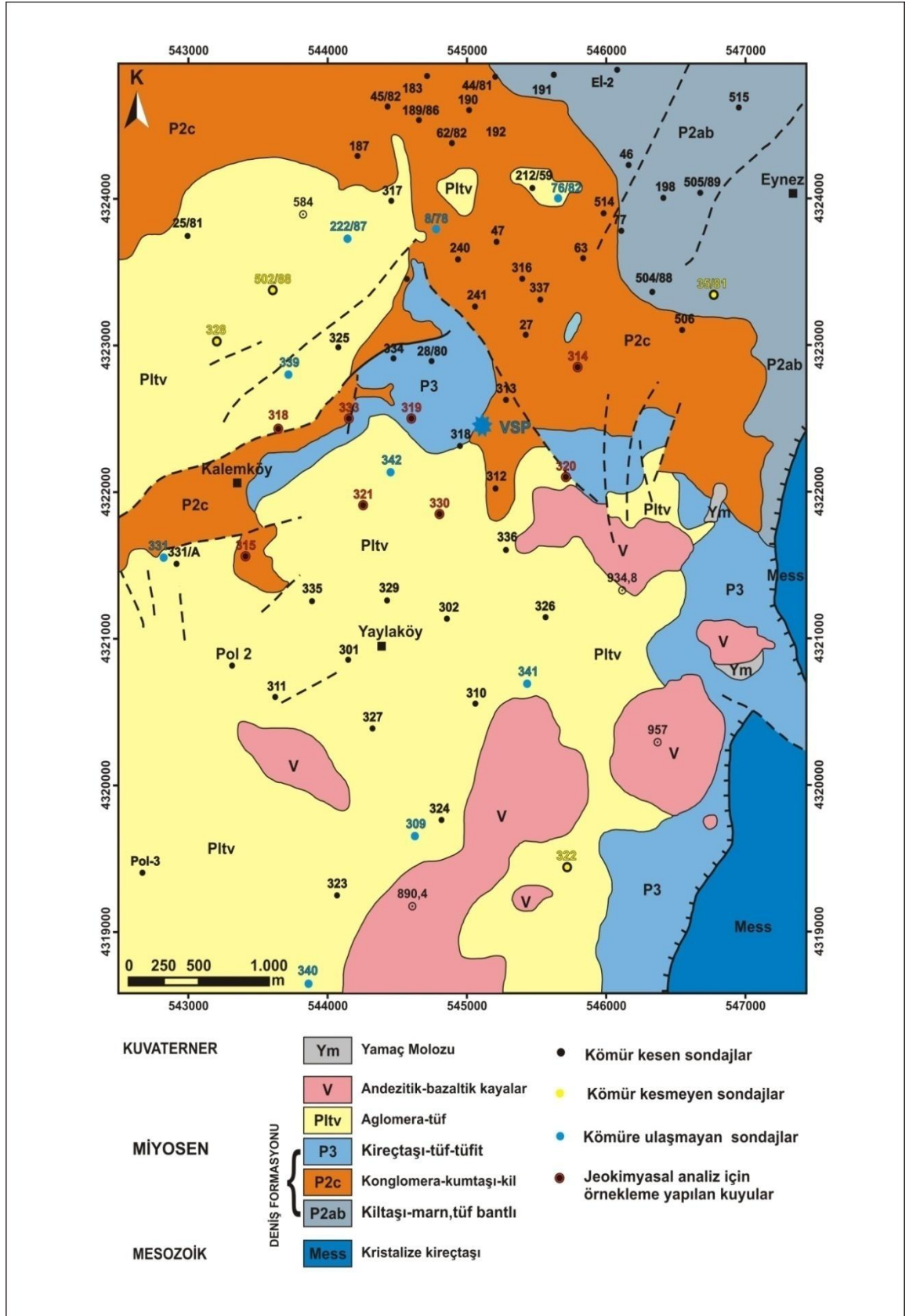
Soma Formasyonunu tabanda konglomera, kumtaşı ve çamurtaşları (M1) ile başlar. Bunların üzerinde ilk linyit seviyesi (KM2) yer alır. İstif üste doğru marn çökelleri (M2) ile devam eder ve artan karbonat miktarıyla marn seviyelerinin üzerinde kireçtaşları (M3) yer alır. Kireçtaşları üzerinde yer alan linyit seviyesi (KM3) Soma Formasyonunun en üst seviyesini temsil eder. Erozyonal bir dokanak ile bu linyit seviyesi üzerine Deniş Formasyonunun serisit bantlı kumtaşı, silttaşı ve kiltası çökelleri (P1) başlar. Bu seviyenin üzerinde Üst kömür seviyesi olarak anılan bir diğerv linyit seviyesi (KP1) yer alır ve istif tuf-marn ardalanması (P2ab) ile devam eder. Üste doğru konglomera, kumtaşı, kiltası ardalanması (P2ac) ile devam eden istif kireçtaşı-tuf ardalanması (P3) ve bunların üzerine gelen andezit, bazalt, tuf, aglomeralar (Pltv) ile son bulur. Tüm birimler Kuvaterner yaşılv alüvyon ve yamaç molozu ile örtölür (Şekil 3.3). İnci (2002) Soma ve Deniş Formasyonları içerisinde 15 farklı fasiyes tanımlamıştır (Şekil 4.5).

Soma Kömür Havzasında, Brinkmann ve diğ., (1970); Nebert, (1978); İnci (2002) başta olmak üzere birçok araştırmacı Neojen stratigrafisi üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Fakat bu çalışmalarda Soma Havzası'ndaki formasyon yaşları üzerinde farklı görüşler belirtilmiştir. Yine Gemici vd., (1991); Takahashi ve Jux (1991) Soma Kömür Havzasında paleontolojik çalışmalarda bulunmuşlardır.

Alüvyal ve flüvyal-gölsel çökellerden oluşan Miyosen seviyeleri içerisinde 3 farklı kömür seviyesi ayırtlanmıştır. Bu seviyeler birçok araştırmacı (Nebert, 1959; İnci, 1998 ve 2002) tarafından Alt, Orta ve Üst kömür seviyeleri olarak anılmıştır. Daha eski çalışmalarda Pliyosen yaşı olarak ele alınan Deniz Formasyonunun, Takahashi ve Jux (1991) tarafından yapılan palinoloji çalışmaları sonucu Miyosen yaşında olduğu anlaşılmıştır. Takahashi ve Jux (1991) Alt kömür seviyesi (KM2) için Geç Burdigaliyen (17-18 myö), Orta kömür seviyesi (KM3) için Langiyen- Serravaliyen (13-14 myö), Üst kömür seviyesi (KP1,2) için Tortoniyen (10-11 myö) yaşlarını vermiştir.



Şekil 4.3: Soma-Eynez, Kınık-Yaylaköy civarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Tan ve diğer, 2008). Pltv birimine V ile gösterilen andezitik-bazaltik kayalar pembe ile gösterilerek eklenmiştir.



Şekil 4.4 : Çalışma alanının jeoloji haritası (Tan ve diğ.,2008 ve arazi çalışmalarından derlenerek oluşturulmuştur. Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılımının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi TUBİTAK-MAM tarafından hazırlanan 3. Gelişme raporundan alınmıştır)

3.1.2. Temel

Paleozoyik yaşı kayalar grimsi mavi ve kahverengimsi renklidirler. İnce taneli olup tabakalanma göstermezler. Kısmen metamorfize olmuşlardır. Çalışma sahasında mostra vermemesine karşın temel birimine kadar inilmiş olan sondajlardan E-318, E-320 ve E-323 nolu sondajlarda gözlenmiştir. Mesozoyik yaşı kireçtaşları ise orta-kalın tabakalanmalı olup, genelde masiftirler. Gri, açık gri-beyaz renklidirler. Çatlaklı ve kalsit dolguludur. Grovaklar üzerine uyumsuz gelirler (Tan ve diğ.2008).

Sahanın doğusunda kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanan Yanıkkıran Tepe, Göztepe, Yığıltaş Tepe ve Bozburun Tepe'de mostra verirler. Ayrıca temele kadar inilmiş sondajlardan E-322 ve E-324 nolu sondajlarda gözlenmiştir.

3.1.3. Soma Formasyonu

Soma yöresinde linyit içerikli Neojen yaşı çökeller Nebert (1959) tarafından ayırtlanmış ve adlandırılmıştır. Bölgede sonraki tüm kömür amaçlı çalışmalarda bu adlamalara bağlı kalınmıştır. Nebert “Alt Seri” olarak adlandırdığı Soma Formasyonunu (M) beş seviyeye “Formasyon serileri” ne ayırmış ve Miyosen olarak yaşlandırmıştır. Bunlar; bloklu çakıltası, çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşan “M1”, Alt kömür seviyesi “KM2”, Marn birimi “M2”, Kireçtaşı birimi “M3”, Orta kömür seviyesi “KM3” tür.

Birimin sondajlardan saptanan ortalama kalınlığı 200-250 m arasındadır. Alt kömür istifi (M1- KM2) alüvyal fan, geçici göl ve bataklık ortamlarında oluşmuştur (İnci 2002). Orta kömür istifi (M2-M3-KM3) ise birleşik nehir sistemi içerisinde ağırlıklı olarak tatlı su karbonatlarından oluşur. Geçici göller ve gölcükler içerisinde karbonat çökelişi devam ederken, civardaki bataklıklar kömür gelişimi için uygun bir ortam oluşturmuştur (İnci, 2002).

Soma Formasyonu Paleozoyik ve Mesozoyik yaşı temel kayalar üzerine aşıl uyumsuzlukla gelmektedir (Nebert, 1959; Brinkmann ve diğ., 1970; Nebert, 1978; Seyitoğlu ve Scott, 1991; Karayığit ve Whataley, 1997, İnci, 1998 ve 2002, Tan ve diğ., 2008).

Birim Nebert (1959); tarafından formasyon içerisinde bulunan bitki (yaprak izleri) ve diğer fosillere dayanarak Miyosen (Orta-Üst) olarak yaşlandırılmıştır. Nebert (1959) tarafından M3 (kireçtaşı) birimlerinden toplanan fosiller; *Ancylus* sp., *Corbicula* sp., *Lymnaea* sp., *Paludina* sp., *Planorbis* sp., *Planorbis* aff. *cornu montelli* (Dunker) *Unio* sp.'dir. Brinkmann ve diğ., (1970); Soma Formasyonunun içerisine Üst Kömür seviyesini de dahil edip birime Miyosen yaşını vermişlerdir. Takahashi ve Jux (1991) tarafından yapılan palinoloji çalışmasında Soma Formasyonunun yaşı Erken-Orta Miyosen olarak belirtilmiştir. İnci (2002) yaptığı fasiyes analizi çalışmasında birimi Erken-Orta Miyosen olarak yaşlandırmıştır. Bu çalışmada da birimin yaşı Erken-Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

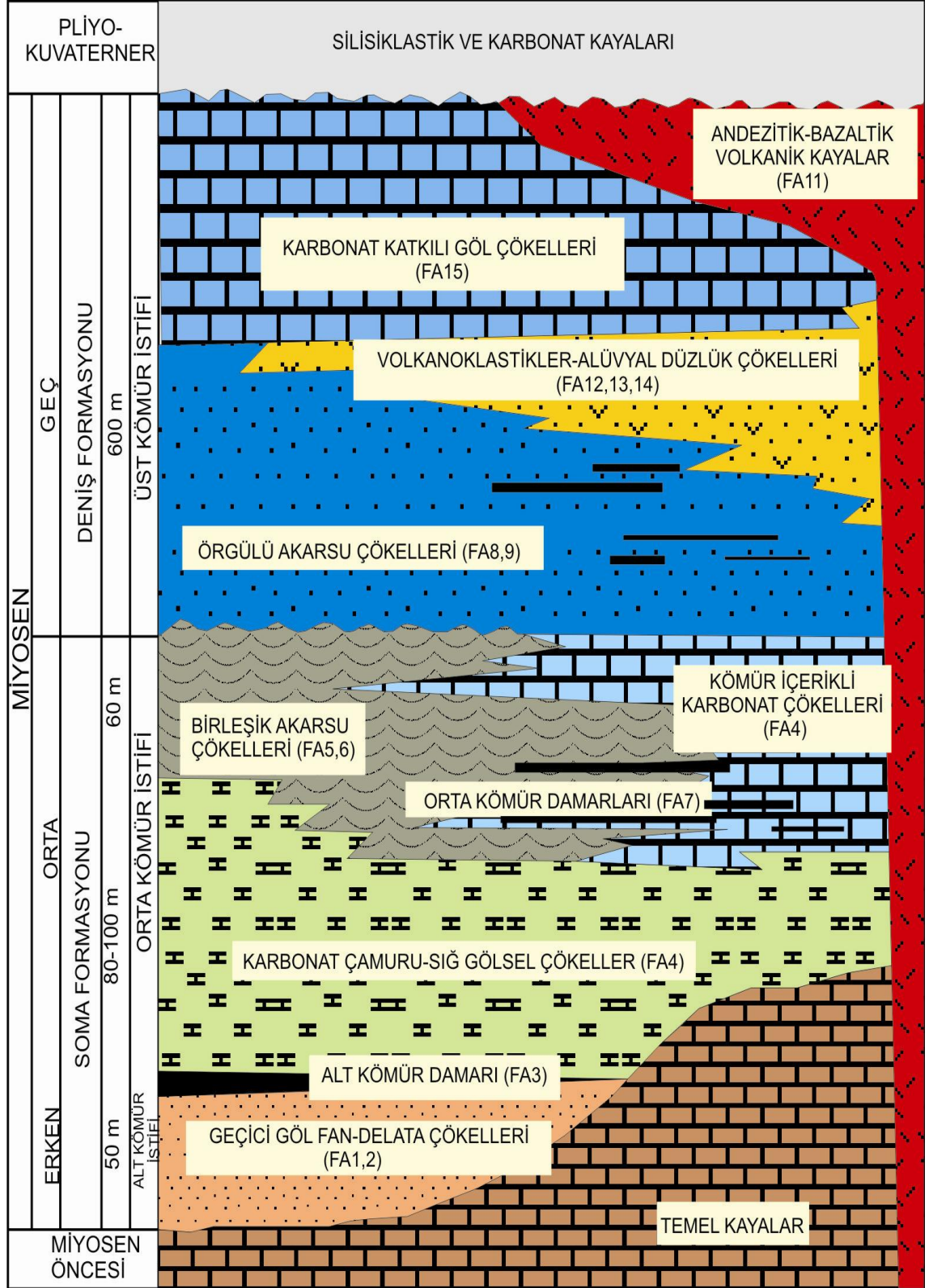
Soma formasyonu içerisinde ayırtlanmış birimlerin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

4.1.3.1. Çakıltası-Kumtaşı-Siltası-Kiltaşı (M1)

Birim Nebert (1959) tarafından M1 olarak adlandırılmıştır. Bloklu çakıltası, çakıltası, kumtaşı, siltası ve kiltasından oluşmaktadır. Tabandan tavana derecelenme gösterir. Kristalize kireçtaşı, grovak ve radyolaritlerden oluşan çakıltaları köşeli ve az yuvarlaklaşmıştır. Karasal ortamda çökelmiş alüvyal yelpaze çökelleri olup kanal dolguları şeklinde gözlenmektedir. Birim nehirsal-karasal bir ortamda çökelmiştir (Tan ve diğ. 2008).

Birimin kalınlığı 0-50 m arasındadır (Toprak, 2009; İnci, 2002). Birimin yaşı Erken Miyosen olarak kabul edilmiştir (İnci, 2002).

Birim mostra vermemekte olup, temel kayalara kadar inilmiş olan sondajlardan E-318 de 10.85 metre, E-311 de 21.00 metre, E-323 de 54.55 metre M1 birimi kesilmiştir. E-322 ve E-324 nolu sondajlarda birim kesilmeden temel kayalarına girilmiştir. Birim eksikliği; çökme hızının fazla olması nedeniyle bu birim çökmeden bataklık ortamının oluşması ve bizim bu birimi göremememiz veya bu sondajların kenar faylarına yakın olması nedeniyle açıklanabilir.



Şekil 4.5: Soma kömür havzasında ayrıtlanan fasiyesler (İnci, 2002'den değiştirilerek).

4.1.3.2. Alt Linyit Seviyesi (KM₂)

Birim Nebert (1959) tarafından Alt Linyit horizonu (KM₂) olarak adlandırılmıştır. çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı-kiltaşı (M₁) ile Alt Linyit horizonu (KM₂) arasında net bir sınırdan söz edilememektedir. Birimin alt bölümlerinde kömür kalitesi düşük olup, bu kesimlerde kahverengi-siyah renkli, genellikle killi ve çok killi linyit damarları yer almaktadır. Horizonun orta ve üst kısımlarında linyit damarları kalın olup, dayanımlı, sert, parlak ve siyah renklidir. Üzerine gelen Marnlar (M₂) ile Alt Linyit horizonu (KM₂) arasındaki sınır keskin ve nettir (Tan ve diğ. 2008).

Ana linyit kömürü (KM₂) damarı, oluşumunu birçok uygun koşulun biraraya gelmesine borçludur. Ana damar Erken Neojen (Miyosen) döneminde alçalım içerisindeki göl kenarında bataklık ortamında oluşmaya başlamıştır (Şekil 4.6). Bu vadi Orta Miyosende tektonik bir çöküntü ve depolanma alanına dönüşmüştür (Brinkmann ve diğ., 1970).

Birimin kalınlığı 15-22 m arasındadır (Toprak, 2009). Yapılan sondajlarda E-302 nolu kuyuda 20, E-311 nolu kuyuda 25.48m KM₂ birimi kesilmiştir.

Birimin yaşı Erken Miyosen olarak kabul edilmiştir (İnci,2002). Takahashi ve Jux (1991) Alt kömür seviyesi (KM₂) için Geç Burdigaliyen (17-18 myö) yaşını vermiştir. Bu çalışmada da birimin yaşı Geç Burdigaliyen olarak kabul edilmiştir.

4.1.3.3. Marn (M₂)

Brinkmann ve diğ., (1970) birimi marn-kalker serisi olarak adlandırılmıştır. Orta-kalın tabakalı ve homojen bir yapıya sahiptir. Taze yüzeyleri gri-yeşil renkli olup bozuştığında kül rengini alırlar. Konkoidal kırılma yüzeyleri tipiktir. Yaprak ve bitki fosillerine rastlanmaktadır. Marn serisinde üste doğru gidildikçe karbonat oranında artma olup kireçtaşlarına geçiş kesin olarak saptanamamaktadır. Ancak geçiş zonunda lamellibrans fosillerinin görülmesi ve kireçtaşlarının hakim olmaya başlaması sınırın geçirilmesine yardımcı olmaktadır. Yörede yapılmış sondajlarda marnlar içerisinde dikine çatlak sistemlerinin geliştiği gözlenmiştir. Gelişen çatlak sistemlerinde kalsit dolguları ve pirit oluşumları gözlenmektedir. Birim gölsel bir ortamda çökelmiştir (Tan ve diğ. 2008).

Birimin kalınlığı ortalama 100-150 m arasındadır (Brinkmann ve diğ., 1970; Toprak, 2009). Yapılan sondajlarda E-301 nolu kuyuda 94m, E-312 nolu kuyuda 120m ve E-338 nolu kuyuda 128m M2 birimi kesilmiştir.

Birimin yaşı Nebert (1959) ve Brinkmann ve diğ. (1970) tarafından Geç Miyosen; İnci (2002) tarafından Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada da birimin yaşı Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Brinkmann ve diğ., (1970), tarafından bulunmuş fosiller şunlardır:

Reginacypris subaequalis variabilis (Mehes)

Miocyprideis janoscheki Kollmann

Candona steinheimensis Sieber

Candona cf. *procera* Straub

Candona cf. *praecox* Straub

Candona ex aff. *lodonensis* Pokorny

Candona ex aff. *rostrata* Brady & Norman

Cypria ophthalmica (Jürine) Brady & Norman

Schuteridea rhombus (Egger) Kollmann

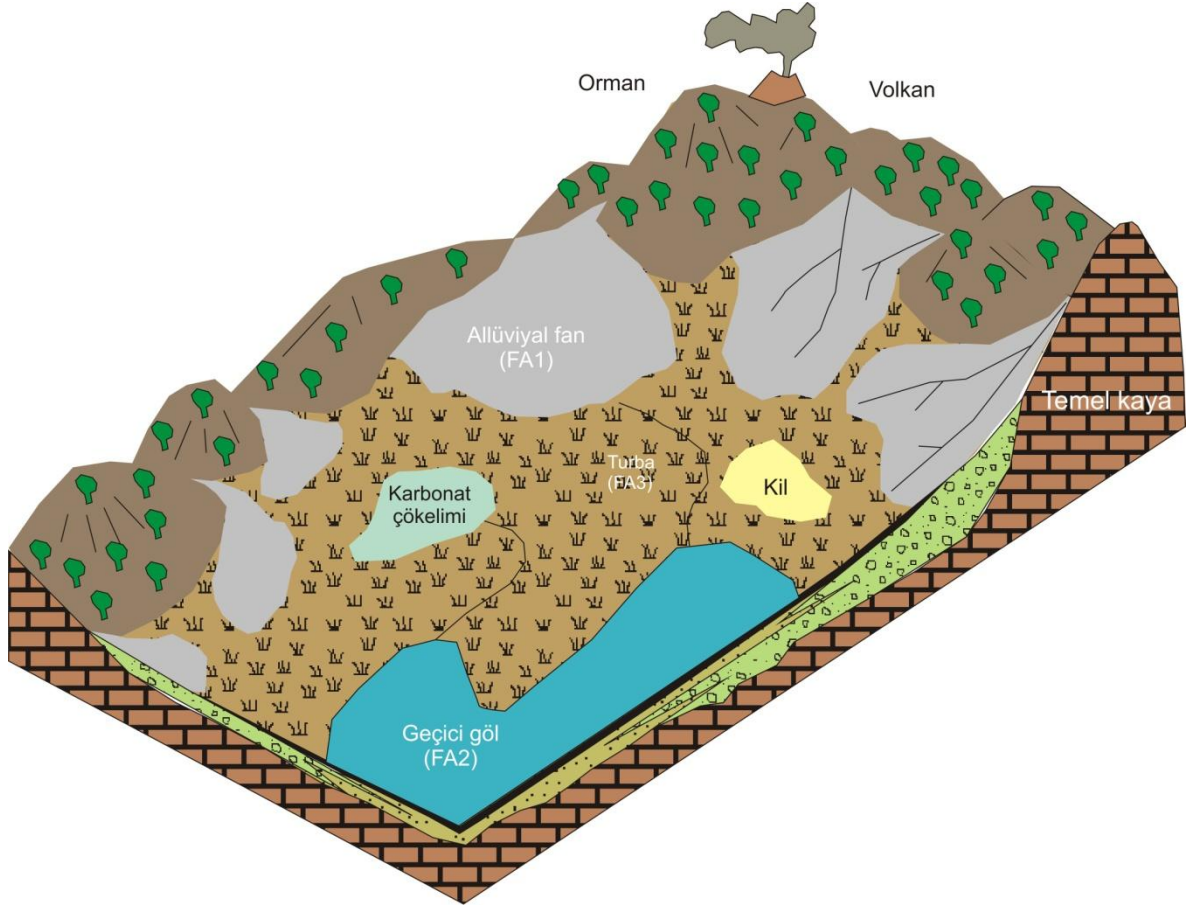
Darwinula sp.

Cyprinotus sp.

Metacypris sp.

Cyprideis sp.

Haplocytheridea sp.



Şekil 4.6 :Alt linyit (KM2) seviyesinin çökelme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002).

4.1.3.4. Kireçtaşı (M3)

Birim Nebert (1959) tarafından Kireçtaşı Serisi (M3) olarak adlandırılmıştır. Sondajlarda geçilen birim genellikle az belirgin tabakalanmalı, bol çatlaklı, kırıklı ve karstik boşlukludur. Bej-sütlü kahverengi renkli olup, bol miktarda Planorbis fosili içerir. Marn serisinin (M2) aksine kireçtaşı serisi, gerçekte tatlı su gastropodlardan oluşan, çok miktarda fosil içermektedir (Nebert,1959). Yer yer kil ve çakıl seviyeleri de gözlenmektedir.

Yörede yapılan sondajlarda birimin kalınlığı 6-52 metre arasında değişmektedir (Tan ve diğ. 2008). Yapılan sondajlarda E-302 nolu kuyuda 57m, E-314 nolu kuyuda 66.1m ve E-326 nolu kuyuda 75m M3 birimi kesilmiştir.

Birimin yaşını Nebert (1959) ve Brinkmann ve diğ. (1970) Geç Miyosen; Tan ve Diğ. (2008) Erken Miyosen olarak, İnci (2002) Orta Miyosen olarak kabul etmiştir. Birimin yaşı bu çalışmada Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

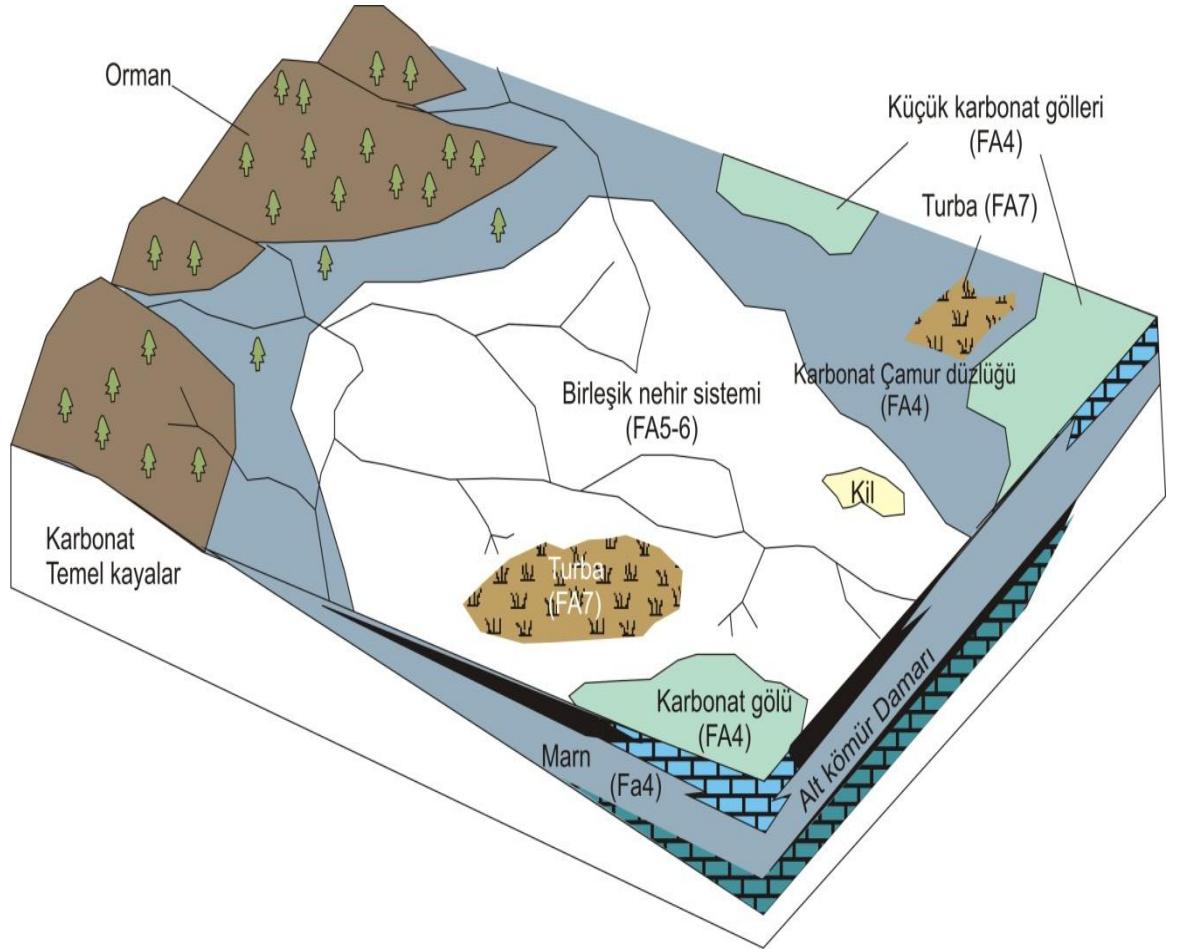
4.1.3.5. Orta Linyit Seviyesi (KM3)

Birim Nebert (1959) tarafından Orta Linyit Serisi (KM3) olarak adlandırılmıştır. Kireçtaşlarının üst seviyelerinde veya en üstünde yer alır. Çok ender olarak kireçtaşlarının orta ve alt seviyelerinde de linyit damarlarına rastlanır. Yanal devamlılığı sınırlıdır (Tan ve diğ,2008).

KM3 kömürlerinin kalitesi KM2 ve KP1 kömürlerinden daha düşüktür. Linyit damarları arasında birkaç santimetreden birkaç metreye kadar steril kil veya kireçtaşları ile linyit izli ve boyamalı kil seviyeleri yer alır. Bolca fosil kavkılarına rastlanır. Orta kömür istifi birleşik nehir sistemi içerisinde yer alan taşkın ovalarındaki bataklık ortamlarında oluşur. Geçici göller ve gölcükler içerisinde karbonat çökelişi devam ederken, civardaki bataklıklar kömür gelişimi için bir ortam oluşturmuştur (İnci; 2002, Şekil 4.7).

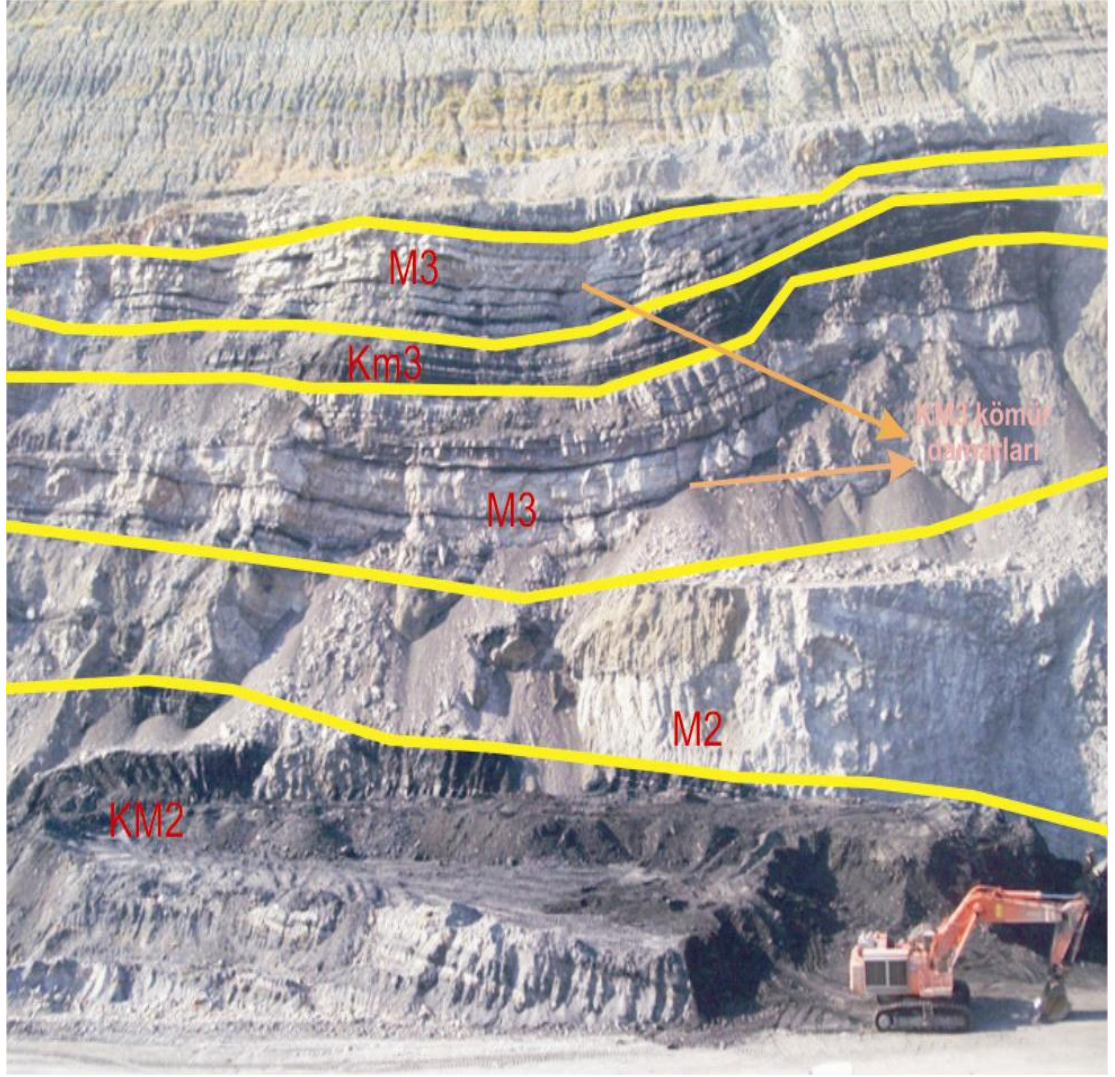
Birimin kalınlığı 6-10m arasında değişmektedir (Toprak, 2009). Yapılan sondajlarda E-315 nolu kuyuda 21 m, E-329 nolu kuyuda 23.1m KM3 birimi kesilmiştir.

Takahashi ve Jux (1991) Orta kömür seviyesini (KM3), Langiyen- Serravaliyen (13-14 myö) olarak yaşlandırmıştır. Bu çalışmada da birimin yaşı Langiyen- Serravaliyen olarak kabul edilmiştir.



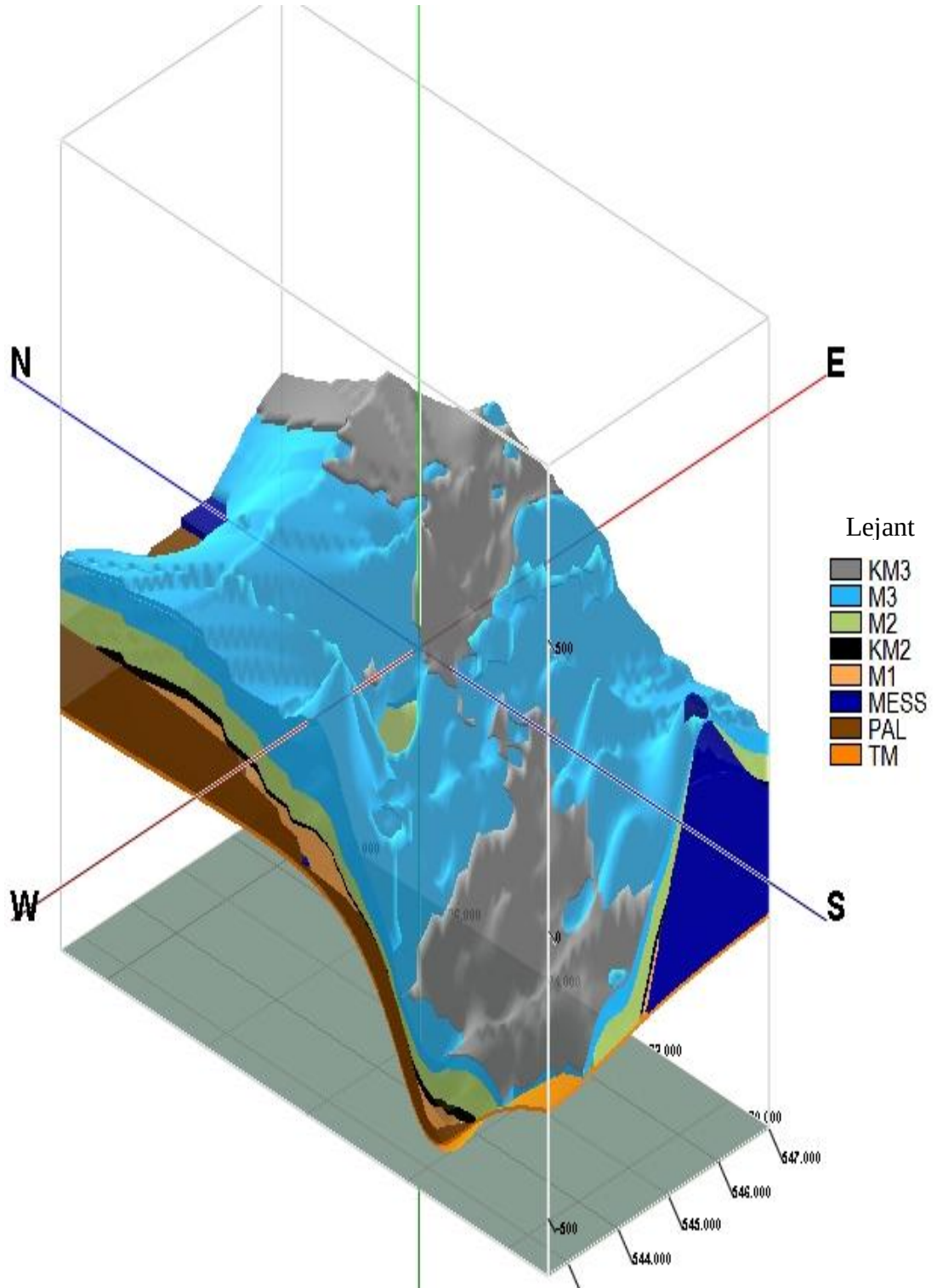
Şekil 4.7: Orta linyit (KM3) seviyesinin çökeltme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002).

Şekil 3.8’de Batı Kısırak Deresi’nde işletilen KM_2 kömürü ve üzerinde yer alan Soma (M_2 - M_3 - KM_3) ve Deniş (KP_1) Formasyonlarına ait birimler görülmektedir. KP_1 biriminin üzeri örtülü olduğundan istifin tamamı görülememektedir.



Şekil 4.8 : Batı Kısırak Deresi panosundan bir görünüm

Şekil 4.9’da RockWork 14 Demo programıyla oluşturulan stratigrafik model görülmektedir. Oluşturulan modele göre Soma Formasyonunun kalınlığı güneye doğru gidildikçe azalmaktadır. Havzada ilk aşınma dönemi sonrasında KM3 birimi bazı yerlerde tamamen aşınmasına karşın çalışma alanının KD ve GB kesimlerinde kısmen aşınmıştır.



Şekil 4.9: RockWorks 14 programından elde edilen havzadaki Soma Formasyonunun yayılımı

4.1.4. Deniş Formasyonu

Nebert Üst Seri olarak da adlandırdığı Deniş Formasyonunu (P) “Formasyon Serileri” olarak adlandırdığı beş birime ayırmış ve Pliyosen olarak yaşlandırmıştır. Bunlar; Serizitli kumtaşı,siltaşı,kil birimi, “P1”, Üst kömür seviyesi “KP1”, Marn, tuf, kil ar dalanmasından oluşan “P2ab”, Varvlı kil-kumtaşı-çakıltaşı birimi “P2c”, silisifiye kireçtaşı,tuf ar dalanmasından oluşan “P3” tür.

Birimin ortalama kalınlığı 600- 800m arasındadır. Üst kömür istifi (KP1) örgülü akarsu, taşkın ovası ve bataklık ortamını işaret eder. Bu ortamlarda gelişen çökeller volkanoklastik çökeller (fasiyes P2ab-P2c) ve sığ bir gölün ürünleri olan karbonat çökelleri (P3) ile örtölmüştür (İnci,2002).

Çalışma alanın kuzeybatı-kuzeydoğusunda P2ab ve P2c birimlerinin güneydoğusunda ise P3 biriminin mostraları görölmektedir. Deniş Formasyonu, Soma Formasyonun üzerine aşınma sonucu oluşmuş açıs al bir uyumsuzlukla gelmektedir (Nebert, 1959; Brinkmann ve diğ., 1970; Nebert, 1978; Seyitoğ lu ve Scott, 1991; Karayığ it ve Whataley, 1997, İnci, 1998 ve 2002, Tan ve diğ., 2008).

Birimin yaşı Nebert (1959) tarafından Pliyosen olarak belirtilmiştir. Nebert (1959) tarafından, marn-kalker biriminden (P2ab) toplanan aşağıdaki faunaya göre;

Bythinia sp.

Hydrobia sp.

Melanopsis sp.

Planorbis sp.

Pseudamnicola sp.

Pyrgula sp.

Theodoxus sp.

Jheodoxus (Lalvertia) aff. licherdopodoli (Stefanescu)

Unio sp.

ve P2c biriminde toplanan faunaya göre;

Bythinia sp.

Hydrobia aff. vitrella (Stefanescu)

Pseudamnicola sp.

Pyrgula sp.

Hydrobia aff. *vitrella*, Ponsiyen için karakteristiktir.

Brinkmann ve diğ., (1970) tarafından marn-kalker (P2ab) biriminde bulunan fosillere dayanarak birimin yaşı Alt Pliyosen olarak belirtilmiştir.

Yaş : Alt Pliosen (Pannonien)

Bithynia phrygica Fischer

Helix cf. *phrygomysica* Oppenheim

Ena sp.

Pupilla sp.

Succinea sp.

Lymnaea sp.

Planorbis cornu Bergt.

Planorbis cf. *nitidus* Müller

İnci (2002) tarafından birimin yaşı Geç Miyosen olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada Takahashi ve Jux (1991) tarafından kömürlere verilen yaşlar dikkate alınarak birimin yaşı Orta-Geç Miyosen kabul edilmiştir.

Deniş formasyonu içerisinde ayrıtlanan alt birimler aşağıda kısaca tanıtılmaktadır.

4.1.4.1. Kumtaşı-Siltaşı-Kil (P1)

Birim Nebert (1959) tarafından Kum-Kil Serisi (P1) olarak adlandırılmıştır. Gevşek çimentolu kumtaşı ve siltaşları ile başlayan birim üste doğru alacalı killer ve gri-yeşil renkli serizitli kumtaşı-kil şeklinde devam etmektedir (Tan ve diğ,2008).

Sondajlarda saptanan kalınlık 41-102 metre arasında değişmektedir. Yapılan sondajlarda E-317 nolu kuyuda 100 m, E-309 nolu kuyuda 95 m ve E-313 nolu kuyuda 99 m ve E-319 yeni nolu kuyuda 104 m P1 birimi kesilmiştir.

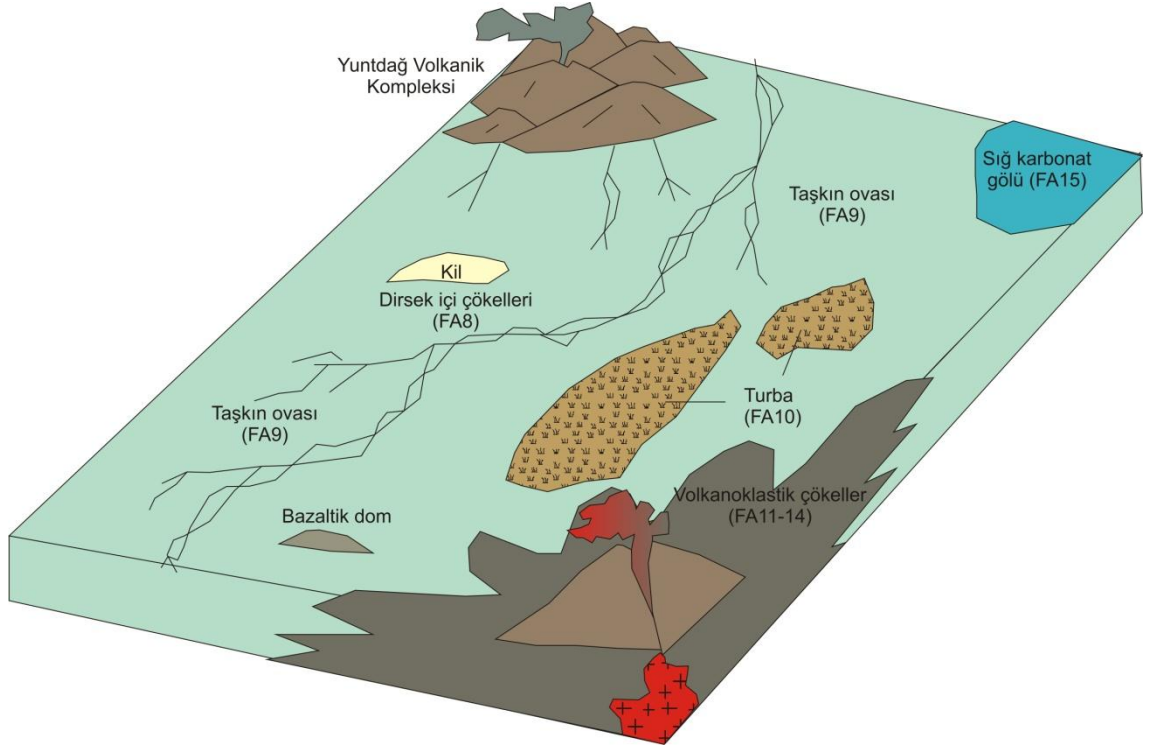
Birim Nebert (1959) ve Toprak (2009) tarafından Pliyosen; İnci (2002) tarafından Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu çalışmada birimin yaşı Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

4.1.4.2. Üst Linyit Seviyesi (KP1)

Birim Nebert (1959) tarafından Üst Linyit Serisi (KP1) olarak adlandırılmıştır. P1 birimlerinin en üstünde P2ab geçişinde yer alır. Kömür kalitesi Eynez sektöründe Orta Linyit horizonu (KM₃) den daha iyidir. Linyit damarları, linyit laminalı- linyit izli veya steril kil ara tabakaları ile aralanmalar gösterir. Saha genelinde yanal devamlılık göstermezler (Tan ve diğ,2008).

Birimin kalınlığı 7-8 metre arasında değişmektedir (Toprak, 2009). Yapılan sondajlarda E-310 nolu kuyuda 15 m, E-312 nolu kuyuda 17.45 m KP1 birimi kesilmiştir.

Üst kömür istifi (fasiyes 8-15) örgülü akarsu, taşkın ovası ve bataklık ortamını işaret eder (İnci,2002; Şekil 3.10). Birim Nebert (1959) ve Toprak (2009) tarafından Pliyosen, İnci (2002) tarafından Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Takahashi ve Jux (1991) Üst kömür seviyesini (KP1) Tortoniyen (10-11 myö) olarak yaşlandırmıştır.



Şekil 4.10:Üst linyit (KP1) seviyesinin çökelme ortamını gösteren şematik blok diyagram (İnci, 2002)

4.1.4.3. Marn- Kiltası-Tüf (P2ab)

Birim Nebert (1959) tarafından Tüf-Marn Serisi (P2ab) olarak adlandırılmıştır. KP1 üzerine uyumlu ve keskin dokanakla gelir. Marnlar ile başlayıp üste doğru kiltası-marn ardalanması şeklinde devam eder. Orta-kalın tabakalı olan marnlar yer yer yaprak fosili içerebilirler. Gri-yeşil renkli, orta sertliktedir. Tüfler ince bantlar halinde marn ve kiltası tabakaları arasında gözlenmektedir. Renkleri beyazdan koyu griye kadar değişim göstermektedir (Tan ve diğ,2008).

Sondajlarda kesilen kalınlığı 233-313 metre arasında değişmektedir. Yapılan sondajlarda E-301 nolu kuyuda 304 m P2ab birimi kesilmiştir.

Birim Nebert (1959) ve Toprak (2009) tarafından Pliyosen; İnci (2002) tarafından Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.Bu çalışmada birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir.

4.1.4.4 Kumtaşı-Kiltaşı (P2c)

P2ab üzerine uyumlu gelmektedir. Varv görünümlü kil, kumtaşı ve çakıltası ardalanması şeklinde görülür. Kumtaşları kötü boylanmalı, iri-orta taneli, gevşek tutturulmuş, yer yer düzensiz tabakalanmalı ve bej-kahverengi-gri renklidir. Killer gri-yeşil, gri-bej renklidir. Yer yer bej, kirli beyaz renkli ince kireçtaşı bantları da gözlenmektedir. Konglomeralar oldukça gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı ve içerdiği çakıllar yuvarlaklaşmıştır (Tan ve diğ, 2008).

Sondajlarda kesilen kalınlığı 193-342 metre arasında değişmektedir. Güney batı yönünde kalınlık artmaktadır. Birimin kalınlığı E-314 nolu kuyuda 155m iken, E-309 nolu sondajda P2c biriminin kalınlığı 331m iken metreye ulaşmaktadır. Birim Nebert (1959) ve Toprak (2009), tarafından Pliyosen; İnci, (2002) tarafından Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu çalışmada birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir.

4.1.4.5. Silisifiye Kireçtaşı (P3)

Birim Nebert (1959) tarafından İnce Çakıllı Kalker Serisi (P3) olarak adlandırılmıştır. P2c birimi üzerine uyumlu olarak gelir. Beyazımsı bej renkli silisifiye kireçtaşı, beyaz-kirli beyaz renkli tuf ardalanması şeklinde devam eder. Kireçtaşları sert, ince-orta ve belirgin tabakalanmalıdır. Tüfler gevşek yapıdadır (Tan ve diğ,2008).

Sondajlarda kesilen kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir. Birim Nebert (1959) ve Toprak (2009) tarafından Pliyosen; İnci (2002) tarafından Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu çalışmada birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Kalınlığı morfolojik yapıya bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, bu birim kuzeybatıdaki E-318 sondajında 16 metre, E-325 sondajında 28 metre kalınlıkta kesilmiştir (Tan ve diğ, 2008).

4.1.5. Tüfler (Plt)

Daha çok riyodasitik, dasitik, trakiandezitik ve andezitiktirler. Gri, sarı-beyaz renklere olup yer yer kaolinize olmuşlardır. Üste doğru çakıl oranını artarak aglomeralara geçer. Birimin alt seviyelerinde gözlenen katmanlanmalar ilk tüf ürünlerinin göl veya akarsular içerisinde depolandığını işaret eder (Tan ve diğ,2008).

Birim Nebert, (1959) tarafından Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu çalışmada birimin yaşı Geç Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

Birim kalınlığı güney-güneybatıya doğru artmaktadır. Yapılan sondajlarda E-309 nolu kuyuda 209 m ve E-323 nolu kuyuda 285 m Plt birimi kesilmiştir.

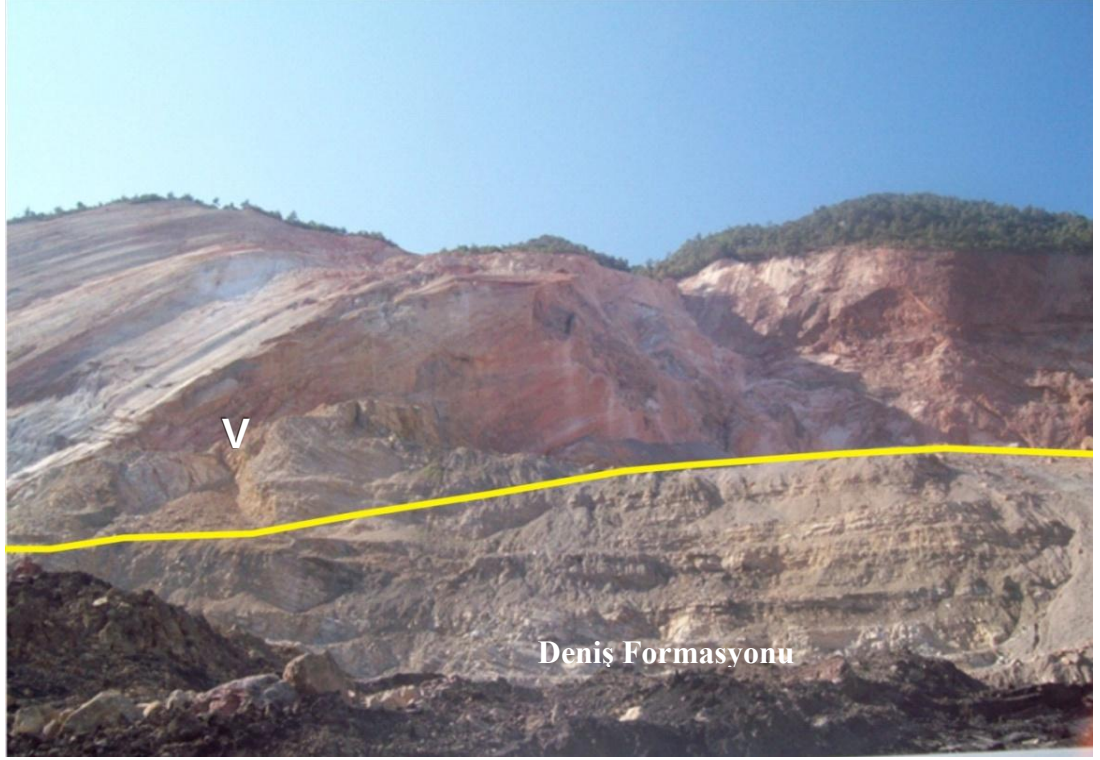
4.1.6. Volkanik Örtü (v)

Bu birim andezitik aglomera, andezit, bazalt ve tüflerden oluşmaktadır. Genelde sıkı çimentolu aglomera olarak gözlenir. Oldukça iri ve köşeli olan materyaller andezit ve bazalttan oluşmaktadır. Aglomeralar kırmızı kahve, tüfler ise kirli beyaz-gri renktedir (Tan ve diğ, 2008).

Birim çalışma alanının güney kesimlerinde görülmektedir. Birim Nebert, (1959); tarafından Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır. Bu çalışmada birimin yaşı Geç Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

4.1.7. Alüvyon (Qal)

Akarsu yataklarının su basma sınırları içinde kalan blok, çakıl, kum, kil ve siltten oluşmuş çökeller alüvyon olarak ayırtlanmıştır.

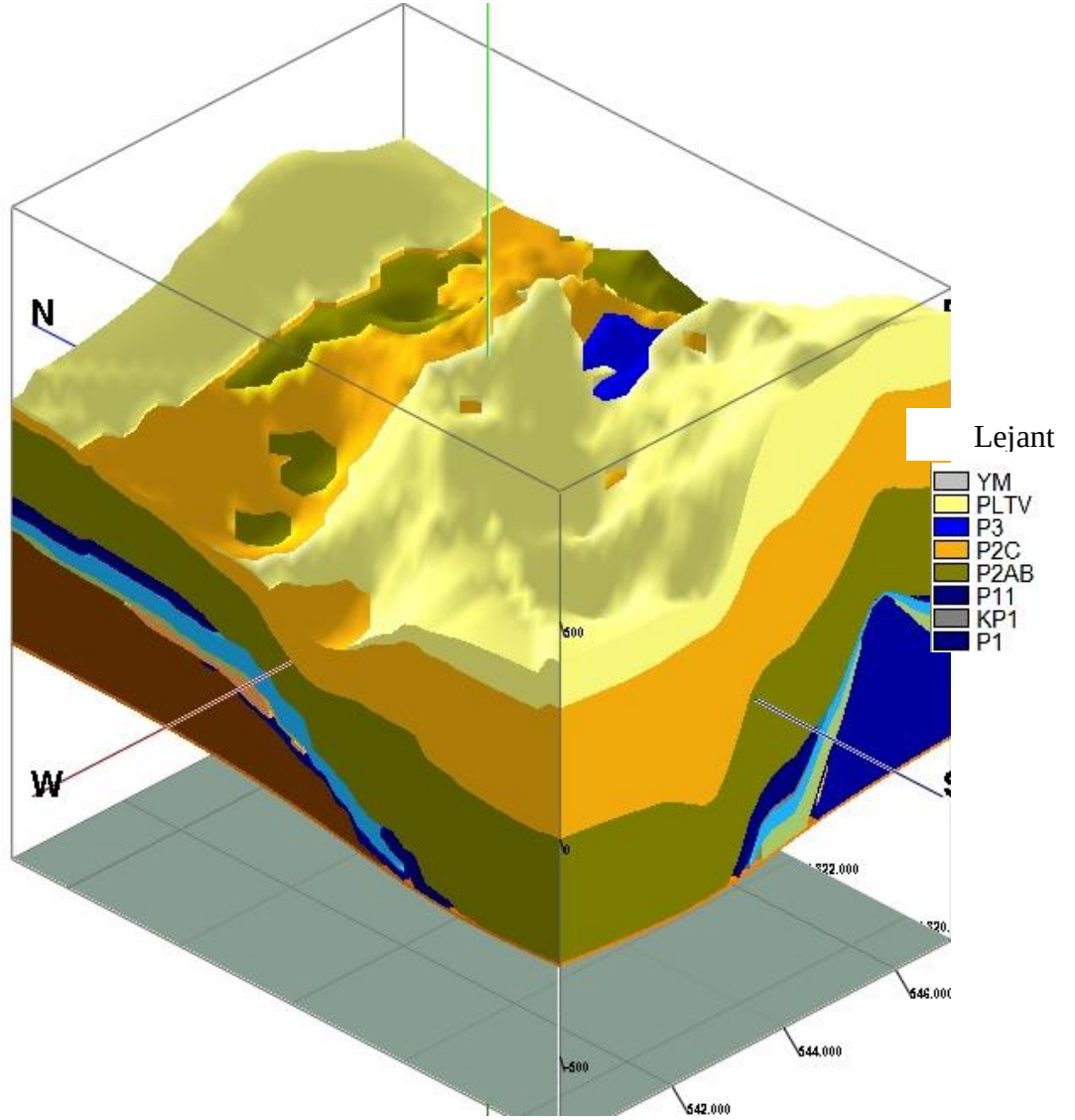


Şekil 4.11: Volkanik Örtünün görünümü

Şekil 4.11’de Batı kısrak deresinde Deniş Formasyonu üzerine gelen Plt birimi görölmektedir.

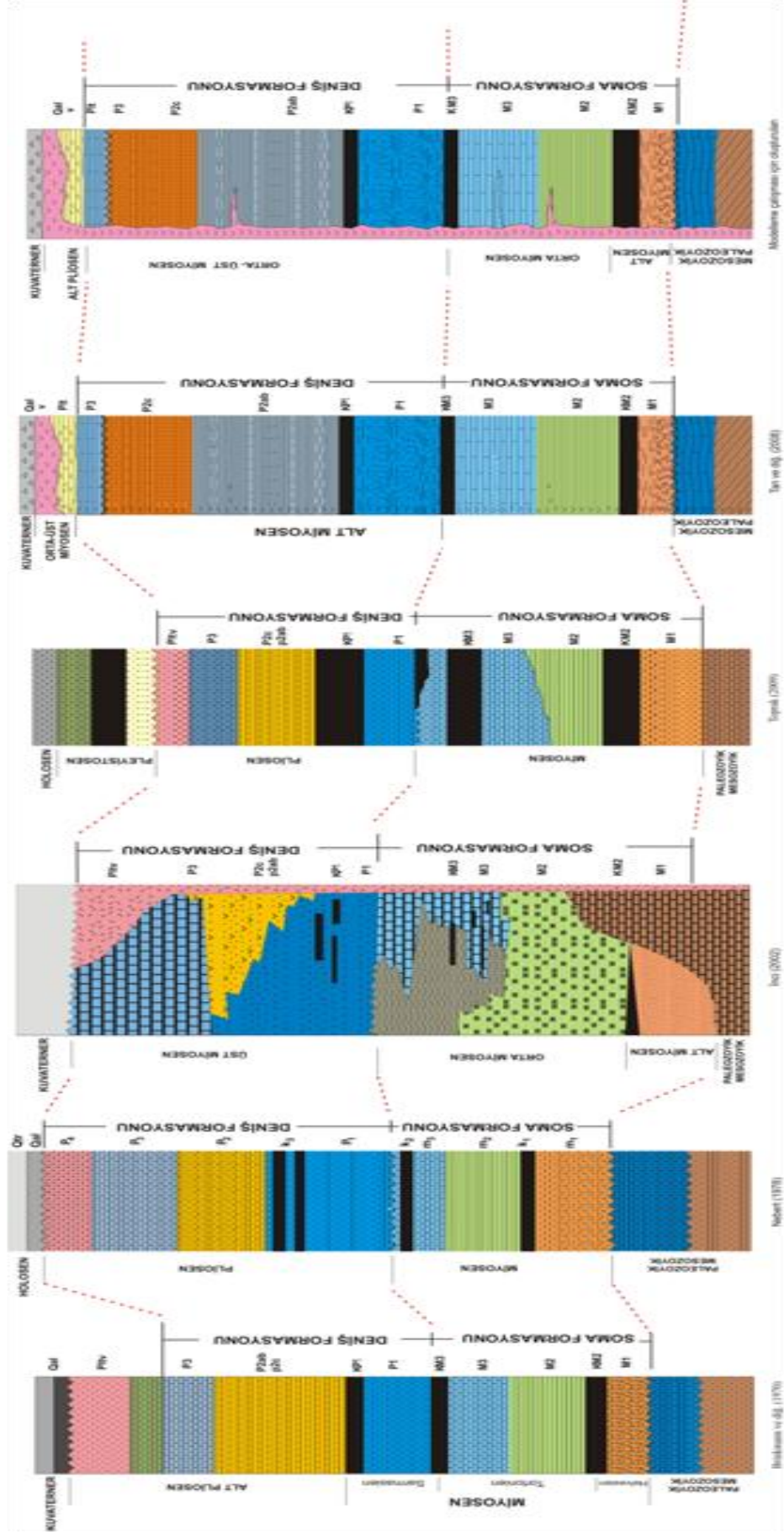
Havzanın güney kesimlerinde Deniş Formasyonu ve Plt birimlerinin kalınlığı artmaktadır (Şekil 4.12). Plt biriminin kalınlığı kuzeye doğru azalmakla beraber havzada etkili olmuş ikinci aşınma evresinde havzanın kuzey ve orta kesimlerde tamamen aşındığı görölmektedir.

Soma Kömür Havzası’nda daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde (Şekil 4.13) özellikle birimlerin yaşları konusunda bir fikir birliğine varılamadığı görölmektedir. Yapılan çalışmalarda Soma Formasyonunun yaşını, Brinkmann ve diğ., (1970); Nebert (1978); Toprak (2009), Miyosen, İnci (2002), Erken- Orta Miyosen, Tan ve diğ., (2009), Alt Miyosen olarak kabul etmişlerdir. Deniş Formasyonu için Brinkmann ve diğ., (1970), Alt Pliyosen, Nebert (1978); Toprak (2009), Pliyosen, İnci (2002), Geç Miyosen, Tan ve diğ., (2009), Alt Miyosen yaş aralığını vermişlerdir.

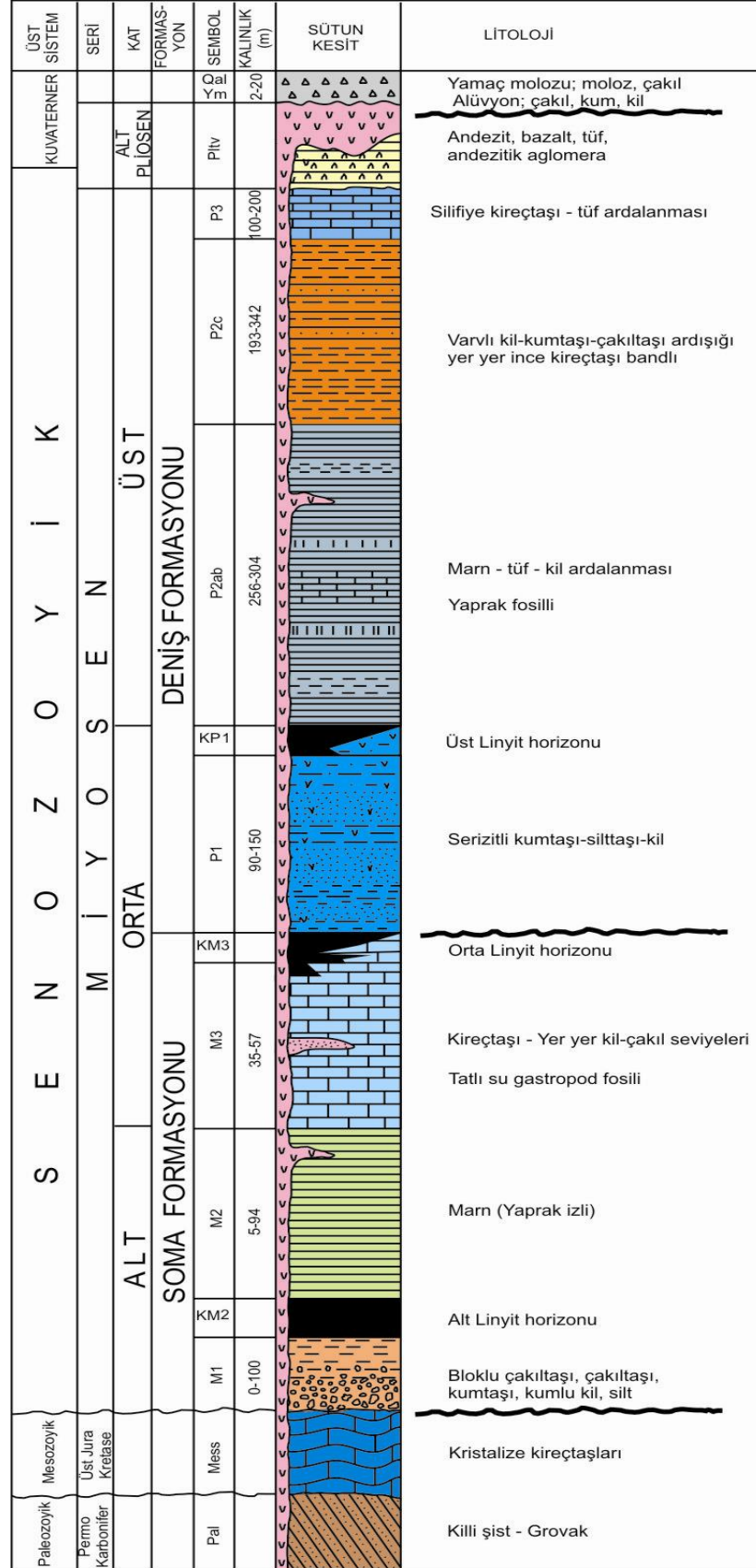


Şekil 4.12: RockWorks 14 programından elde edilen havzadaki Deniz Formasyonunun yayılımı

Bölgenin stratigrafisi ile ilgili yapılan tüm yayınlar (Brinkmann ve diğ., 1970; Nebert, 1978; İnci 2002; Tan ve diğ.,2008; Toprak 2009) derlenerek modelleme için yeni bir stratigrafik kesit oluşturulmuştur (Şekil 4.14). Bu kesit oluşturulurken öncelikle Takahashi ve Jux (1991) tarafından kömür damarlarına verilen yaş aralıkları dikkate alınmıştır. Buna göre; M1, KM2 ve M2 birimleri Erken Miyosen, M3, KM3,P1 ve KP1 birimleri Orta Miyosen, P2ab, P2c ve P3 birimleri Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır. Plt ve V birimleri ise Erken Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 4.13 : Soma Kömür Havzasında yapılan çalışmaların karşılaştırılması



Şekil 4.14: Modelleme çalışması için tüm yayınlar derlenerek oluşturulan geliştirilmiş stratigrafik kesit

4.2. KÖMÜRLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

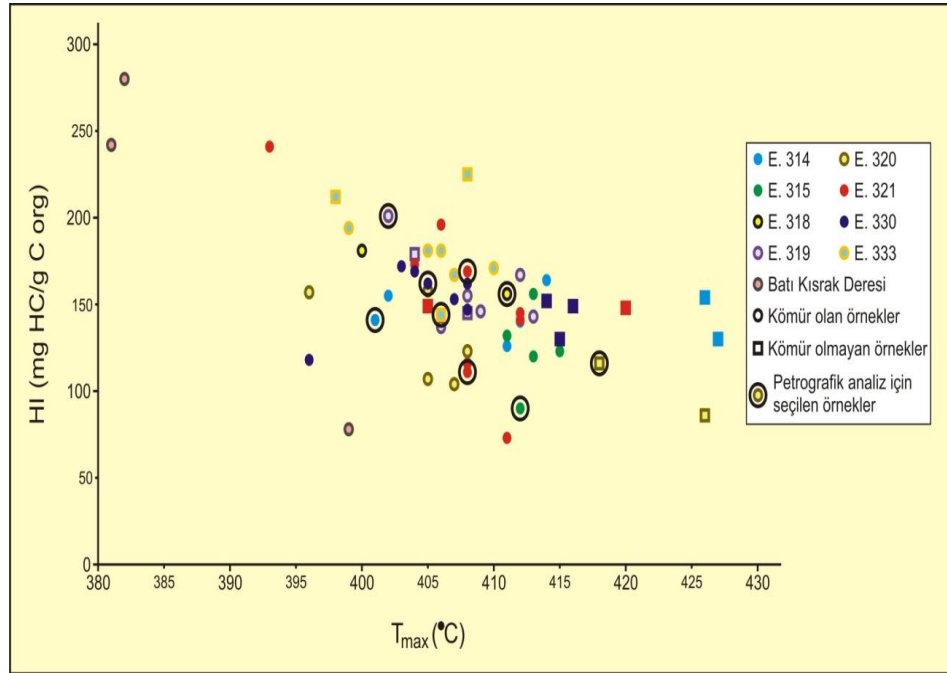
Modelleme çalışmalarında jeolojik evrimin yanısıra kömürün organik jeokimyasal ve petrografik bazı özelliklerinin de bilinmesi gereklidir. Bunlar; kömürlerin Toplam Organik Karbon (TOC) miktarı, Hidrojen İndeksi (HI), Vitrit Yansıması (%Ro) değerleridir. Analizlerden elde edilen veya analiz sonuçlarından hesaplanan Toplam Organik Karbon (TOC) miktarı ve Hidrojen İndeksi (HI) parametreleri hidrokarbon oluşumunun kantitatif olarak belirlenmesi, Vitrit Yansıması (%Ro) değerleri ise modelleme çalışmasında kalibrasyon amaçlı kullanılmıştır.

Saha çalışması kapsamında ilk önce havzayı temsil edecek şekilde seçilen sondajlara ait karotlardan Alt kömür seviyeleri (KM2) arazide örneklenmiştir. Seçilen 8 adet sondajdan toplam 63 tane örnek alınmıştır. Karotlardan örneklenen kömürler Organik Jeokimyasal ve Organik Petrografik Analizler için kullanılmıştır. Organik Jeokimyasal Analizler kapsamında 63 örnek için Rock-Eval Piroliz Analizi yapılmıştır (Tablo 4.2).

Rock Eval analizi sonucunda; Tmax ve TOC (Toplam Organik Karbon) değerleri belirlenmiş olup, analiz sonucunda elde edilen değerlerden HI indeksi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Organik Petrografik Analizi kapsamında da Vitrit Yansıması (% Ro) değerleri ölçülmüştür.

Elde edilen bu parametrelerden TOC ve HI değerleri HC oluşumunun modellenmesi sırasında input verisi olarak, Ro değerleri ise oluşturulan modelin kalibrasyonu sırasında kullanılacaktır.

Bu analizlerin sonuçlarına göre HI indeksi ve Tmax değerleri gözetilerek petrografik analiz için toplam 18 tane örnek belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Petrografik analiz için seçilen örneklerin HI - Tmax diyagramındaki konumları

3.2.1. Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Derlenen örneklerin Toplam Organik Karbon (TOC) içerikleri, % 6.6 – 79.41 arasında değişmektedir. Yüksek kil içeriğine sahip örneklerin TOC miktarları ise % 50' nin altındadır.

Rock – Eval Piroliz analizi sonuçlarından elde edilen değerlerden hesaplanan HI (Hidrojen indeksi) ve OI (Oksijen indeksi) değerleri kullanılarak oluşturulan HI – OI diyagramı (Şekil 4.16) yardımıyla kömürlerin organik madde türü hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Kömürlerin büyük bir kısmı Tip III alanında yer almakta olup karasal organik maddece zengindirler. Buna göre, kömürlerin büyük bir kısmı hümik kömür alanında bulunmaktadır.

Kömür örneklerinin Piroliz Tmax değerleri ise 381 - 427 °C arasında değişmektedir. Bu değerler kömür örneklerinin henüz olgunlaşmamış olduğunu göstermektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Tmax ve organik madde olgunlaşma dereceleri (Tissot ve Welte,1984)

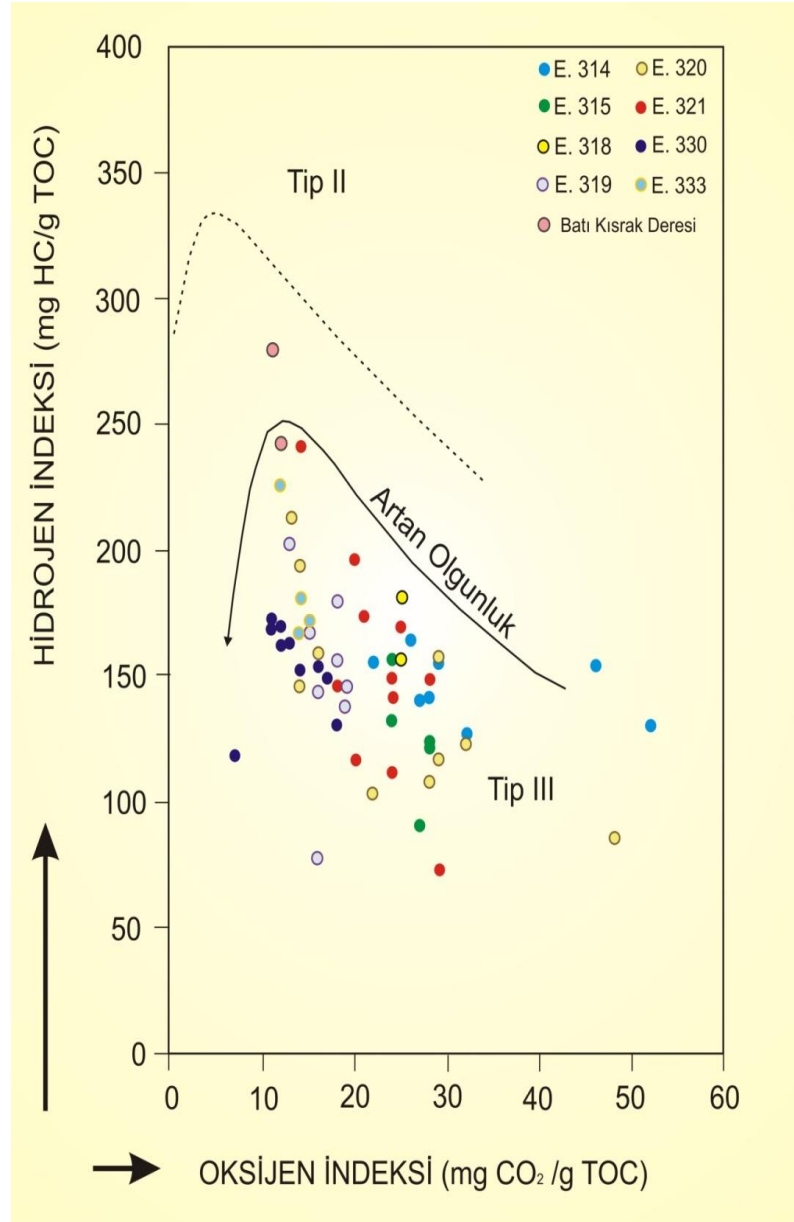
Tmax (°C)	Olgunlaşma Derecesi
<435	Olgunlaşmamış
435-445	Erken-Orta Olgun
445-460	Orta-İleri Olgun
>460	Aşırı Olgun

Tablo 4.2: Rock-Eval Piroliz sonuçları

Örnek Numarası	Derinlik (m)	TOC (%)	S ₁ (mg HC/g org C)	S ₂ (mg HC/g org C)	S ₃ (mg CO ₂ /g org C)	HI (mg HC/g org C)	OI (mg CO ₂ /g org C)	T _{max} (°C)
E.314 Sondajı								
JK - 1104	576.40 - 576.90	66.55	1.16	83.87	21.08	126	32	411
JK - 1105	580.90 - 581.10	54.45	0.93	76.28	14.55	140	27	412
JK - 1106	583.90 - 584.10	67.9	2.07	111.31	17.78	164	26	414
JK - 1107	585.90 - 586.10	59.36	1.65	91.78	17.41	155	29	408
JK - 1108	586.80 - 586.90	63.64	1.05	98.76	13.77	155	22	402
JK - 1109	589.00 - 589.20	67.41	1.67	95.3	18.7	141	28	401
JK - 1110	603.00	6.6	0.08	10.18	3.01	154	46	426
JK - 1111	606.60	11.44	0.1	14.88	5.92	130	52	427
E.315 Sondajı								
JK - 1123	824.75	66.84	0.69	82.07	18.77	123	28	415
JK - 1124	825.50	69.08	0.93	91.3	16.62	132	24	411
JK - 1125	826.00	—	—	—	—	—	—	—
JK - 1126	826.65	68.31	0.49	61.19	18.77	90	27	412
JK - 1127	828.30	63.86	1.17	99.94	15.37	156	24	413
JK - 1128	829.50	70.75	1.07	84.92	19.49	120	28	413
E.319 Sondajı								
JK - 1092	718.30	69.1	0.47	98.52	11.26	143	16	413
JK - 1090	719.20	48.33	0.4	69.89	9.41	145	19	408
JK - 1091	720.30	64.6	0.51	88.61	12.15	137	19	406
JK - 1089	723.30	67.77	0.46	112.84	9.83	167	15	412
JK - 1093	726.30	69.28	0.87	101.16	12.6	146	18	409
JK - 1094	728.20	57.13	1.37	114.66	7.36	201	13	402
JK - 1087	737.00	25.61	0.39	45.89	4.57	179	18	404
JK - 1088	744.00	60.29	0.4	93.6	10.7	155	18	408

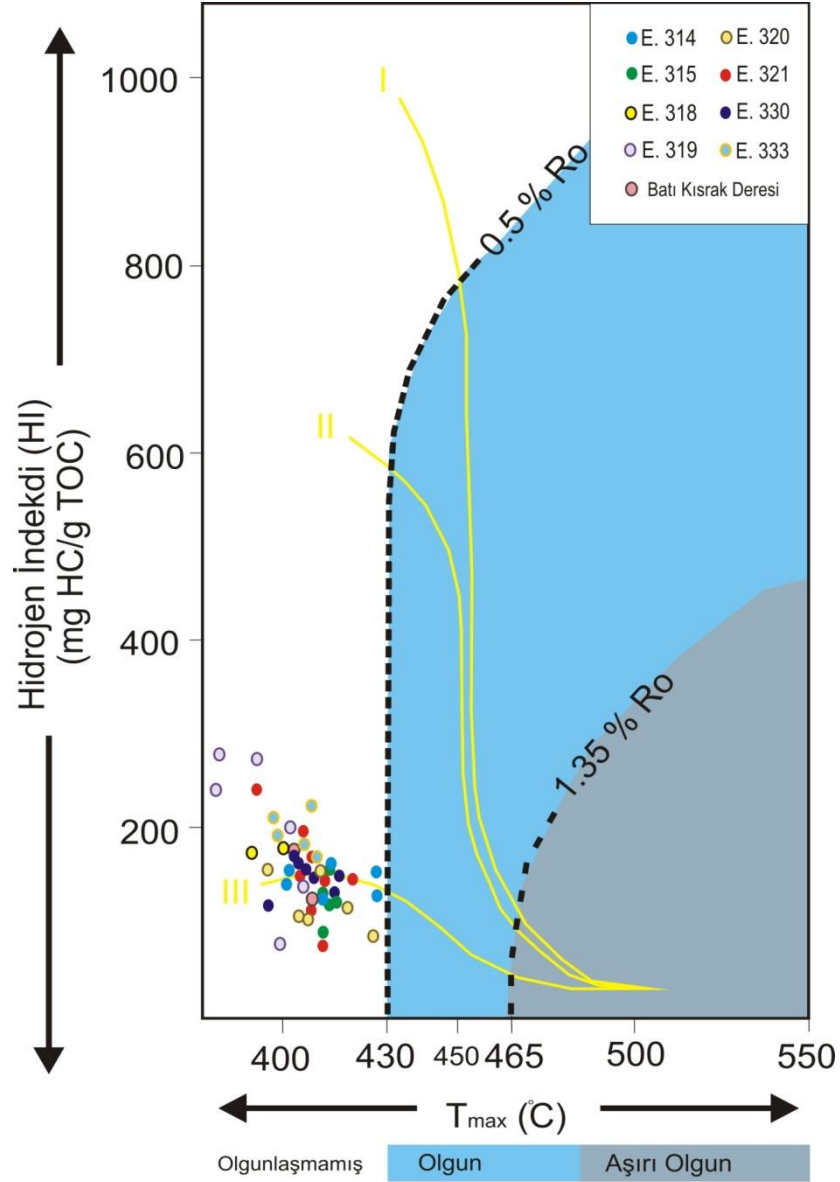
Tablo 4.2'nin devamı

E.320 Sondajı								
JK - 1097	618.60	65.25	0.87	103.08	18.89	158	29	405
JK - 1098	619.70	66.41	0.65	81.61	21.22	123	32	408
JK - 1100	621.30	52.71	0.34	56.44	14.84	107	28	405
JK - 1099	623.40	64.99	0.34	67.7	14.08	104	22	407
JK - 1101	624.40	66.58	1.13	104.54	10.79	157	16	396
JK - 1102	626.20	23.47	0.07	27.26	6.83	116	29	418
JK - 1103	628.70	22.34	0.05	19.17	10.73	86	48	426
E.321 Sondajı								
JK - 1132	720.55 - 720.75	68.95	0.73	100.07	12.72	145	18	412
JK - 1133	720.75 - 721.00	35.74	0.38	52.99	9.85	148	28	420
JK - 1134	724.30 - 724.70	79.41	0.93	88.09	18.81	111	24	408
JK - 1135	725.90 - 726.20	61.3	1.29	103.38	15.14	169	25	408
JK - 1136	731.40 - 731.60	67.54	1.47	95.01	16.05	141	24	412
JK - 1137	736.70 - 736.90	66.87	3.97	161.24	9.42	241	14	393
JK - 1138	737.70 - 738.10	52.88	0.96	91.74	10.89	173	21	404
JK - 1139	738.60 - 738.70	50.84	0.92	99.9	10.17	196	20	406
JK - 1140	740.90 - 741.20	51.3	0.44	59.27	10.41	116	20	408
JK - 1141	742.20 - 742.40	36.09	0.61	53.83	8.65	149	24	405
JK - 1142	744.50 - 744.60	63.87	0.39	46.66	18.36	73	29	411
E.330 Sondajı								
JK - 1113	777.00	59.89	0.38	87.86	8.65	147	14	408
JK - 1112	777.60	61.51	0.51	99.65	7.9	162	13	408
JK - 1114	778.15	69.14	0.58	112.05	8.48	162	12	405
JK - 1115	779.60	65.6	0.59	110.73	7.2	169	11	404
JK - 1116	782.50	64.19	0.54	108.55	7.73	169	12	404
JK - 1117	783.30	69.31	0.53	119.1	7.97	172	11	403
JK - 1118	786.80 - 787.10	51.49	0.52	78.74	8.04	153	16	407
JK - 1119	788.90 - 789.20	39.09	0.19	50.84	7.21	130	18	415
JK - 1120	791.30 - 791.50	29.82	0.18	44.48	4.97	149	17	416
JK - 1121	791.90 - 792.10	39.91	0.3	60.73	5.44	152	14	414
JK - 1122	793.50 - 793.70	67.55	0.24	79.77	4.6	118	7	396
E.333 Sondajı								
JK - 1143	690.45	45.14	0.49	64.85	6.11	144	14	406
JK - 1144	693.50	67.53	0.5	115.41	10.02	171	15	410
JK - 1145	696.50	60.31	1.2	108.97	8.17	181	14	405
JK - 1146	698.70	61.78	0.53	103	8.55	167	14	407
JK - 1147	703.15	50.94	1.01	98.73	7.07	194	14	399
JK - 1148	704.70	62.02	0.94	112.52	8.76	181	14	406
JK - 1149	709.10	45.09	1.87	95.37	5.71	212	13	398
JK - 1150	712.50	45.07	0.54	101.43	5.6	225	12	408
Batı Kırak Deresi								
JK - 1129	~ 230	68.97	0.17	53.82	11.29	78	16	399
JK - 1130	~ 230	67.82	9.2	164.06	8.4	242	12	381
JK - 1131	~ 230	71.53	11.85	200.19	7.75	280	11	382



Şekil 4.16: Kömür örneklerinin detaylı HI - OI diyagramı (Redding, C.E. ve diğ., 1980).

Yine Rock – Eval Piroliz sonuçlarından elde edilen Tmax ve HI değerleri kullanılarak oluşturulan HI - Tmax diyagramı (Şekil 4.17) yardımıyla kömürlerin olgunluğu ve organik madde türü hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Bu diyagramda da kömürler Tip III alanında (karasal kökenli organik madde) yer almaktadır. HI - Tmax diyagramında ayrıca kömürlerin henüz olgunlaşmamış alanda yer aldığı da görülmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: Kömür örneklerinin HI - Tmax kerojen tipi sınıflama diyagramındaki (Mukhopadhyay, 1995) yerleri

4.2.2. Vitrinit Yansıması (%Ro) Ölçümleri

Kömür örneklerinin vitrinit yansıması (kömürleşme derecesi) değerleri % 0.35 - 0.48 Ro değerleri arasında değişmektedir. Alınan örnekler içerisinde Batı Kısarak Deresi açık ocak panosundan alınan kömür örneği en düşük vitrinit yansımasına (% 0.35 Ro) sahip örnektir. En yüksek vitrinit yansımasına sahip örnek ise E. 315 sondajından alınan JK - 1126 numaralı örnektir. Örneklerin vitrinit yansıması değerleri ve standart sapmalar Tablo 4.3' de verilmiştir.

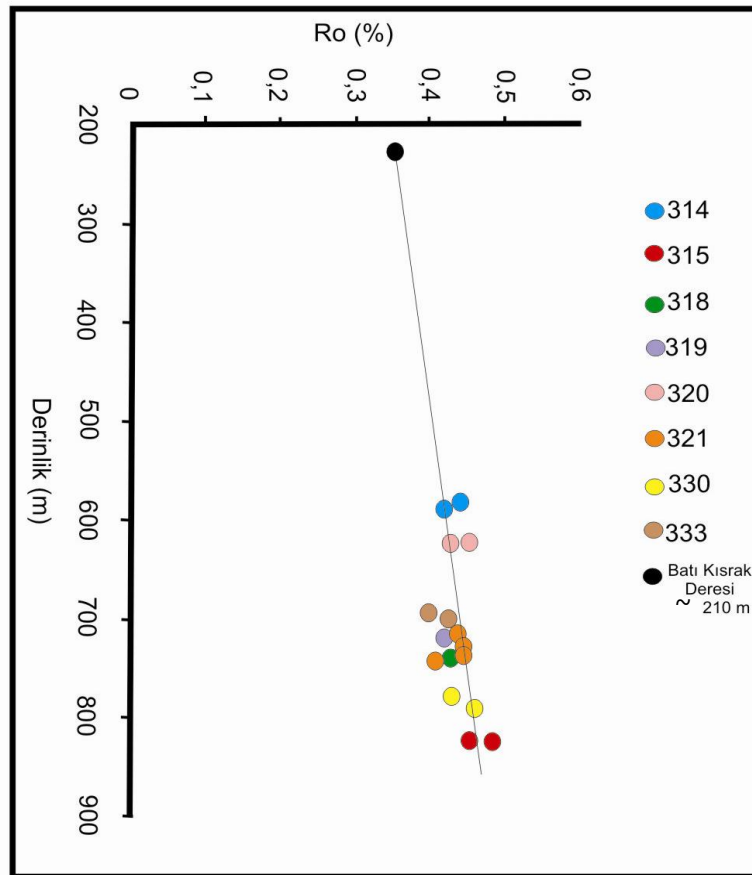
Tablo 4.3: Kömür örneklerinin vitrinit yansıma değerleri

Örnek Numarası	Derinlik (m)	Ölçüm yapılan nokta sayısı (N)	Standart Sapma	R _o (%)
E.314 Sondajı				
JK - 1106	583.90 - 584.10	60	0.031	0.44
JK - 1109	589.00 - 589.20	60	0.029	0.42
E.315 Sondajı				
JK - 1123	824.75	60	0.031	0.45
JK - 1126	826.65	60	0.024	0.48
E.318 Sondajı				
JK - 1095	737.80	100	0.021	0.43
E.319 Sondajı				
JK - 1094	728.20	30	0.020	0.42
E.320 Sondajı				
JK - 1101	624.40	60	0.044	0.43
JK - 1102	626.20	100	0.036	0.45
E.321 Sondajı				
JK - 1134	724.30 - 724.70	60	0.020	0.43
JK - 1135	725.90 - 726.20	30	0.017	0.43
JK - 1137	736.70 - 736.90	60	0.024	0.44
JK - 1142	744.50 - 744.60	30	0.031	0.41
E.330 Sondajı				
JK - 1114	778.15	—	—	—
JK - 1115	779.60	60	0.018	0.43
JK - 1122	793.50 - 793.70	100	0.020	0.46
E.333 Sondajı				
JK - 1143	690.45	60	0.024	0.40
JK - 1145	696.50	60	0.022	0.42
Batı Kısırak Deresi				
JK - 1131	~ 230	60	0.014	0.35

Tablo 4.4: Vitrinit Yansıma değerlerine göre olgunlaşma derecesi (Tissot ve Welte,1984)

% Ro Değeri	Olgunlaşma Derecesi
<0.5	Olgunlaşmamış
0.5-0.6	Erken Olgunlaşma
0.6-0.7	Orta Olgunlaşma
0.7-1.0	Orta-İleri Olgunlaşma
1.0-1.2	İleri Olgunlaşma
1.2-2.5	Aşırı Olgunlaşma
2.5-4.0	Anşimetamorfizma
>4.0	Metamorfizma

Alınan kömür örneklerinin vitrinit yansıması değerleri, bu kömürlerin Linyit ile Alt Bitümlü C sınıfında yer aldıklarını göstermektedir. Ölçülen vitrinit yansıması değerleri kalibrasyon çalışması sırasında kullanılacaktır. Ancak her bir kuyuda trend sağlayacak sayı ve değerde ölçüm bulunmamaktadır. Bu nedenle, erozyon ile aşınan malzemenin eşit kalınlıkta olduğu varsayımı ile kalibrasyon çalışması için ölçülmüş değerlerin tümü kullanılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Ro (%) - Derinlik değişim grafiği

4.3. KÖMÜRLEŞME VE HİDROKARBON OLUŞUMUNUN MODELLENMESİ

Havza modellemesi, yerbilimlerinde eksikliği duyulan sayısal yaklaşımı ve karmaşık jeolojik olayların kavramsal bir bütünlük içinde ele alınmasını sağlamaktadır (Yalçın,1997). Bilgisayar Destekli Modelleme, 1960 yıllardan günümüze gelişen teknoloji ile birlikte özellikle havzaların jeolojik geçmişinin ortaya konması için sık kullanılan bir yöntem olmuştur.

Değişik jeolojik süreçlerin nümerik simülasyonuna dayalı modelleme çalışmalarıyla, çökel havzalarındaki ısı transferi ve herhangi bir birimin sıcaklık evrimi saptanabilmektedir (Welte ve Yalçın, 1988; Yalçın ve Welte, 1988; Yalçın 1991). Sıcaklık değerleri, zaman ve kömürden gaz oluşumunun kinetiğini belirleyen parametreler kullanılarak, kömürleşme derecesi ile hidrokarbonların (HC) (petrol ve doğal gaz) oluşum zamanı ve miktarı hesaplanabilmektedir (Yalçın vd., 1994).

Kömürden hidrokarbon (petrol ve doğal gaz) oluşumunun, kömürlü birimlerin sıcaklık evrimi ve kömürün kinetik özellikleriyle denetlendiği çok sayıda araştırmacı tarafından gösterilmiştir (Jüntgen ve Karweil,1966, Tissot ve Espitalie, 1975). Kömürden Hidrokarbon (petrol ve doğal gaz) oluşumunun reaksiyon kinetiğine ilişkin parametreler (aktivasyon enerjisi ve dönüşüm oranı) artan sıcaklıklarda gerçekleştirilen piroliz tekniği yardımıyla saptanabilmektedir (Ungerer ve Pelet, 1987, Braun ve Burnham, 1987). Kömürlü birimlerin sıcaklık evriminin gerçekçi bir şekilde ortaya konması ise daha karmaşık bir problemdir. Çok yaygın olarak kullanılan jeotermik gradyan yaklaşımının ancak çok özel hallerde doğru sonuçlar verdiği, çoğu kez yanlış ve eksik değerlendirmelere neden olduğu bilinmektedir (Yalçın ve Welte, 1988). Bunun temel nedeni herhangi bir birimin sıcaklık evriminin zamana bağlı bir enerji dengesi sonucunda oluşmasıdır. Enerji dengesi, sisteme dahil olan ve sistemi terkeden ısı miktarı ile sistemin ısıyı depolama ve iletme yetenekleriyle denetlendiğinden sınır koşullarındaki değişiklikler sistemin sıcaklığını doğrudan etkilemektedir. Bu anlamda ısı akısı yoğunluğu, yüzey sıcaklıkları, çökme (gömülme) hızı, litoloji, gözeneklik gibi parametreler ile bunların zaman ve uzay boyutundaki değişimleri, sistemdeki herhangi bir birimin sıcaklık evrimini belirlemektedir. Bunun sonucu olarak jeotermik gradyanın hem zamanın bir fonksiyonu hem de derinliğin bir fonksiyonu olarak değişmesi söz

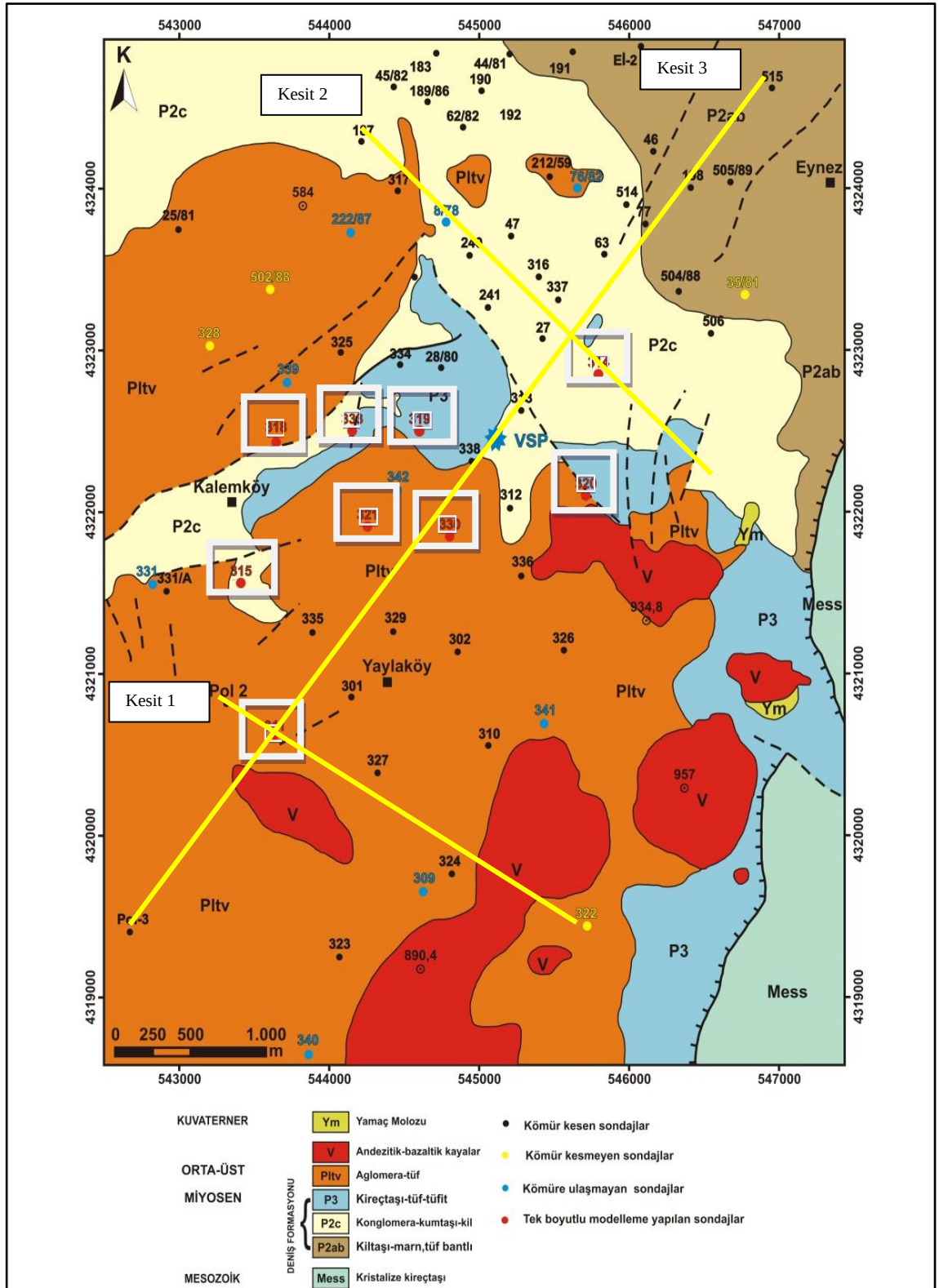
konusudur. Değişimlerin boyutları ile dinamiği statik bir yöntem olan jeotermik gradyan yaklaşımının yetersiz kalışının temel nedenidir.

Herhangi bir sürecin veya çeşitli süreçlerden oluşan sistemlerin, deterministik-dinamik anlamda modellenmesindeki başlıca evreler şunlardır:

- a) Sürecin ve/veya sistemin tanımlanması
- b) Modelin oluşturulması
- c) Simülasyon yoluyla sistemin davranışının incelenmesi

Sistemin tanımlanması; yapılan gözlem, inceleme ve derlenen verilere dayandırılan bir işlemdir. Bu çerçevede, modellenmek istenen sistemin öğeleri arasındaki ilişkiler ve bu unsurların zamana bağlı değişimleri saptanır. Daha sonra sistemi ve gelişimini tanımlayan bir kavramsal model veya bir hipotez gerçekleştirilir ve buna dayalı olarak bir matematiksel model oluşturulur. Matematiksel modellerin simülasyonu, genellikle çok sayıda mantıksal ve matematiksel işlem gerektirdiğinden, modellemenin bilgisayar desteği olmaksızın gerçekleştirilmesi hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle, bilgisayar destekli simülasyon, bilgisayar programı haline dönüştürülmüş bir matematik model olarak tanımlanabilir (Harbough ve Bonham-Carter, 1970).

Modelleme çalışmasının ilk basamağını, modellemesi yapılacak gerçek sistemi temsil etmek üzere bir kavramsal modelin hazırlanması oluşturmaktadır. Kavramsal model, gerçek sistemin jeolojik evrimi ile ilişkili tüm verilerin bir arada değerlendirilmesiyle oluşturulmaktadır. Kavramsal model oluşturulduktan sonra, bu modele dayalı matematiksel model oluşturulur. Bu iki modele bağlı olarak ta, bir girdi verisi (input) hazırlanır. Modellemesi yapılacak olan gerçek sistemin karmaşık yapıda olması ve bu sistemin zaman içindeki değişimlerinin belirlenmesi zor süreçler içermesi nedeniyle, kavramsal model gerçek sistemi genellikle eksiksiz olarak tanımlamamaktadır. Bu nedenle, model sonuçlarının modellemesi yapılan sistem içinde temsilci olabilecek ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak kavramsal modelin kalibre edilmesi gerekmektedir. Kullanılan kalibrasyon parametreleri ile modelleme sonuçları arasında kabul edilebilir bir uyum sağlanması durumunda, kavramsal modelin gerçek sisteme uygun olduğu yani modellemenin başarılı olduğu sonucuna ulaşılır (Şekil 4.19). Bu tür uyum elde

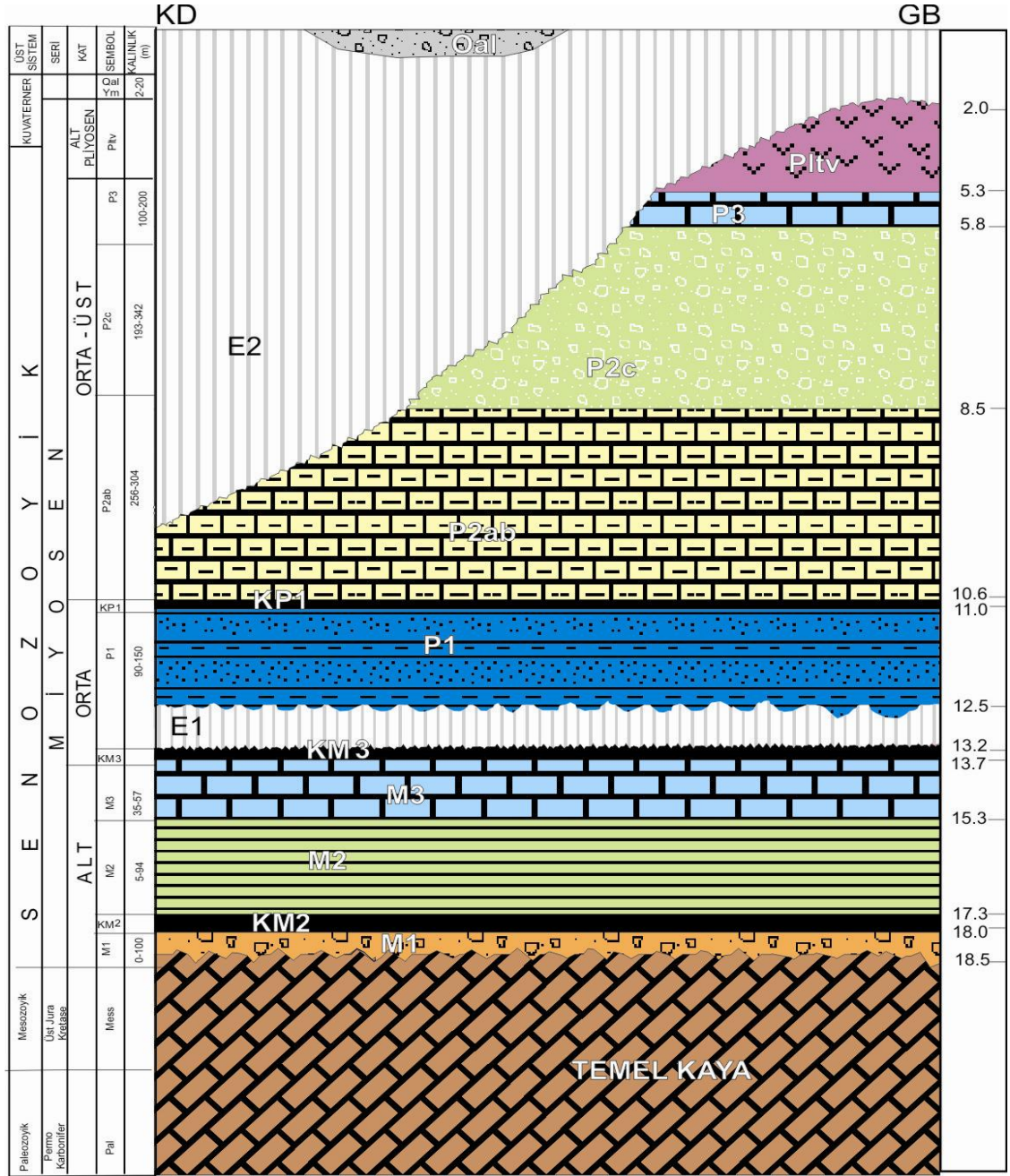


Şekil 4.20 : Tek ve iki boyutlu modelleme yapılan kuyu/kesitlerin konumları

4.3.1. Jeolojik Evrimin Kavramsal Modeli

Soma Formasyonunu çökelimi kaba kırıntılı, blok-moloz-çakıl-kum çökelleri (M1) ile başlamaktadır. Bu çökelim nehirsel-karasal bir evreye karşılık gelmektedir. Çökelmeler hemen hemen gölün su seviyesine ulaştığında bataklık oluşumu başlamıştır. Bu dönemde Alt Kömür Seviyesi (KM2) oluşmuştur. Çökme-çökme dengesinin çökme yönünde gelişmesi ile ortam yeniden gölsel bir ortama dönüşmüş ve marn (M2) sedimentasyonu başlamıştır. Marn sedimentasyonu, zamanla kireçtaşı (M3) sedimentasyonuna dönüşmüştür. Kireçtaşı çökeli esnasında havzanın tabanı en derin noktasına ulaşmıştır. Kireçtaşı serisinin üst kesimlerinin çökeli esnasında havzada hızlı bir yükselim meydana gelmiştir. Bu hızlı yükselim ile ikinci bir bataklık oluşumu gerçekleşmiş ve Orta Kömür Seviyesi (KM3) çökelmeye başlamıştır. Çakıl, kum, silt ve killerle başlayan ikinci sedimantasyon evresi, kireçtaşlarının aşınma yüzeylerinin üzerine gelmektedir.

Deniş Formasyonu ile Soma formasyonu arasında bir erozyon uyumsuzluğu ortaya çıkmaktadır. Hakim olan akarsu ortamında P1 serisinin üst seviyelerine doğru üçüncü bir bataklık ortamına geçilmiştir. Üst Kömür Seviyesi (KP1) bu zamanda çökelmiştir. Çökme-çökme dengesinin çökme yönünde bozulmasıyla ortam tekrar gölsel bir ortama dönüşmüş ve marn, kil, tuf (P2ab) serileri oluşmuştur. Volkanik faaliyetler sonucu göl ortamında sığlaşma ve akış rejimi değişimi ile tekrar nehirsel-gölsel bir evre (P2c) hâkim olmuştur. Birim içerisinde gözlenen marn ve kireçtaşı düzeyleri gölsel evrelerin ürünleridir. P2c çökeli sonrası havza tekrar derinleşerek gölsel ortama geçilmiş, silisifiye kireçtaşları ve tüfitler (P3) çökelmiştir. Daha sonra bölge kuvvetli bir tektonizma ve buna bağlı andezitik volkanizmaya maruz kalmıştır. Tuf, tüfit, aglomera ve andezit kütleleri (Pltv) bu dönemin ürünleridir. Daha sonra bölgede bir aşınma evresi hakim olmuş ve alüvyon/yamaç molozu çökelleri bu aşınma yüzeylerinin üzerine gelmiştir (Tan ve diğ., 2008) (Şekil 4.21-4.22).



Şekil 4.22 : Soma Havzasının KD-GB yönündeki genelleştirilmiş zaman-kaya stratigrafi kesiti

Modelleme, Neojen istifinin tabanını oluşturan Erken Miyosen yaşlı (18.5 myö) M1 briminin çökmesiyle başlayıp, günümüze kadar devam etmektedir.

Modelleme çalışmalarında, bölgedeki Neojen stratigrafisinin yaşları hakkında ortak bir görüşün bulunmayışı nedeniyle, kavramsal modelin oluşturulması aşamasında öncelikle Takahashi ve Jux (1991) tarafından yapılan palinoloji çalışmaları sonucunda kömürlere verilen yaşlar dikkate alınmıştır. Takahashi ve Jux (1991), Alt Kömür Seviyesi (KM2) için Geç Burdigaliyen (17-18 myö), Orta Kömür Seviyesi (KM3) için Langiyen-

Serravaliyen (13-14 myö), Üst Kömür Seviyesi (KP1,2) için Tortoniyen (10-11 myö) yaşlarını vermiştir. Bu çalışmada Soma Formasyonunun yaşı Alt-Orta Miyosen, Deniz Formasyonunun yaşı ise Orta- Üst Miyosen ve bu birim üzerindeki volkanik birimlerin yaşı Alt Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

Isı transferi denkleminin çözümünde kullanılan paleo sediman/su arayüz sıcaklık ve ısı akısı değerlerinin saptanması için paleoiklim, havza tipi ve olası kabuk yapısı verilerinden (Habicht, 1979 ve Frakes, 1979) yararlanılmıştır. Bu son iki girdi verisi, sadece kestirilebilen parametreler olduğundan, bunlar kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında, model sonuçları ile ilgili sondaj kuyusunda ölçülmüş gerçek verilerin denkleştirilmesi yoluyla, gerçeğe en uygun hale getirilmeye çalışılmıştır. Paleo batimetri değerleri belirlenirken, birimlerin çökeltme ortamlarından yararlanılmıştır.

Değişik litolojilerin ısı iletkenlik katsayısı, özgül ısı, özgül ağırlığı, başlangıç gözenekliliği ve sıkışabilirlik katsayıları, kullanılan modelleme yazılımından yararlanılarak litolojiye bağlı olarak belirlenmiştir.

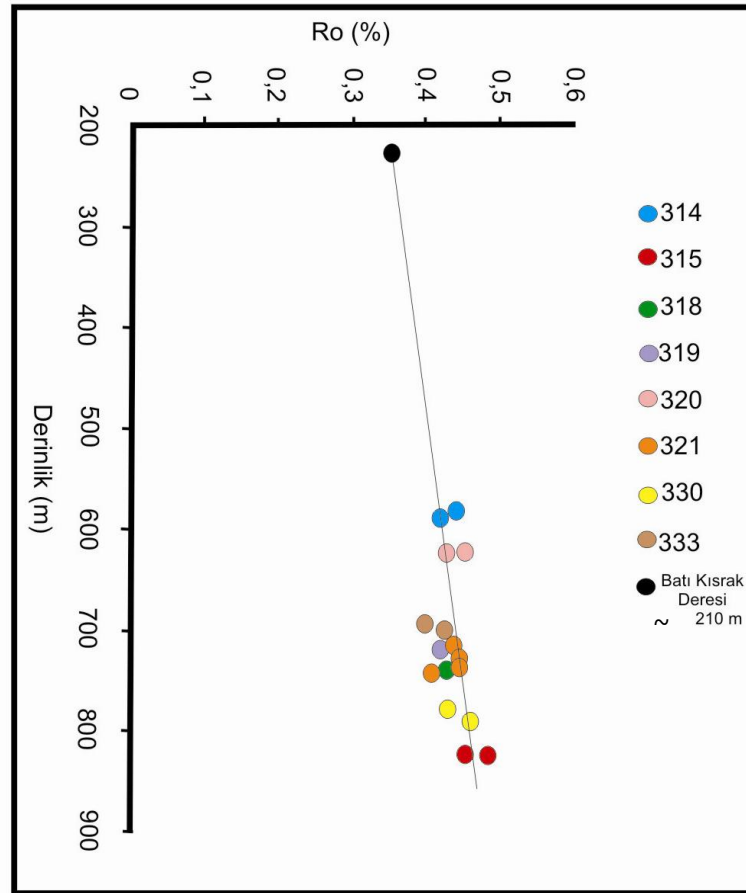
4.3.2. Kontrol Parametreleri

Havza gelişiminin kavramsal modeli ve kuyu verilerinin yardımıyla hazırlanan inputla gerçekleştirilen bir modelleme çalışmasının gerçekçi olup olmadığı, modelleme sonucu hesaplanmış ve kuyuda ölçülmüş bir dizi parametrenin karşılaştırılması ve uyumlarının denetleştirilmesi yoluyla saptanmaktadır (Yalçın,1995).

Kontrol parametreleri olarak kuyuda ölçülmüş sıcaklık değerleri ve organik maddenin olgunluğunu (vitrit yansıması) yansıtan göstergeler kullanılmaktadır. Kavramsal modelin kalibrasyonunda en önemli katkıyı jeolojik boyutlardaki zaman ve sıcaklığın ortak etkisini yansıtan olgunluk değerleri sağlamaktadır. Bunun temel nedeni olgunluk değerlerinin örneğin sıcaklık değerlerinin aksine, kümülatif karakterde oluşudur (Yalçın,1995).

Kavramsal modelin kalibrasyonu amacıyla, modelleme sonucu hesaplanan istifin toplam kalınlığı, her bir çökelme dönemine ait kalınlıklar, kömürleşme derecesini gösteren vitrinit yansıması değerleri, sondaj kuyularında ölçülmüş değerlerle deneştirilmiş ve sonuçlar arasındaki uyumsuzlukların giderilebilmesi için jeolojik, fiziksel ve kimyasal kurallar ihlal edilmeksizin, yoruma dayalı olarak belirlenmiş olan girdi parametreleri değiştirilmiştir. Bu yolla, havza evriminin kavramsal modelindeki bazı belirsizliklerin netleştirilmesinin yanısıra, modelleme öncesi sadece kestirilebilmiş parametreler de gerçeğe en uygun hale getirilebilmiştir.

Kalibrasyon çalışması için her bir kuyuda gerekli trendi sağlayabilecek sayı ve değerde vitrinit yansıması ölçümü bulunmamaktadır. Alınan örneklerin sayısının az olması ve dar bir spektrumu kapsamaları nedeniyle daha güvenilir bir kalibrasyon çalışması için tüm kuyularda ve farklı derinliklerde ölçülmüş değerlerin tümü birlikte kullanılmıştır (Şekil 4.23).

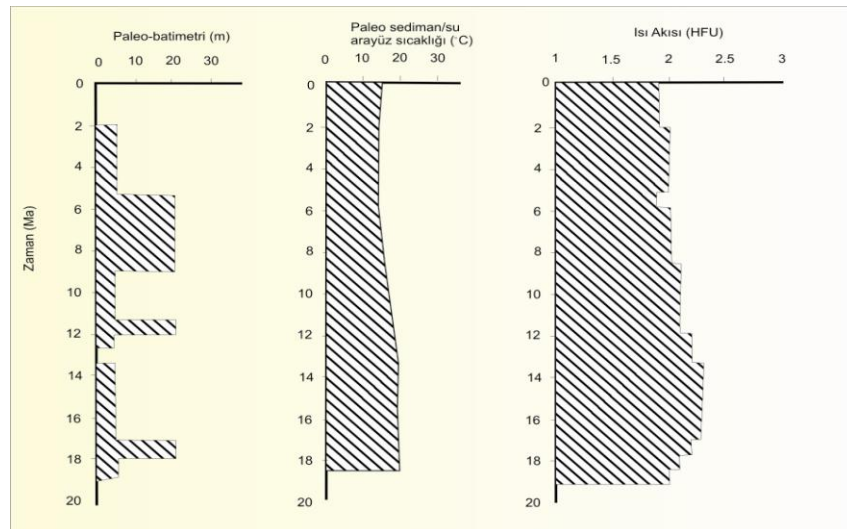


Şekil 4.23: Modelleme çalışmasında kalibrasyon amaçlı kullanılacak vitrinit yansıması – derinlik trendi

4.3.3. Kavramsal Modelin Kalibrasyonu

Pltv biriminin orijinal kalınlığı ve paleo ısı akısı değerlerinin gerçeğe en uygun şekilde belirlenmesi kalibrasyon işleminin iki temel unsurunu oluşturmuştur. Tablo 4.5'te görüldüğü gibi KM3 ve Pltv birimleri kısmen aşındırılmışlardır. KM3 birimi için bölgesel jeolojik verilerin ışığında mümkün olabilecek kalınlık değerleri kullanılarak yapılan modellemeler (duyarlılık analizi), bu birimin kalınlığının kontrol parametrelerinin günümüzdeki değerlerine ulaşmalarındaki etkisinin çok küçük, hatta ihmal edilebilir olduğunu göstermiştir. Buna karşın Pltv biriminin kalınlığının kritik bir öneme sahip olduğu anlaşılmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında ulaşılan kömürleşme derecesinin volkanoklastik birimin (Pltv) orijinal kalınlığı ile bağlantılı olduğu görülmüştür.

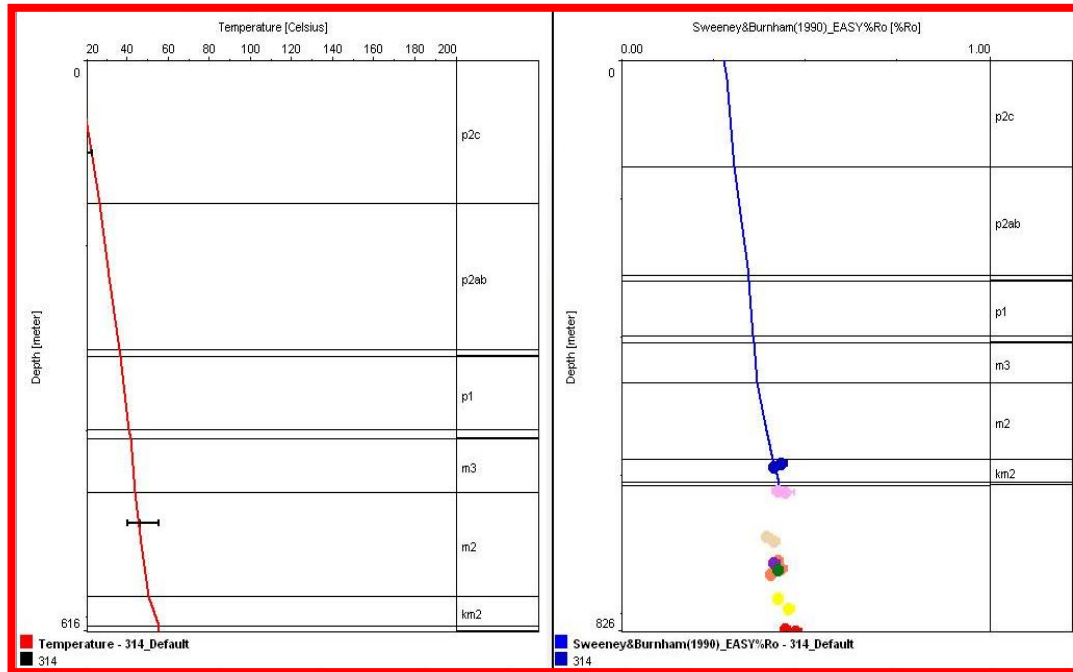
Paleo ısı akısı değerlerinin belirlenmesinde havzanın günümüze kadar olan tektonik evrimi ile günümüzdeki benzer havza türlerindeki ısı akısı değerlerinden yararlanılmıştır. Buna göre havzada çökelmenin başladığı 18.5 milyon yıl öncesinde 2.00 HFU olan ısı akısı göreceli olarak artırılmış ve grabenin oluşmaya başladığı 15.50-13.50 milyon yıl öncesi maksimum değerine (2.30 HFU) ulaşmış olup, bundan sonra Geç Miyosen-Pliyosen dönemindeki volkanizmaya kadar göreceli olarak azaltılmış ve volkanizmanın etkili olduğu dönemde tekrar arttırılmıştır. Günümüzden 2 milyon yıl öncesine kadar olan dönemde ise aşınmaya bağlı olarak bir miktar azaltılmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24: Modellemeye ait paleo batimetri, sediman/su arayüzü sıcaklığı, ısı akısı değerleri

Pliyosen sonrasında bölgesel yükselmelere bağlı olarak tüm Batı Anadolu’da yaklaşık D-B yönlü grabenlerin oluşmasına neden olan gerilme kuvvetleri etkin olmuştur. Pliyosen sonu veya Kuvaterner başlangıcında bölgede etkin olan bazaltik volkanizma (Dededağ Bazaltı), bu grabenleşme ile bağlantılı olarak gelişmiştir (Brinkmann ve diğ., 1970; Akyürek ve Soysal, 1981). Paleo ısı akısı değerleri belirlenirken havzanın açılmaya başladığı ve volkanizmanın görüldüğü dönemlerde ısı akısı değerleri 2.00-2.10 HFU arasında değiştiği öngörülmüştür (Şekil 4.24). Test edilen senaryolar ışığında kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında özellikle ısı akısı değerlerinin zamana bağlı değişimlerinin ve son iki milyon yıldaki aşınma miktarlarının optimizasyonu, bölgenin jeolojik ve yapısal evriminin ışığında şekillendirilmiş ve optimize edilerek kesinleştirilmiştir. Kesinleştirilen kavramsal modelin ışığında hazırlanan input verileri kullanılarak dokuz kuyunun 1-D modellemesi tamamlanmıştır (Şekil 4.25).

Toplam kalınlık ile herbir çökelme dönemindeki, çökel kalınlıkları için ayrı ayrı hesaplanan değerlerle, gerçek değerler arasındaki sapma % 3 den küçük bulunmuştur. Tüm bu parametreler için kabul edilebilir bir uyum sağlandığından, modellemenin gerçeğe uygun bir şekilde yapıldığı sonucuna varılmış ve model sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasına gelinmiştir.



Şekil 4.25: E-314 nolu kuyuya ait hesaplanan sıcaklık ve olgunluk değerlerinin ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması

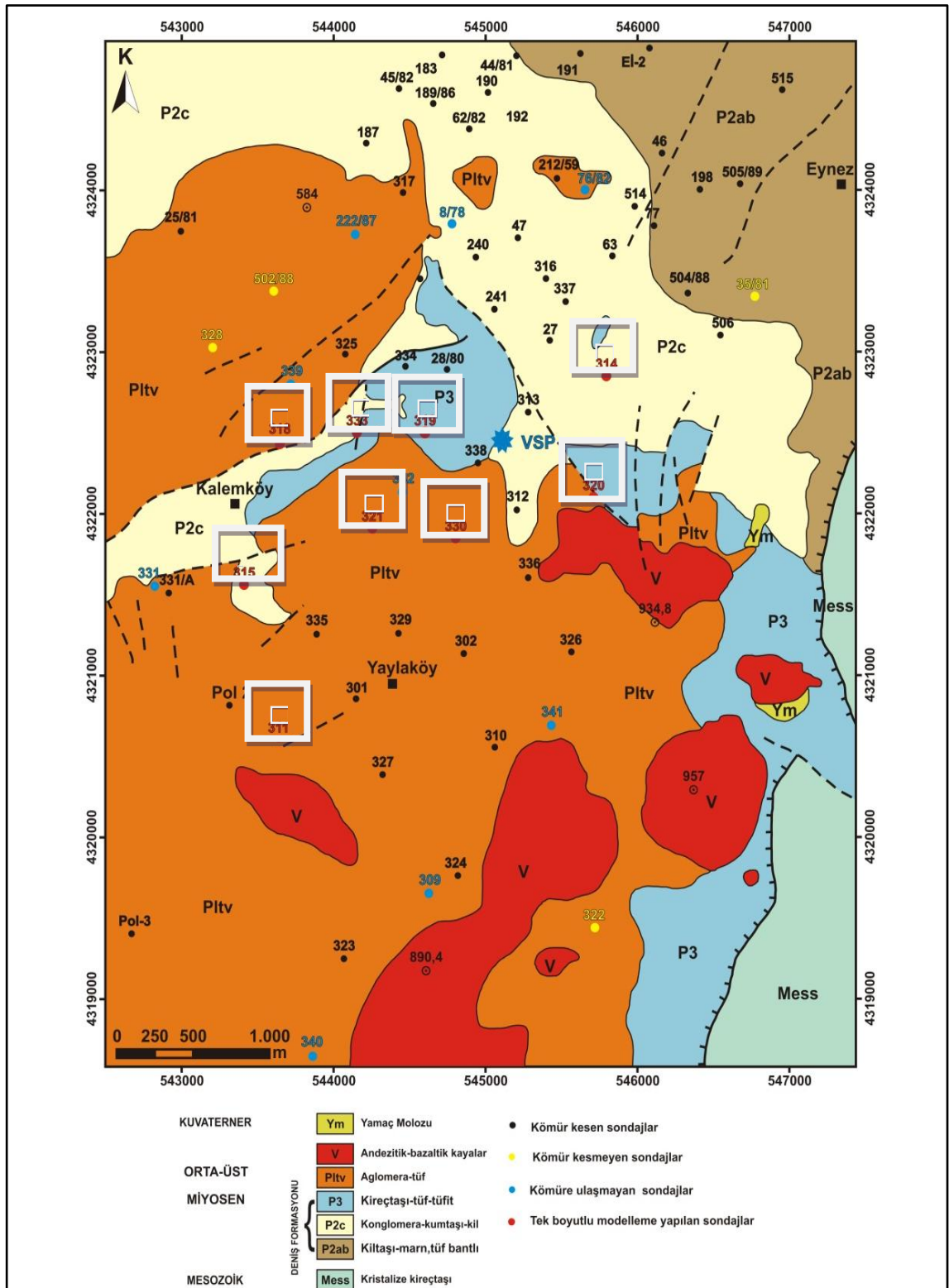
4.3.4. Tek Boyutlu Modelleme

Tek boyutlu modelleme öncelikle jeokimyasal ve petrografik analizler için örneklenen 8 adet kuyuda (E-314, E-315, E-318, E-319, E-320, E-321, E-330, E-333) yapılmıştır (Şekil 4.26). Ayrıca havzanın güneyinde volkanoklastik birimin kalınlığının fazla olduğu kesimde bulunan E-311 No'lu kuyuda olası HC oluşumunun belirlenmesi amacıyla modelleme çalışması yapılmıştır.

4.3.5. Input (Girdiler)

Modellemenin başlangıç zamanı olarak Neojen istifinin tabanını oluşturan Erken Miyosen M1 biriminin çökmesinin başladığı 18.5 milyon yıl (myö) seçilmiş ve modelleme günümüze kadar sürdürülmüştür. Modellenen 18.5 milyon yıllık dönem 13 jeolojik-zaman birimine bölünmüştür. Bu birimlerin başlangıç ve bitiş zamanları, süreleri, nitelikleri ve bunlardan zaman-kaya birimi özelliğine sahip olanlar için kalınlık ve litolojiler ile ısı akısı değerleri Tablo 4.5' te listelenmiştir.

Modellemede 13 jeolojik-zaman biriminden 2 si aşınma dönemidir. Bunlarsan ilki Soma ve Deniz Formasyonları arasında meydana gelen aşınma dönemidir. Bu aşınma Soma Formasyonunun en üstünde yer alan KM3 (Orta kömür seviyesi) biriminin havzada kısmen veya tamamen erozyona uğradığı dönemdir. İkinci aşınma dönemi ise havzada çökelen tuf, tüfit, aglomera ve andezit kütlelerinin (Pltv) aşınma dönemidir.

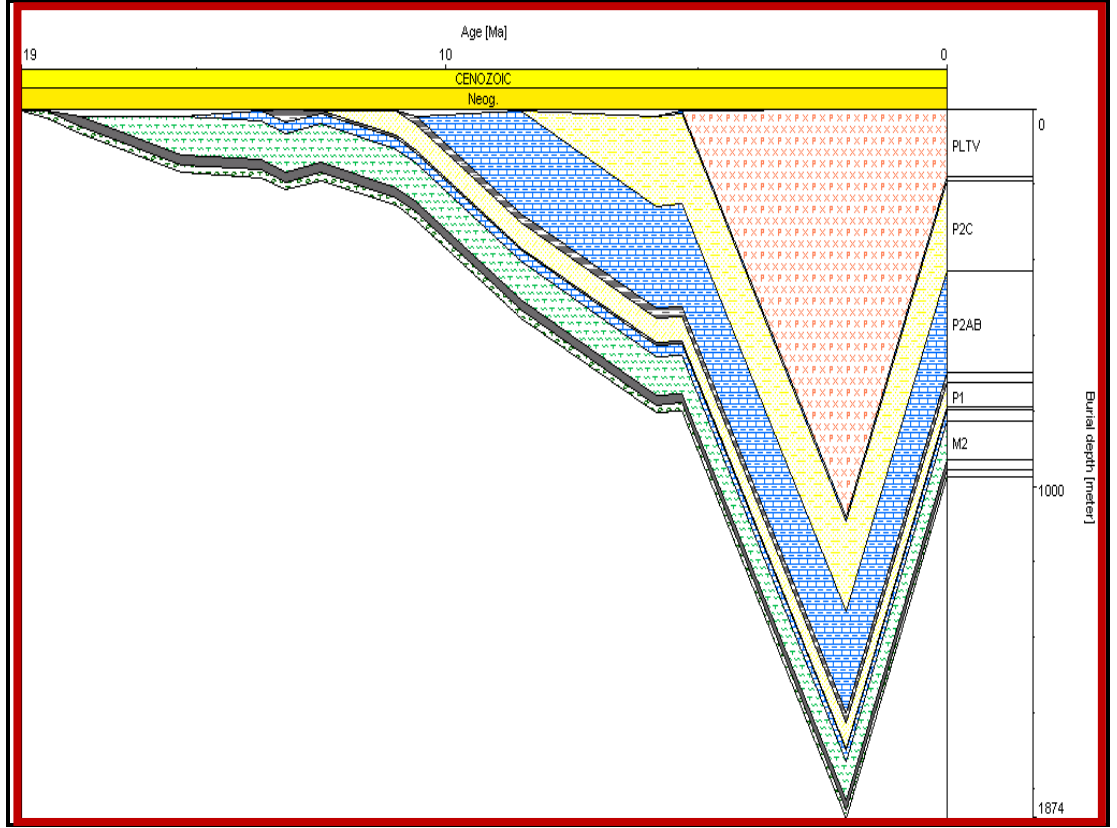


Şekil 4.26 : Tek boyutlu modelleme yapılan kuyuların konumları

Tablo 4.5: Kavramsal modele ait input değerleri

Birim	Zaman Aralığı (myö)	Litoloji	Kalınlık (m)								
			E-311	E-314	E-315	E-318	E-319	E-320	E-321	E-330	E-333
Aşınma 2	2-0	-	-900	-600	-700	-600	-600	-900	-700	-800	-600
Pltv	5.3-2.0	Andezit-Bazalt Tüf	1080	600	730	656	600	914	718	905	600
P3	5.8-5.3	Kireçtaşı	15	10	-30	16	17	10	20	9	14
P2c	8.5-5.8	Kumtaşı-kiltaşı	232	145	333	180	254	13	275	166	224
P2ab	10.6-8.5	Marn	271	160	277	280	204	313	206	268	214
Kp1	11.0-10.6	Killi Kömür	10	8	20	10	20	10	10	8	10
P1	12.5-11.0	Kumtaşı-kiltaşı	81	79	58	76	85	76	73	62	88
Aşınma 1	13.2-12.5	-	-20	-20	-10	-20	-20	-30	-20	-20	-20
Km3	13.7-13.2	Killi Kömür	30	30	37	30	37	30	30	30	30
M3	15.3-13.7	Kireçtaşı	29	56	17	42	16	21	23	35	36
M2	17.3-15.3	Marn	102	112	95	82	110	40	87	97	92
Km2	18.0-17.3	Kömür	26	32	6	16	28	13	27	26	26
M1	18.5-18.0	Konglomera	21	6	8	12	10	2	5	8	4

Modelleme sırasında kısmen aşındırılan birimlerin orijinal kalınlıklarının gerçekçi bir şekilde saptanabilmesi, havzanın sıcaklık/olgunluk evrimi ve kömürdeki HC (Hidrokarbon) oluşumu açısından özel bir öneme sahiptir. Bu nedenle aşındırılan iki birim KM3 ve Pltv birimlerinin orijinal kalınlık değerleri farklı senaryoların test edilmesi sonucu saptanmış optimal değerleri göstermektedir. Bu değerler kullanılarak çizilen gömülme diyagramı Şekil 4.27’de görülmektedir.



Şekil 4.27 : E-311 nolu kuyuya ait gömülme diyagramı

İnput verileri hazırlanırken birimlerin litolojileri homojen olanlarda doğrudan, farklı litolojilerin ardalandığı birimlerde ise bir genelleştirme yapılarak belirlenmiştir. Değişik litolojilerin ısı iletkenlik, özgül ısı, özgül ağırlık, başlangıç gözenekliliği ve sıkışabilirlik katsayıları gibi parametreler kullanılan Petromod 10 yazılımı tarafından belirlenmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Birimlere ait ısı iletkenlik, özgül ağırlık, sıkışma katsayısı değerleri

Litoloji	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Başlangıç Porozitesi	Sıkışabilirlik Katsayısı min/max (1E-7/kPa)	Isı İlet. Kat. 20 °C (W/m/K)	Isı İlet. Kat. 100 °C (W/m/K)
Pltv	2650.00	0.05	0.00	0.00	2,70
P2c	2666.00	0.48	10.00	1400.00	2,83
P2ab	2687.00	0.47	10.0	940.00	2,78
KuP1	2664.00	0.56	10.00	1200.00	2,23
KM3-KP1	2080.00	0.46	10.00	92000.00	1,12
M3	2710.00	0.24	10.00	150.00	2,97
M2	2700.00	0.30	19.80	778.00	2,00
KM2	1680.00	0.52	10.00	130000.00	0,50
Konlgomera	2080.00	0.30	8,80	142.10	2,30

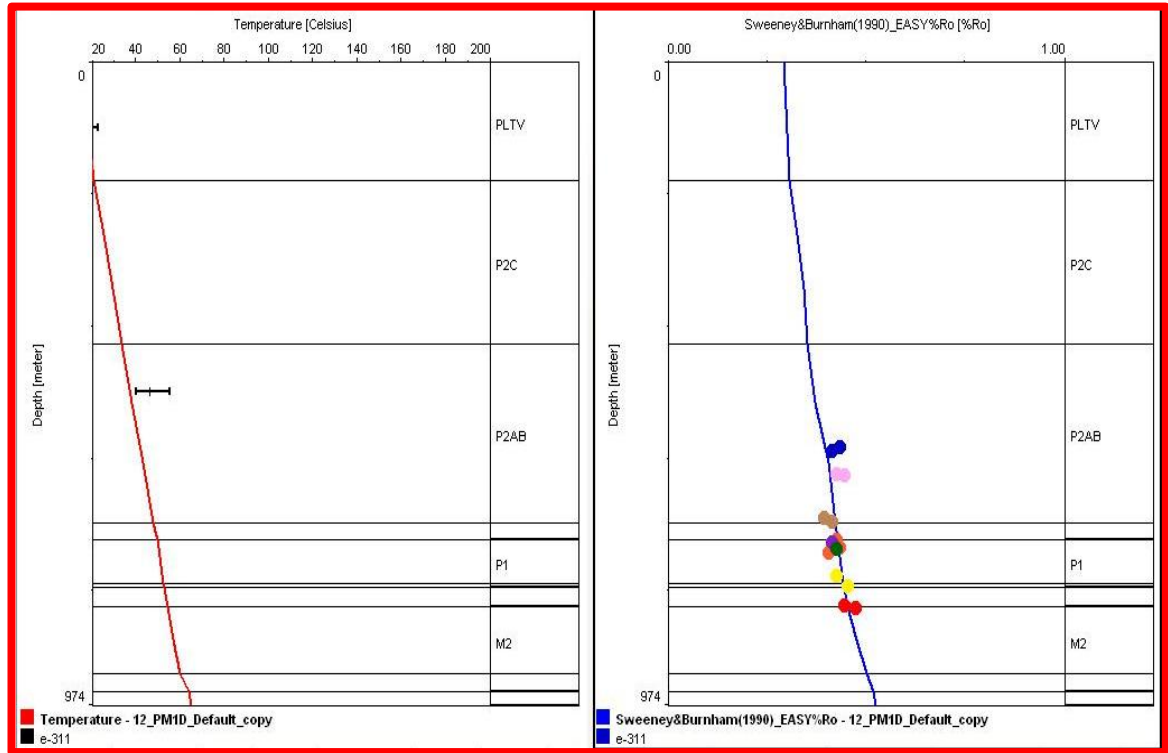
Birimlerin çökelmeleri sırasındaki su derinlikleri çökelme ortamlarından türetilmiştir. Karasal çökellerin hakim olduğu dönemlerde paleo batimeri değerleri 5 m olarak alınırken gölsel çökellerin hakim olduğu dönemlerde 20 m olarak öngörülmüştür. Deniz tabanı/yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde ise havzasının coğrafi konumu girilerek programa önceden tanıtılmış olan veriler kullanılmıştır.

Yerin içerisinden yeryüzüne doğru akan ısı enerjisine yerin ısı akısı (terrestrial heat flow) denir. SI sistemine göre birimi; birim metre kareden geçen miliwatt cinsinden enerji (mW/m²)’dir. Isı akısının cgs sistemine göre birimi; birim saniyede santimetre kareden geçen mikro kalori (μcal/cm².sec)’dir. Bu iki birim arasında, 1 μcal/cm².sec veya 1 HFU = 41.84 mW/m² ilişkisi vardır. Havza modellemesi çalışmalarında önemli input parametrelerinden biri olan ısı akısı ve jeolojik geçmişteki değerlerinin kestirilmesinde ise havza türü, kabuk yapısı, tektonik evrim ve benzer havzalardaki güncel ısı akısı değerlerinden yararlanılmıştır. Isı akısı tarihçesinin belirlenmesi aşamasında farklı birçok senaryo değerlendirilmiştir.

Birinci senaryoda, KM2 biriminin çökmesi sırasındaki ısı akısı değeri olan 1.80 HFU olarak alınmıştır. Bunun öncesindeki ve sonrasındaki dönemler için dereceli olarak azaltılmış ve arttırılmıştır. Isı akısı değeri M1 biriminin çökmeye başladığı dönemde 1.40 HFU, günümüzde ise 1.60 HFU olarak belirlenmiştir. En düşük ısı akısı olarak tanımlanabilecek bu senaryoda yapılan modelleme sonucu hesaplanan olgunluk değerleri olması gerekenden çok düşük çıkmıştır.

İkinci senaryoda, Isı akısı değeri M1 biriminin çökmeye başladığı dönemde 1.60 HFU alınmıştır. Isı akısı değeri grabenleşmenin başladığı döneme kadar (15.5-13.5 my) dereceli olarak artırılmış ve bu dönemde maksimum ısı akısı değeri 2.00 HFU olarak belirlenmiştir. Bundan sonra ise ısı akısı dereceli olarak azaltılmıştır. Volkanizmanın hakim olduğu dönemlerde ise bir miktar artırılmış ve 1.90 HFU değerini almıştır. Havzada hakim olan son dönem aşınma nedeniyle ısı akısı 1.70 HFU değerini kadar düşürülmüştür. Bu senaryoda yapılan modelleme sonucu hesaplanan olgunluk değerleri olması gerekenden düşük çıkmıştır.

Üçüncü senaryoda ise, ısı akısı Neojen istifinin tabanını oluşturan M1 biriminin çökmeye başladığı dönemde (18.5 myö) 2.00 HFU olarak kabul edilirken grabenleşmenin başladığı 15.5-13.50 myö 2.30 HFU değerine kadar yükselmiştir. Bu dönemden sonra ısı akısında bir miktar azalma görülmekle beraber volkanizmanın olduğu dönemde 2.00 HFU değerini almıştır. Havzada son dönemde görülen aşınmaya bağlı olarak ısı akısı biraz azalarak 1.90 HFU değerini almıştır. Bu senaryoda yapılan modelleme sonucu hesaplanan olgunluk değerleri olması gereken değerler ile kabul edilebilir bir uyum sağladığı saptanmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28: E-311 nolu kuyuya ait hesaplanan sıcaklık ve olgunluk değerlerinin ölçülmüş değerler ile karşılaştırılması

Modelleme çalışmalarında önemli input parametrelerinden bir tanesi de kömürden petrol ve doğal gaz oluşumunun kinetik özellikleridir. Kinetik özellikler kömürleşme ve HC oluşturma potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada kömürlerin kinetik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli piroliz analizi yapılamadığından, daha önce Zonguldak kömürleri için belirlenmiş liptinitçe fakir oldukça düşük bir kömürleşme derecesine sahip kömürlerin kinetik değerleri kullanılmıştır (Yalçın vd., 2002) (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 : Bir Hümik Kömürden HC oluşumunun modellenmesinde kullanılan HC oluşum potansiyeli ve aktivasyon enerjisi değerleri (Yalçın vd., 2002)

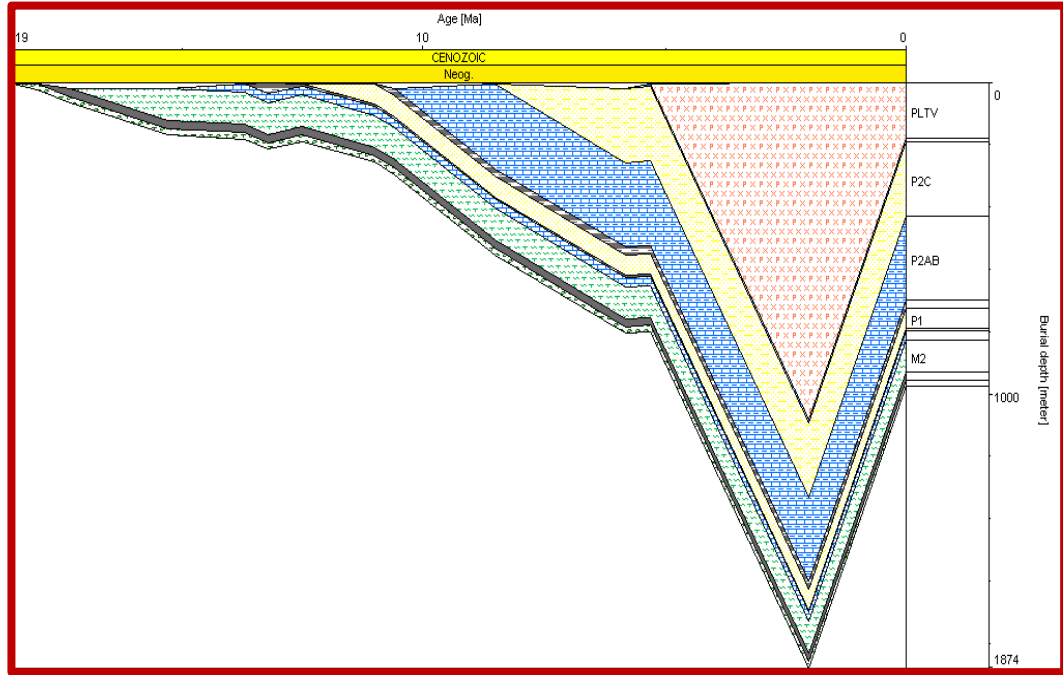
Aktivasyon Enerjisi (kcal/mol)	Hidrokarbon Oluşturma Potansiyeli (mg HC/g coal)	
46	0,00	
47	0,10	
48	0,00	
49	0,10	
50	0,30	
51	0,00	
52	1,10	
53	7,80	
54	11,4	
55	30,3	
56	21,7	7,29
57		22,42
58		22,42
59		10,93
60		12,75
61		6,73
62		6,87
63		4,06
64		3,50
65		4,48
66		0,00
67		5,61
68		0,00
69		0,00
70		5,05
71		0,00
72		0,00
73		0,00
74		0,00
75		0,00
Toplam	Petrol= 72,8 mg/g	Gaz=112,2 mg/g
	132 mg HC / g coal	
	185 mg HC/ TOC	

4.3.6. Modelleme Sonuçları

Başarılı bir modelleme çalışmasının ardından sağlanan en önemli sonuç birimlerin kalınlık, gözeneklilik geçirgenlik, basınç, sıcaklık ve olgunluk gibi özelliklerinin zamana bağlı değişimlerinin saptanabilmesidir (Yalçın,1995).

4.3.6.1. Gömülme

Soma Kömür Havzası'nda Neojen istifinin çökmesi M1 (konglomera) birimiyle başlamaktadır. Bu birimin üzerine sırasıyla KM2 (Alt Kömür Seviyesi), M2 (kireçtaşı), M3 (marn) ve KM3 (Orta Kömür Seviyesi) birimleri çökmüştür. Bu dönemden sonra havzada aşınma dönemi hakim olmakta ve KM3 birimi kısmen ve/veya tamamen aşınmaktadır. Aşınma döneminden sonra Deniz Formasyonunun tabanını oluştıran P1 (serizitli kumtaşı) birimi çökmüştür. Bu birimin üzerine KP1 (Üst Kömür Seviyesi), P2ab (Marn), P2c (kumtaşı-kil) ve P3 (kireçtaşı) birimleri çökmüştür. Deniz Formasyonunun üzerine volkanoklasitik birimin çökmesinden havzada ikinci bir aşınma dönemi hakim olmaktadır (Şekil 4.29). Bu şekilde yukarıdaki tarihçeye temsilci olarak E-311 nolu kuyunun diyagramı gmrılmektedir.

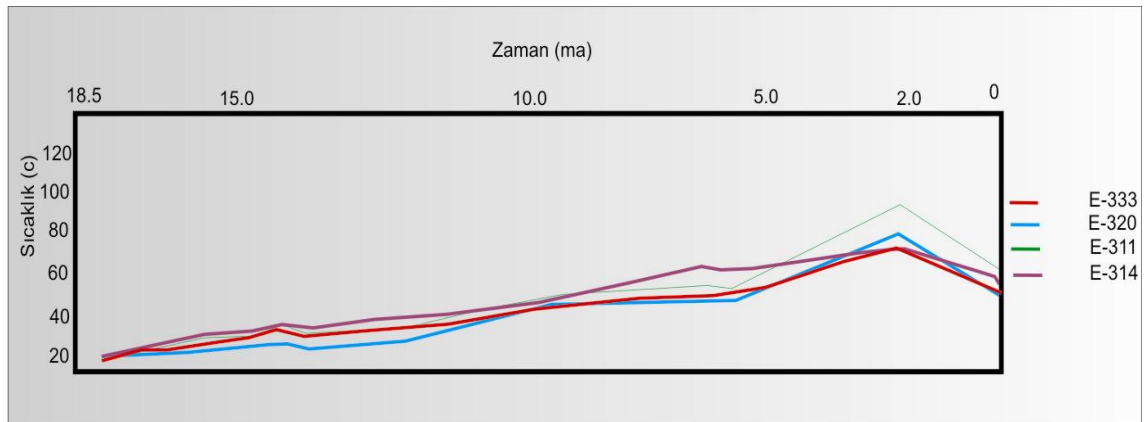


Şekil 4.29: E-311 Nolu kuyuda modelleme sonunda elde edilen gömülme diyagramı

4.3.6.2. Sıcaklık

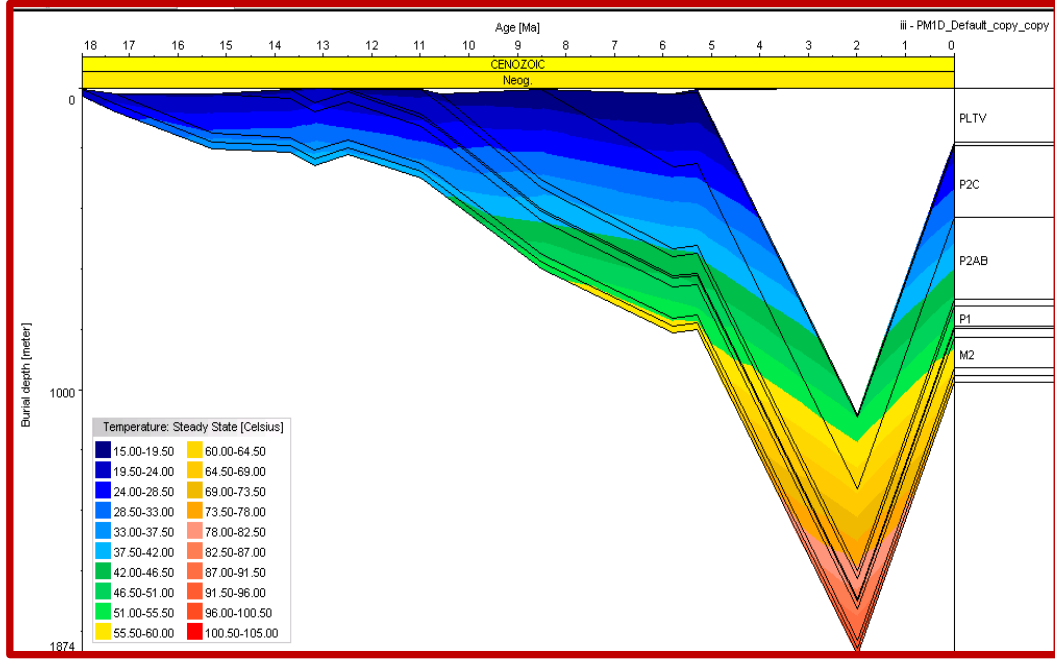
Bir boyutlu modellemenin sonucunda KM2 kömürünün sıcaklık tarihçesini birbirinden biraz farklı tarihçelere sahip 4 kuyu (E-311, E-314, E-320, E-333) için hazırlanan zaman-sıcaklık diyagramı yardımıyla ele alınmıştır (Şekil 4.30). Buna göre, KM2 (Alt Kömür Seviyesi) birimi, 13.20 milyon yıl öncesine kadar önce hızla gömülerek ortalama 35 °C lik bir sıcaklığa ulaşmıştır. Ancak sonraki aşınma dönemi, artan ısı akısı yoğunluğuna rağmen birimin sıcaklığında az da olsa düşmelere neden olmuş, kısa süren aşınma döneminden sonra Miyosen sonuna kadar kesiksiz süren çökme (gömülme), ısı akısındaki dereceli azalmaya rağmen sıcaklığın artarak 60 °C yi geçmesini sağlamıştır. Geç Miyosen-Erken Pliyosen döneminde çökmeye başlayan volkaniklastik birimin kalınlığına ve artan ısı akısına bağlı olarak, havzada meydana gelen çökmeyle (gömülme) birlikte sıcaklık değeri 90 °C yi geçmiştir. Havzada hakim olan ikinci aşınma dönemi ile birlikte ısı akısındaki bir miktar azalma sıcaklık değerinin 60 °C ye düşmesine neden olmuştur (Şekil 4.30).

Şekil 4.30'da KM2 birimine ait, farklı kuyulardan elde edilen sıcaklık-zaman grafiği görülmektedir. Gömülmenin en fazla olduğu E-311 Nolu kuyu ile gömülmenin en az olduğu E-314 Nolu kuyunun sıcaklık trendlerine bakacak olursak, volkanoklastik birimin kalınlığının az olmasından dolayı E-314 Nolu kuyu maksimum sıcaklığa volkanoklastik birimin çökmesinden önce 5.0 milyon yılda ulaşmaktadır. E-311 Nolu Tüm kuyularda ise maksimum sıcaklığa volkanoklastik birimin (2 myö) çökmesinde sonra ulaşmaktadır.



Şekil 4.30: KM2 biriminin farklı kuyulardaki konumuna göre sıcaklık-zaman grafiği

Modelleme sonuçları, Alt Kömür Seviyesinin (KM2) sıcaklığının, maksimum derinliğe ulaştığı dönemde gömülme derinliğine de bağlı olarak 90-60 °C'ye ulaştığı, iki milyon yıl sonrasındaki aşınma dönemi sonunda ise 60-50 °C' ye düştüğünü göstermiştir.



Şekil 4.31: E-311 Nolu kuyuya ait gömülme diyagramı ve sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi

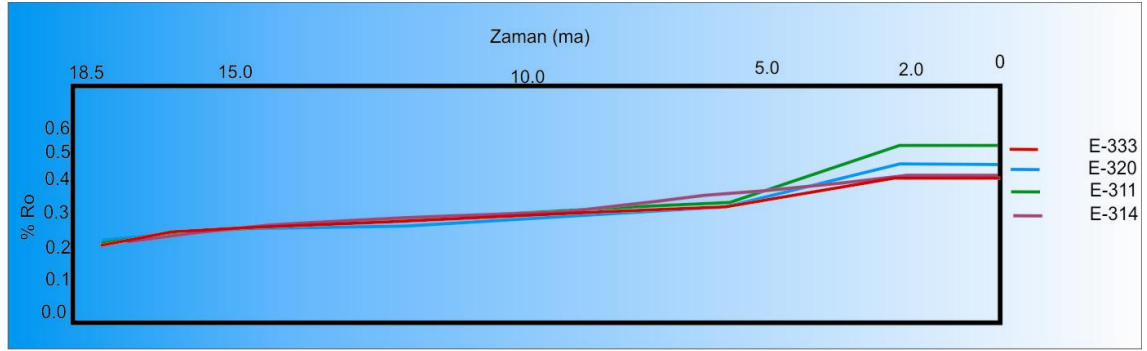
Gömülme derinliğinin en fazla olduğu E-311 nolu kuyuda son aşınma evresinden önce gömülme 1874 m olmaktadır. Bu derinlikte sıcaklık 87 °C'ye ulaşmış ve aşınma sonucunda günümüzde bu sıcaklık 70 °C kadar düşmektedir (Şekil 4.31).

4.3.6.3. Kömürleşme Derecesi (Olgunluk)

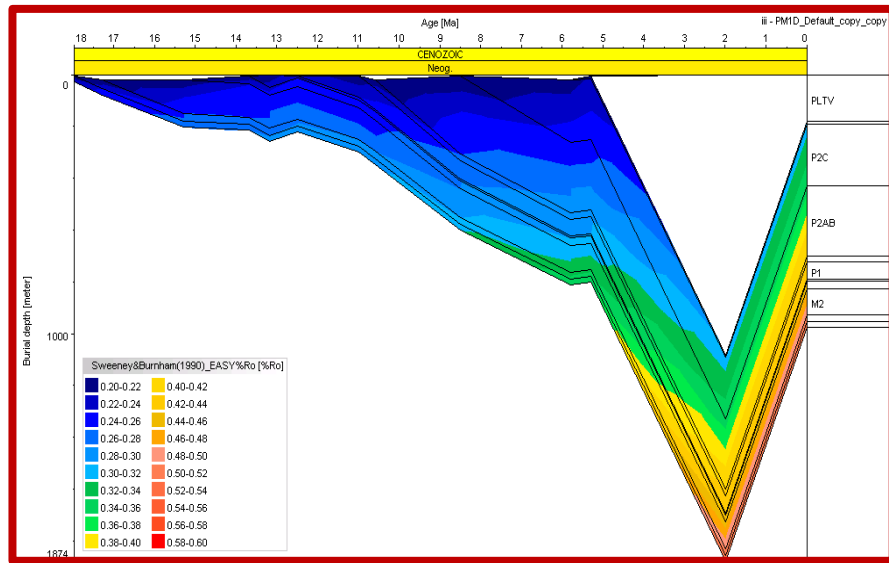
KM2 (Alt Kömür Seviyesi) biriminin kömürleşme derecesi, 18.00 milyon yıldan başlayarak artan gömülme ve sıcaklığa bağlı olarak ve 5.0 milyon yıl öncesine kadar dereceli olarak artarak yaklaşık 0.30 Ro değerine ulaşmıştır (Şekil 4.32). Bu dönemden sonra gömülme (volkanoklastik birimin çökmesi nedeniyle) ve sıcaklıktaki hızlı artış sonucu kömürleşme derecesi 0.40-0.50 Ro değerine ulaşmaktadır. 2.0 milyon yıl öncesi başlayan aşınma nedeniyle kömürleşme derecesinde son 2 milyon yılda herhangi bir önemli artış meydana gelmemektedir.

Şekil 4.32’de KM2 birimine ait, farklı kuyulardan elde edilen % Ro-zaman grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerden KM2 (Alt Kömür Seviyesi) biriminin kömürleşme derecesini 5.0 milyon yıl önce çökmeye başlayan volkanoklastik birimin kontrol ettiği görülmektedir. Örneğin volkanoklastik birimin kalınlığının fazla olduğu E-311 Nolu kuyuda kömürleşme derecesi hızla artarken, volkanoklastik birimin kalınlığının az olduğu E-314 Nolu kuyuda ise kömürleşme derecesi ani bir artış meydana gelmemektedir.

Alt Kömür Seviyesinin olgunluğunun gömülmeye bağlı olarak % Ro 0.40-0.50 arasında değer aldığı belirlenmiştir. Bu değerler neticesinde Alt Kömür Seviyesinin henüz olgunlaşmamış olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32: KM2 birimine ait %Ro -zaman grafiği

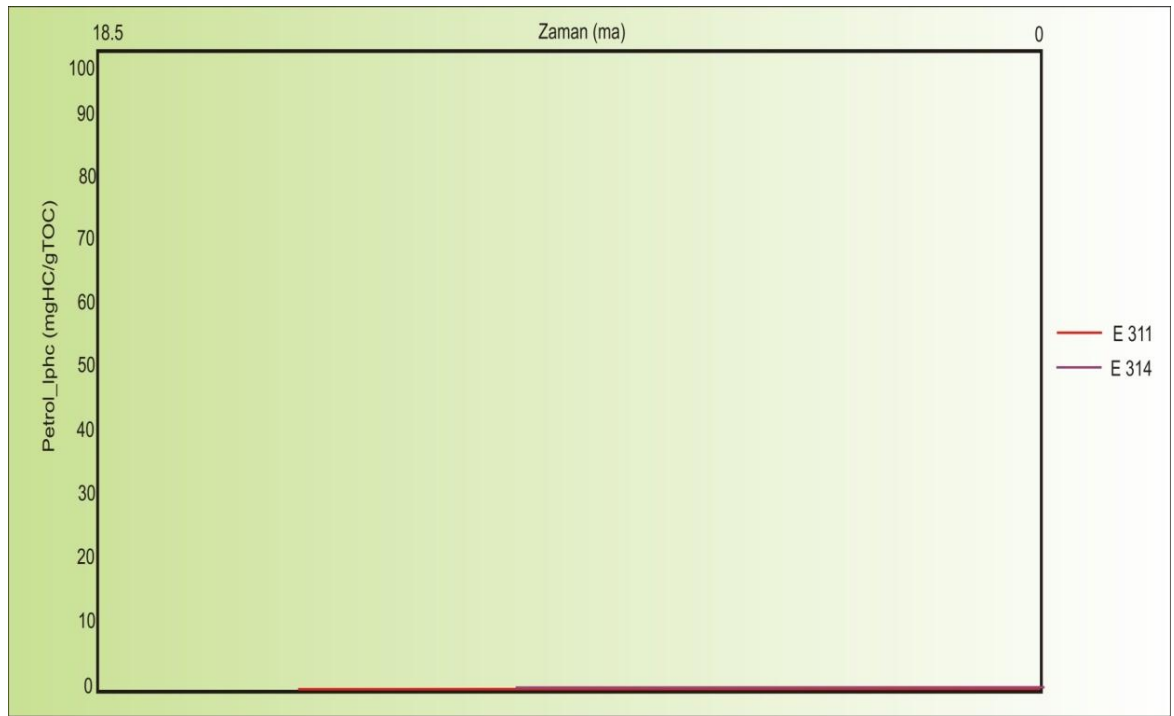


Şekil 4.33: E-311 Nolu kuyuya ait gömülme diyagramı ve kömürleşme derecesinin zamana bağlı olarak değişimi

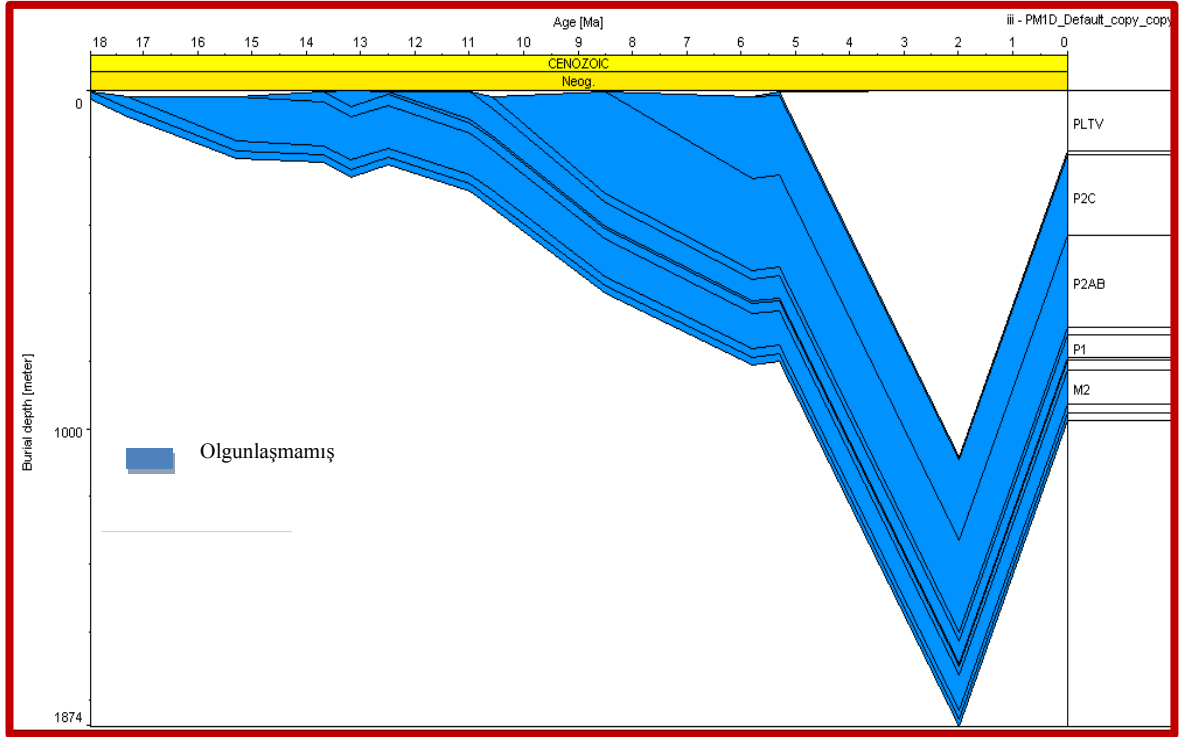
E-311 nolu kuyuda maksimum gömülme derinliğinde % Ro değeri 0.50-0.52'ye ulaşmaktadır (Şekil 4.33).

4.3.6.4. Hidrokarbon Oluşumu

Kömürün kinetik özellikleri kömürleşme ve HC oluşturma potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada Zonguldak kömürleri için belirlenmiş liptinitçe fakir kömürlerin kinetik değerleri kullanılmıştır. Modelleme sonucunda kuyularda hidrokarbon oluşumu çok çok düşük olup, herhangi bir ekonomik miktar söz konusu değildir (Şekil 4.34,4.35). Kuyularda daha fazla hidrokarbon oluşmamasının nedeni kömürün mevcut kinetik özellikleri ışığında, yeterli sıcaklık değerlerine ulaşmamasıyla ilgilidir.

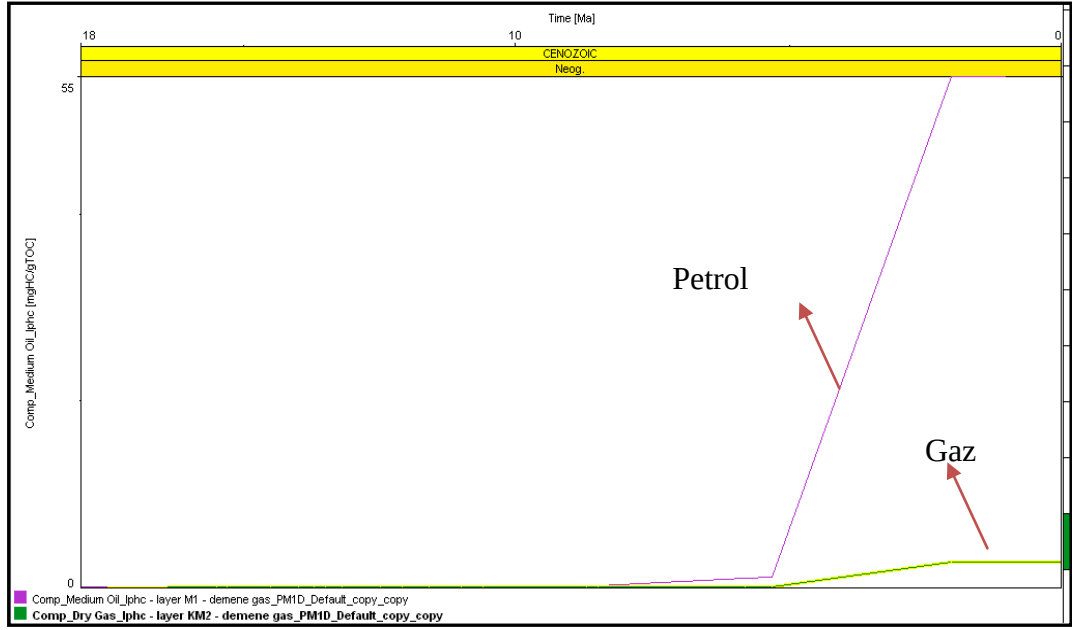


Şekil 4.34: KM2 birimine ait hidrokarbon oluşturma potansiyeli grafiği



Şekil 4.35: E-311 Nolu kuyuya ait Hidrokarbon oluşturma potansiyeli grafiği

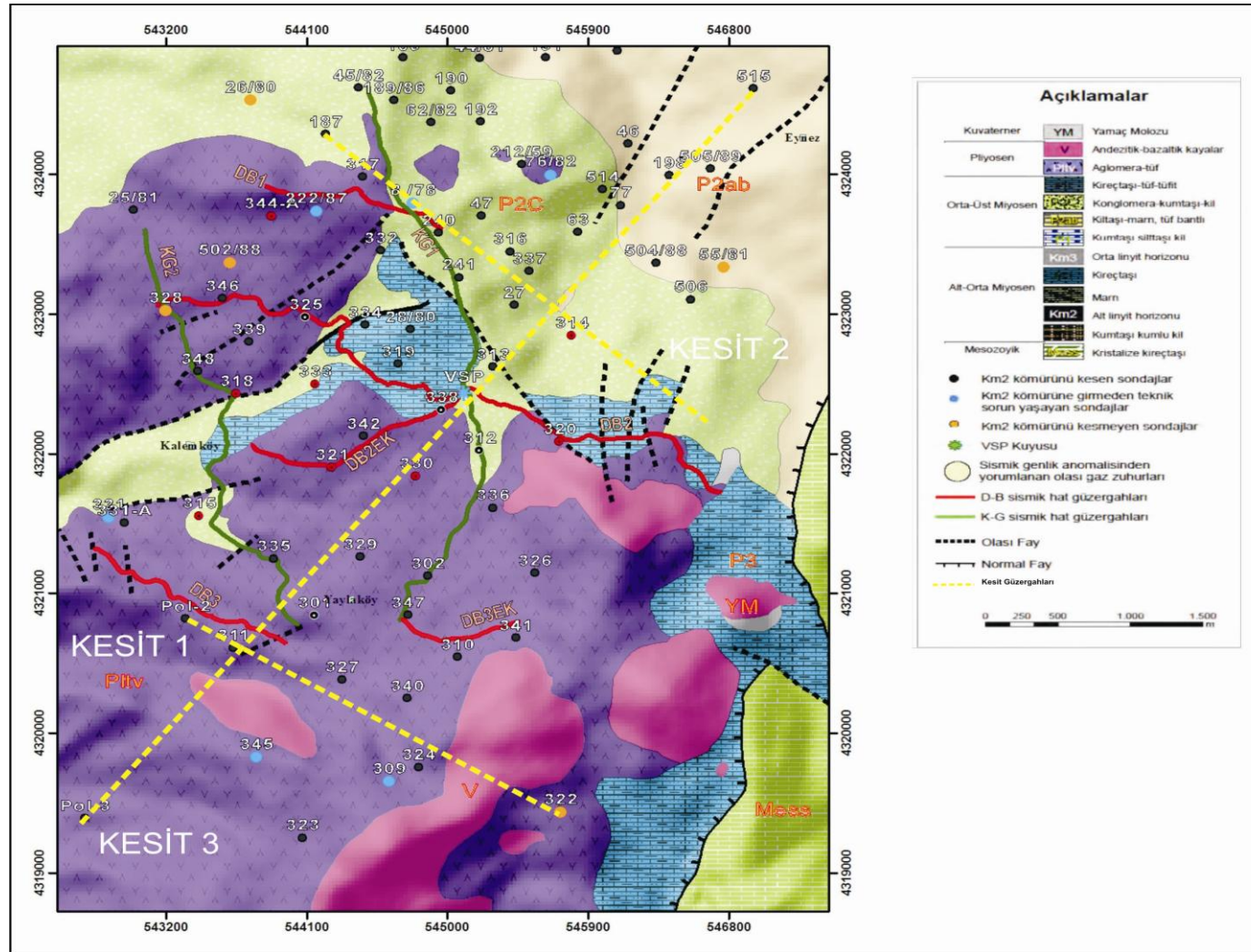
Tek boyutlu modelleme çalışması kapsamında hipotetik bir kuyu oluşturularak yeterli miktarda hidrokarbon (HC) oluşması için gerekli sıcaklık ve gömülme derinliği değerlerinin belirlenilmesine çalışılmıştır. Bunun için E-311 Nolu kuyuda tüm birimlerin kalınlıkları %15 artırılmıştır. Böylece gömülme derinliği yaklaşık 2200 m ye ulaşmıştır. Bunun sonucunda KM2 biriminde günümüzden 5.0 milyon yıl öncesi petrol ve 2.0 milyon yıl öncesi de çok az miktarda termojenik gaz oluşmaya başladığı saptanmıştır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36: Hipotetik kuyuda KM2 kömürü için hidrokarbon oluşturma potansiyelinin zamana bağlı olarak grafiği

4.3.7. İki Boyutlu Modelleme

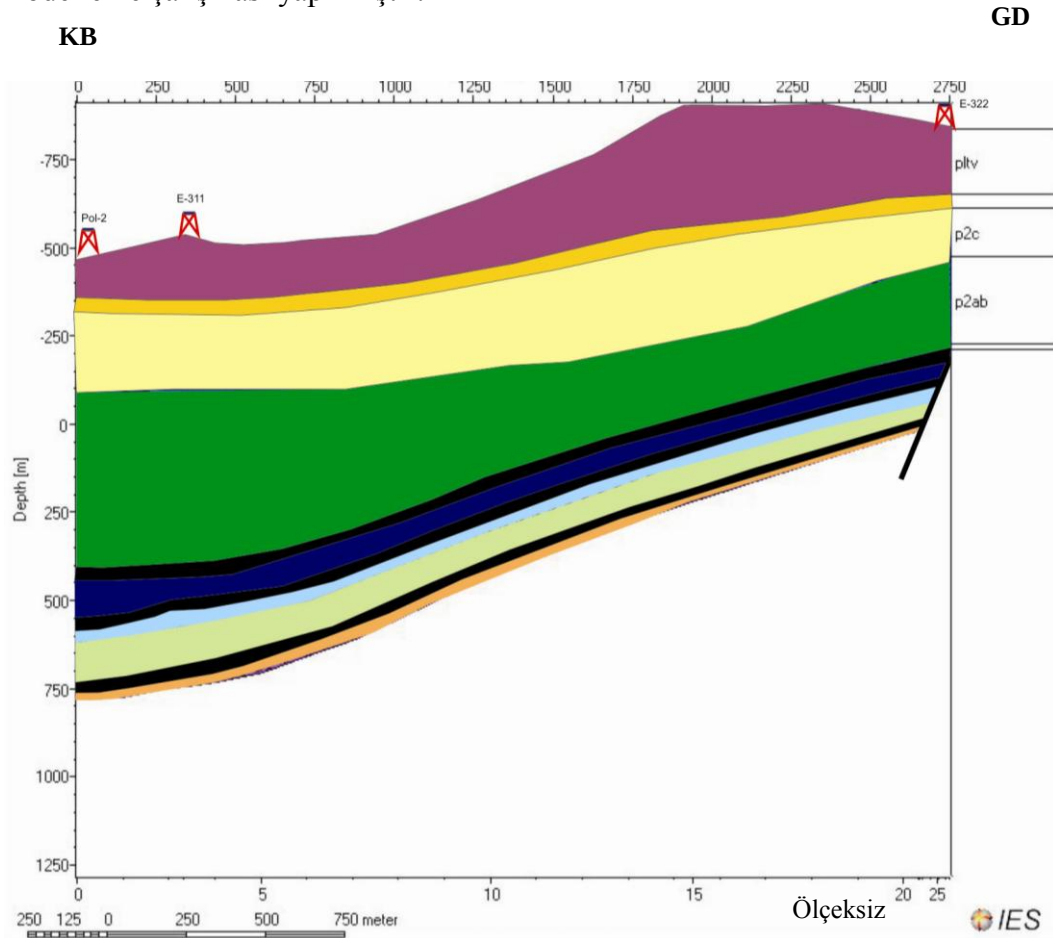
İki boyutlu (2-D) modelleme çalışması için havzada KD-GB yönlü bir ve KB-GD yönlü iki, toplam 3 adet jeolojik kesit hazırlanmıştır (Şekil 4.37). Tek boyutlu modellemede kömürleşme derecesi ve hidrokarbon oluşturma potansiyelinin volkanoklastik birimin (Pltv) kalınlığı ile kontrol edildiği saptandığından, kesit güzergahları belirlenirken Pltv biriminin kalınlığı gözetilmiştir. Havzanın güney kesiminde Pltv biriminin kalınlığının fazla olduğu KB-GD yönlü (Kesit 1), P2ab (marn) biriminin yüzeyde görüldüğü gömülmenin güneye göre daha az olduğu kesimden KB-GD yönlü (Kesit 2) ve havzanın genel değerlendirmesini yapmak için, havzayı boydan boya geçen KD-GB yönlü (Kesit 3) bir adet jeolojik kesit hazırlanmıştır (Şekil 4.37).



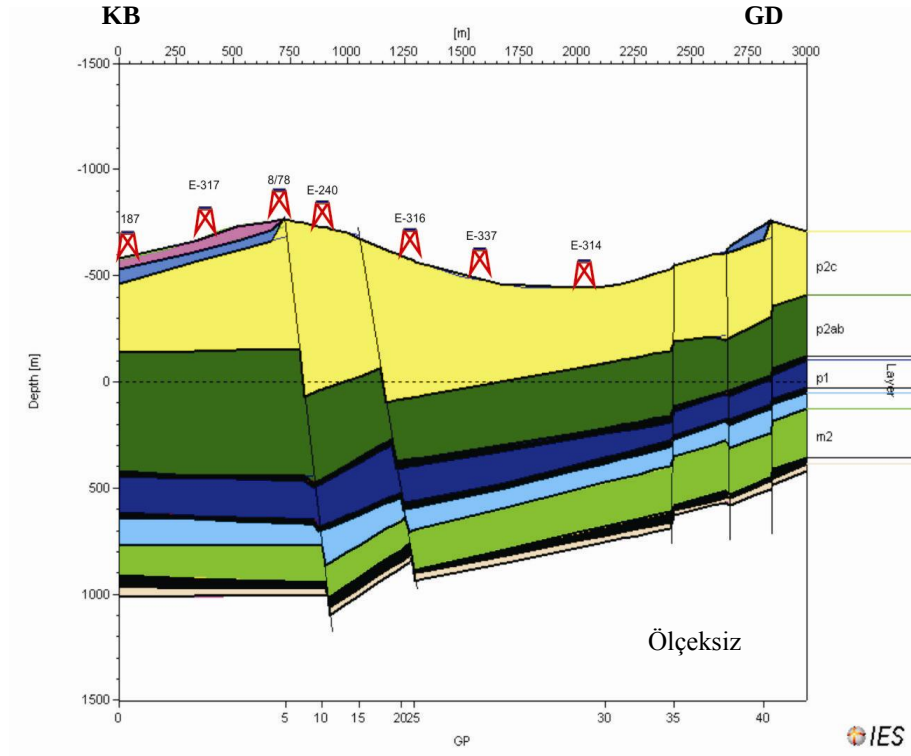
Şekil 4.37 : İki boyutlu modelleme yapılan kesit güzergahları (Soma Tersiyer Havzası'nda Entegre Sismik Yöntemlerle Kömür Yayılmının Tespiti ve Kömür Gazı Potansiyelinin Araştırılması ve Modellenmesi projesinin TÜBİTAK-MAM tarafından hazırlanan 4. Gelişme raporundan alınmıştır)

4.3.8. İntput (Girdiler)

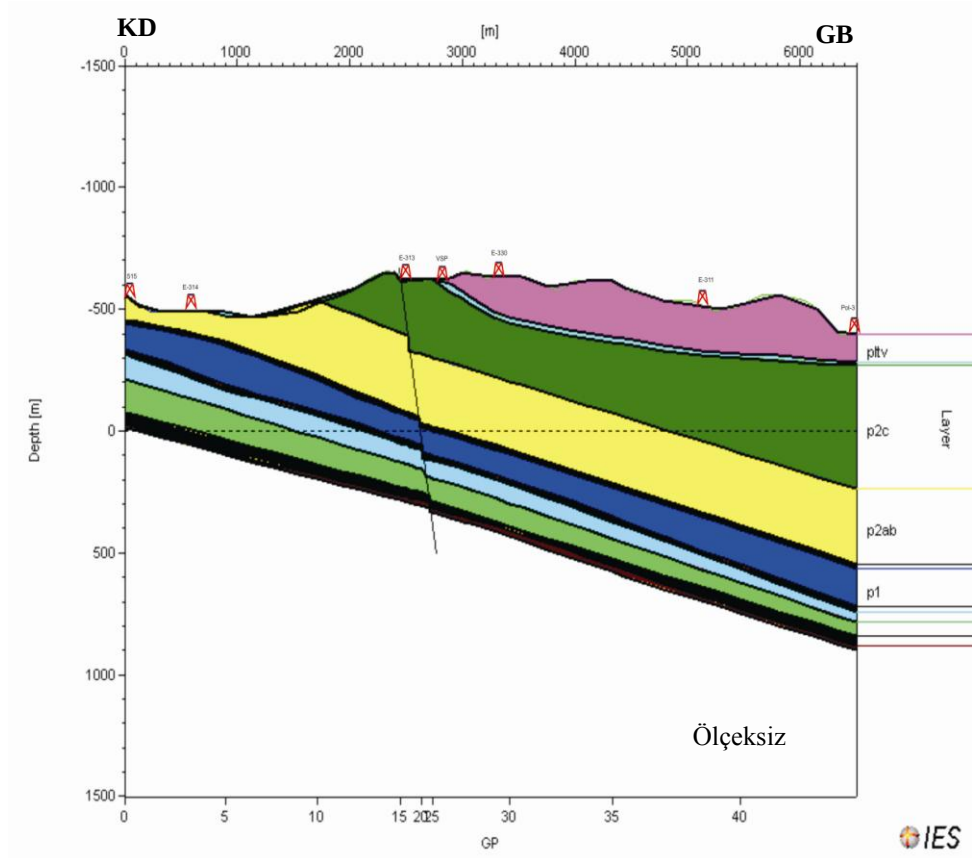
2 Boyutlu (2-D) modelleme çalışması için belirlenen güzergahlarda jeolojik enine kesitler hazırlanmıştır (Şekil 4.38,4.39,4.40). Enine kesitlerin hazırlanması sırasında sondaj ve sismik ölçümlerden elde edilen verilerden yararlanılmıştır. İki boyutlu modelleme çalışmalarında kömürleşme derecesi ve hidrokarbon oluşturma potansiyelinin belirlenebilmesi için, öncelikle gömülmenin yani volkanoklastik birimin (Pltv) kalınlığının en fazla olduğu havzanın güney kesiminden (Kesit 1) KB-GD yönlü bir adet jeolojik kesit hazırlanmıştır. Havzada yüzeyde P2ab (Marn) biriminin görüldüğü ve volkanoklastik biriminin kalınlığının az olduğu kesimden KB-GD (Kesit 2) yönlü bir adet jeolojik kesit alınarak bu kesimdeki kömürleşme derecesi ve hidrokarbon oluşturma potansiyeli belirlenilmeye çalışılmıştır. Havzanın geneliyle ilgili değerlendirme yapabilmek için de havzanın KD-GB (Kesit 3) yönünde 2 boyutlu modelleme çalışması yapılmıştır.



Şekil 4.38 : Havzanın Güneyinden KB-GD doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit (Kesit 1)



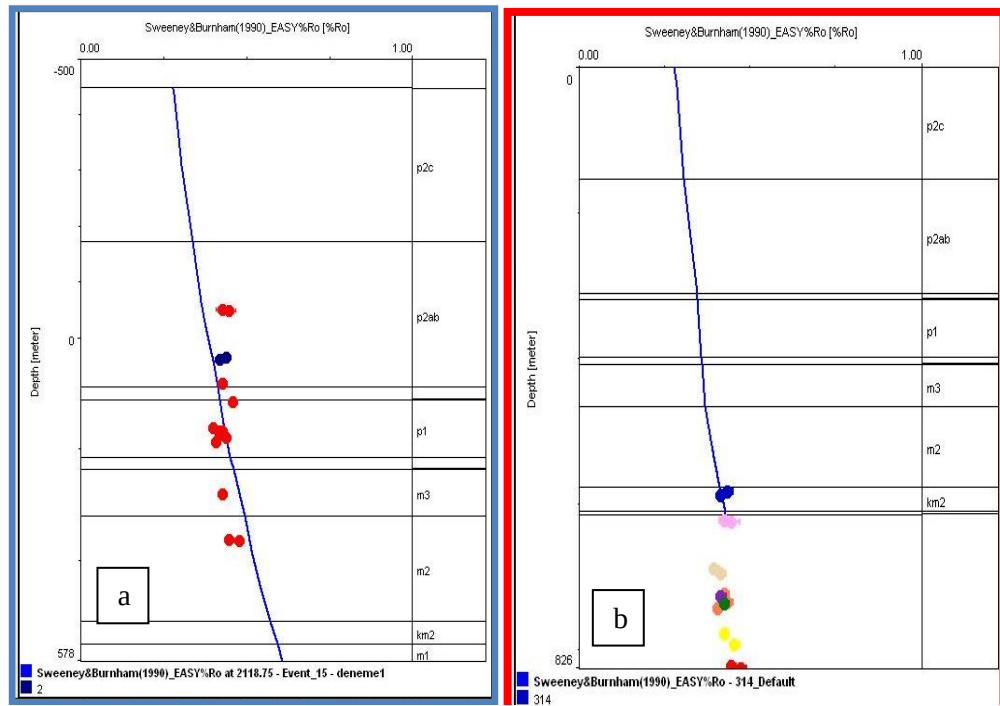
Şekil 4.39 : Havzanın Kuzeyinden KB-GD doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit (Kesit 2)



Şekil 4.40 : Havzanın KD-GB doğrultusu boyunca alınan jeolojik enine kesit (Kesit 3)

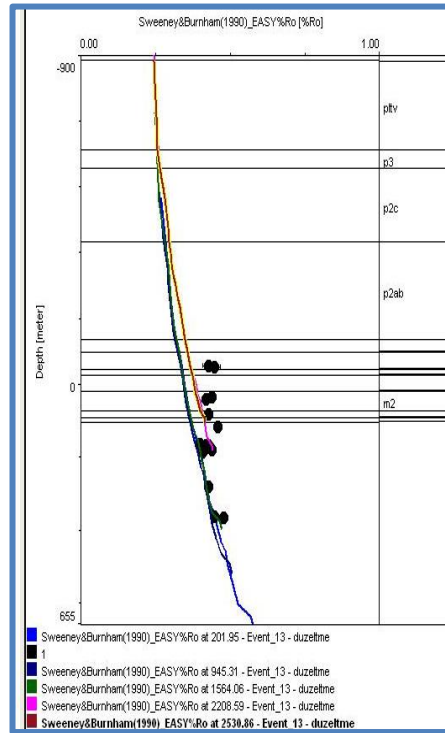
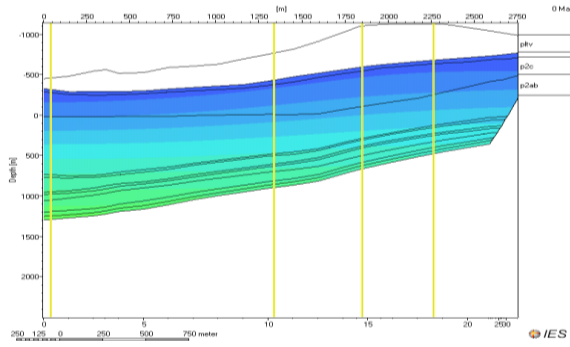
İki boyutlu modellemede (2-D), tek boyutlu modellemede kalibre edilen modelin paleo batimetri, sediman su arayüzü sıcaklığı ve ısı akısı değerleri kullanılmıştır. Tek boyutlu modelleme kısmında ayrıntılı şekilde anlatıldığından burada bunlara değinilmeyecektir.

2 Boyutlu (2-D) modellerin kalibrasyonu amacıyla, modelleme sonucu seçilen grid noktalarında hesaplanan istifin toplam kalınlığı, her bir çökeltme dönemine ait kalınlıklar, kömürleşme derecesini gösteren vitrinit yansıması değerleri kullanılmıştır. Özellikle kritik öneme sahip Pltv biriminin orjinal kalınlığını belirlemek için ölçülen vitrinit yansıması değerleri kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılabilmeleri için önce ölçülmüş değerlerin yükseltiye göre tekrar konumlandırılması gerekmiştir (Şekil 4.41). Bunun içine ölçülen değerlerin derinliklerinden deniz seviyesinden olan yüksekçkarılmıştır. Çünkü iki boyutlu modellenen kesitler, programa deniz seviyesinden (0.0 m) refereans alınarak yükseltilerine göre yerleştirilmiştir (Şekil 4.41).

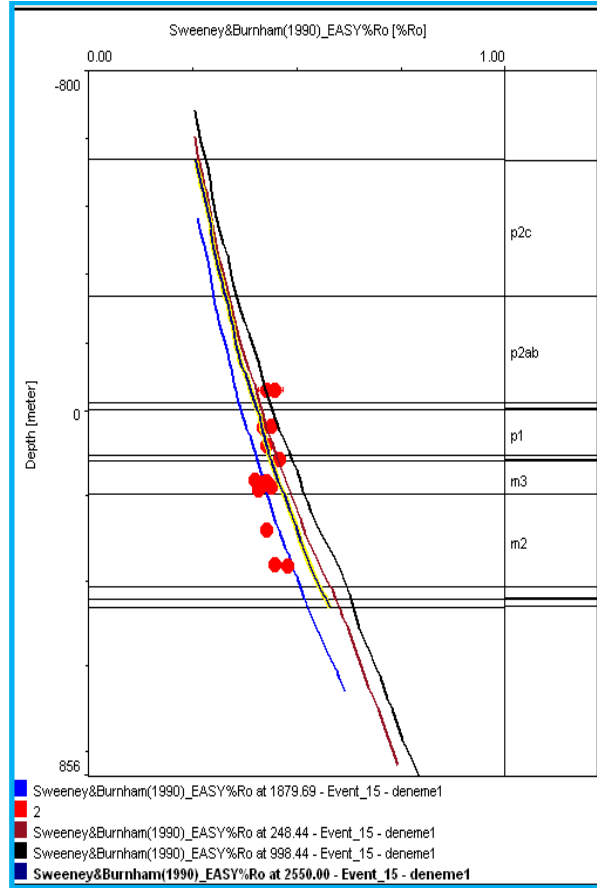
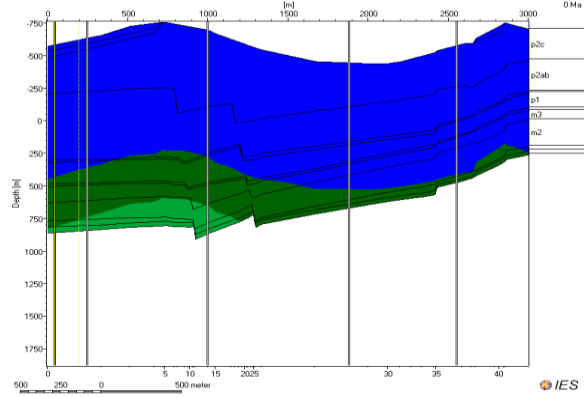


Şekil 4.41: Vitrinit yansıması değerlerinin derinlik ve yükseltilerine göre konumlandırılması
(a= yükselti, b= derinlik)

İki boyutlu modelin kalibrasyonu için modellenen kesitlerin farklı grid noktalarındaki olgunluğun derinlikle değişimi izlenmiş olup, modeller bu veriler ışığında optimize edilmiştir. Modelleme çalışmaları sonucunda derinlik ile vitrinit yansıması değerleri arasında bir ilişki daha saptanmıştır. Gömülme derinliği fazla olan grid noktalarında hesaplanan % Ro eğrisinin daha derindeki vitrinit yansıması değerlerini tutturduğu, gömülme derinliği sığ olan noktaların ise sığ değerler ile uyumlu olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4.42,4.43,4.44). Ancak Şekil 4.43’de bu durumun tam tersi bir görüntü ile karşılaşılmaktadır. Bu durum eşit sınır koşullarına rağmen havzadaki istifin kalınlığının etkisiyle derin kesimlerde daha düşük bir jeotermik gradyanın oluşmasıyla açıklanabilir.

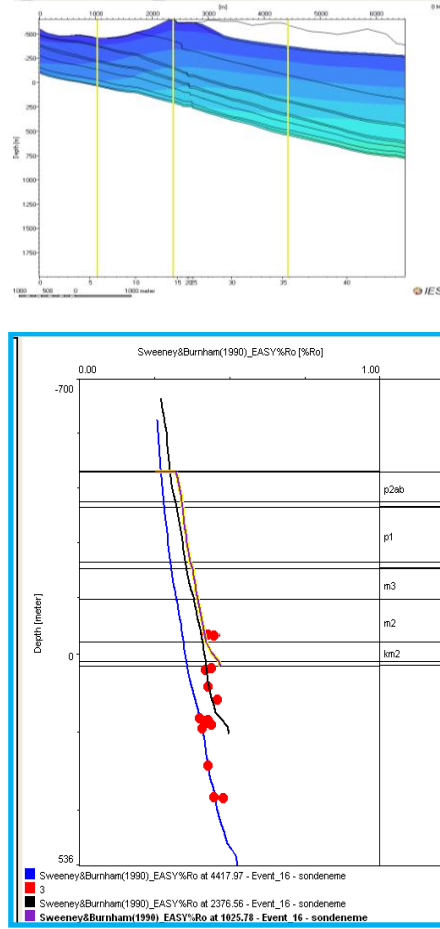


Şekil 4.42: Kesit 1 boyunca seçilmiş dört nokta için hesaplanan olgunluk değerleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

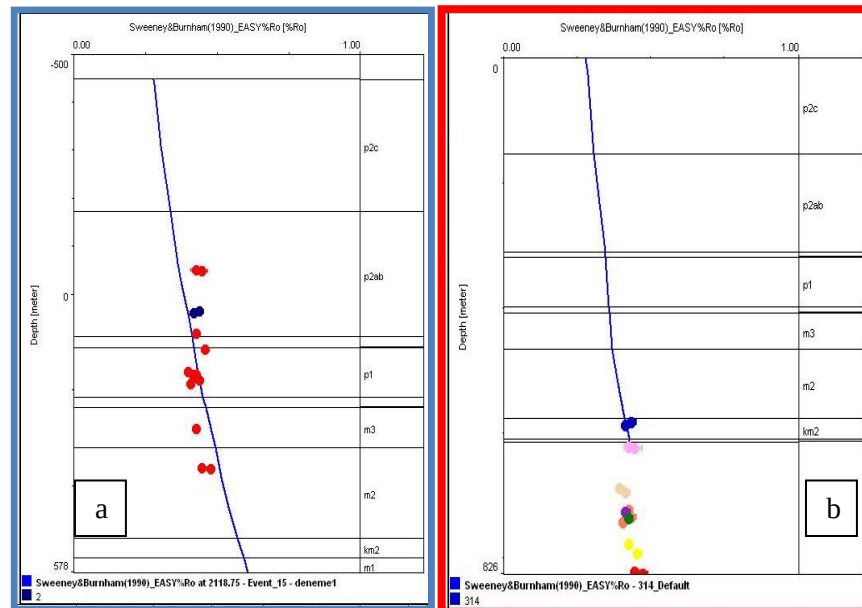


Şekil 4.43: Kesit 2 boyunca seçilmiş dört nokta için hesaplanan olgunluk değerleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Kuyulardaki tek boyutlu modellemenin sonuçları ile iki boyutlu modellemenin sonuçları bu kuyulara karşı gelen noktalar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.45). Karşılaştırılmanın yapıldığı nokatalardaki tek ve iki boyutlu modelleme sonuçlarının genelde uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.44: Kesit 3 boyunca seçilmiş dört nokta için hesaplanan olgunluk değerleri ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.45: Tek ve İki boyutlu model sonuçlarının karşılaştırılması (a:iki boyutlu b: tek boyutlu model)

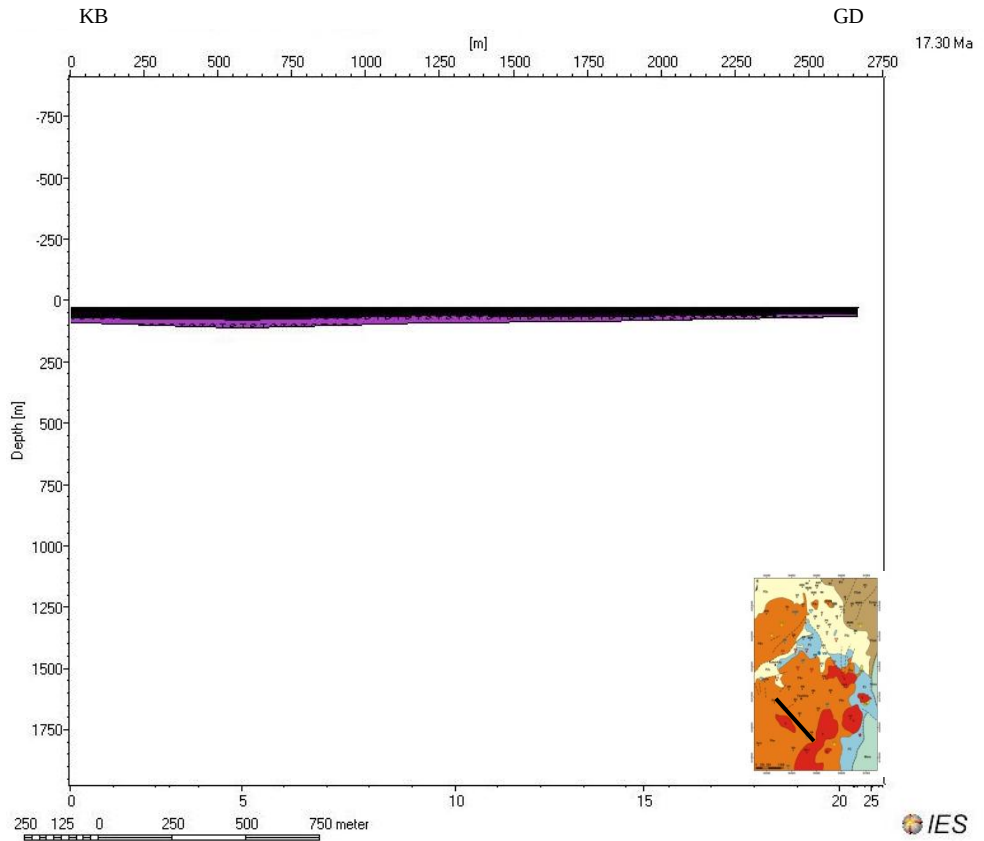
4.3.9. Modelleme Sonuçları

Değişik jeolojik süreçlerin numerik simülasyonuna dayalı modelleme çalışmalarıyla, çökel havzalarındaki ısı transferi ve herhangi bir birimin sıcaklık evrimi saptanabilmektedir (Yalçın ve Welte,1988). Sıcaklık değerleri ve kömürden gaz oluşumunun kinetiğini denetleyen parametreler kullanılarak da, gazın oluşum zamanı ve oluşan gazın miktarı hesaplanabilmektedir (Yalçın,1994).

4.3.9.1. Gömülme Tarihçesi

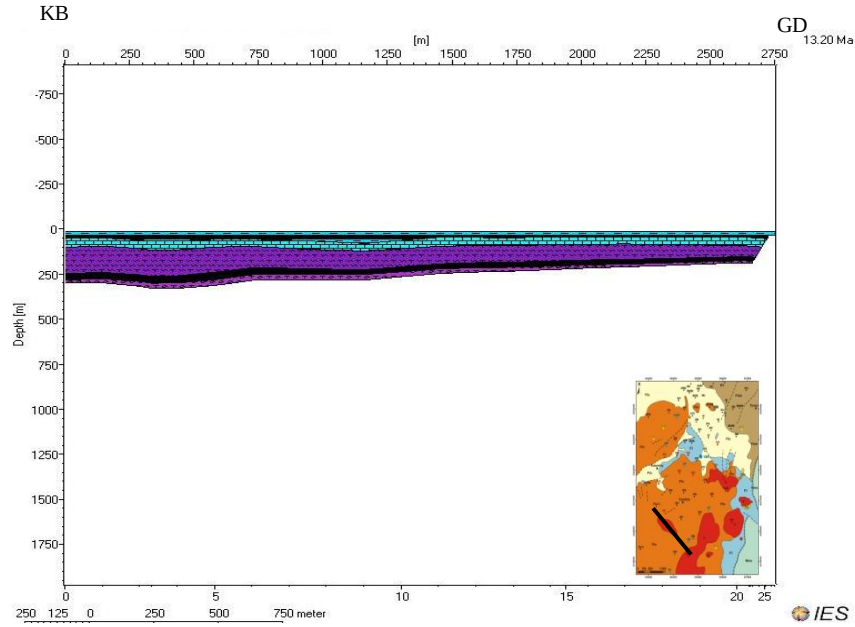
Kesit 1,

Havzada çökelmenin başladığı 18.50- 17.30 milyon yıl öncesi yavaş bir çökelim olmaktadır. Havzanın güneyinde GD yönünde çökelme kenar fayları ile kontrol edilmektedir (Şekil 4.46). Bunun dışında uniform bir çökelme ve gömülme söz konusudur.

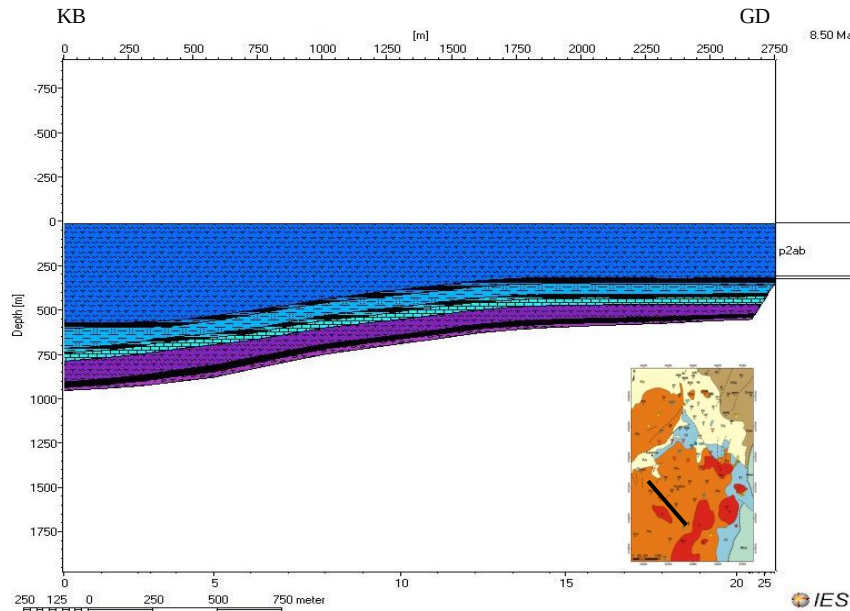


Şekil 4.46: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları

Günümüzden 13.20 milyon yıl öncesi Orta Kömür seviyesi (KM3) çökelmiş ve bu çökelden sonra havzada kısa süreli bir aşınma dönemi görülmüştür. Kesit 1'de 13.20 milyon yıl öncesi ilk çökelme biriminin tabanı için gömülme derinliği yaklaşık 250 m'dir (Şekil 4.47).

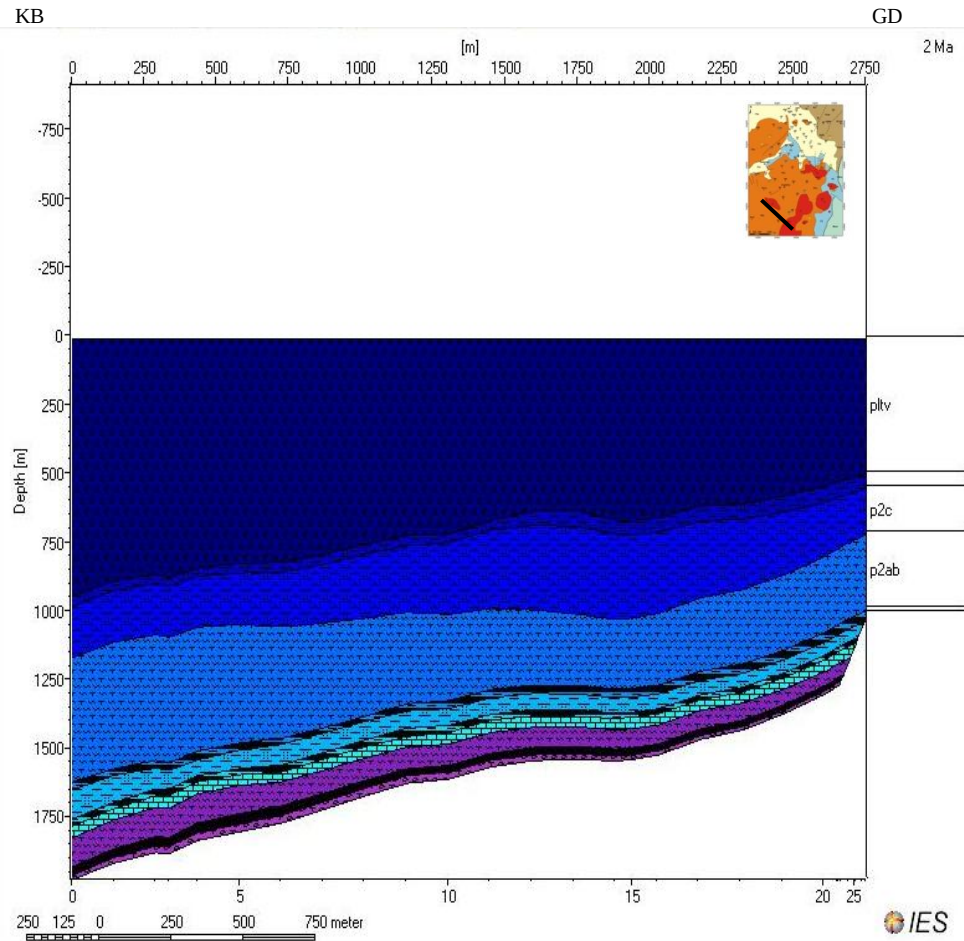


Şekil 4.47: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları

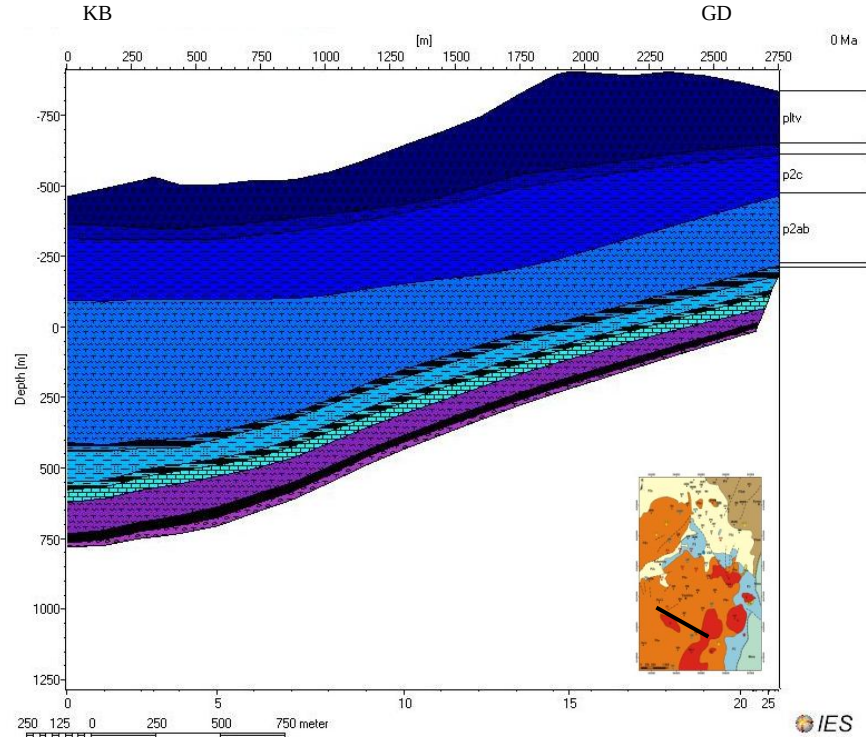


Şekil 4.48: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları

Havzada 8.50 milyon yıl öncesi P₂ab biriminin çökmesinin ardından gömülme derinliği hızlı bir şekilde artmıştır. Bu dönemde Kesit 1’de maksimum gömülme derinliği 900 m civarındadır (Şekil 4.48). Bu sonuçlara baktığımızda Kesit 1 de yani havzanın güneyinde 13.20-8.50 milyon yıl öncesi daha hızlı bir çökmenin olduğu görülmektedir. 2 milyon yıl öncesinde P₂c ve Pltv birimlerinde çökmesiyle kesit boyunca maksimum gömülme derinliğine ulaşılmıştır (Şekil 4.49). KM2’nin tabanı için KB’de 2000 m’ye ulaşan gömülme GD’de 1500 m’ye kadar azalmaktadır. Bundan sonra havzada başlayan aşınma sonucu hızlı bir yükselim meydana gelmiştir ve çökel istifi bugünkü konumuna gelmiştir (Şekil 4.50).



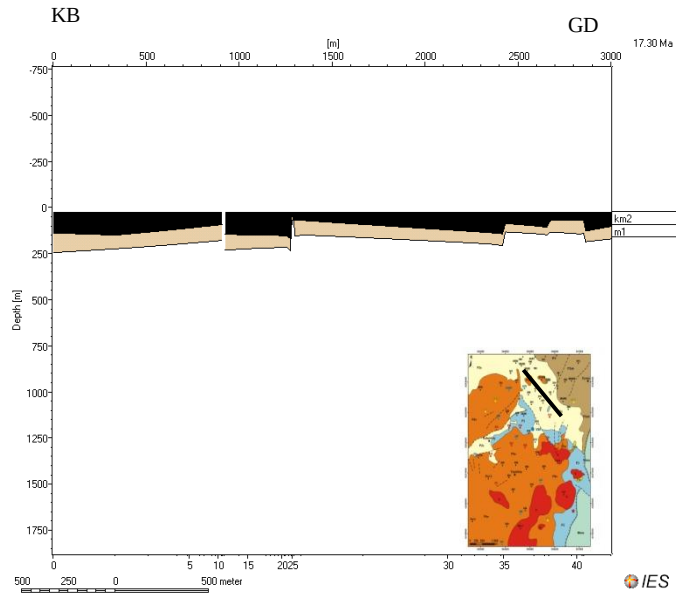
Şekil 4.49: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları



Şekil 4.50: Kesit 1 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) günümüz konumları

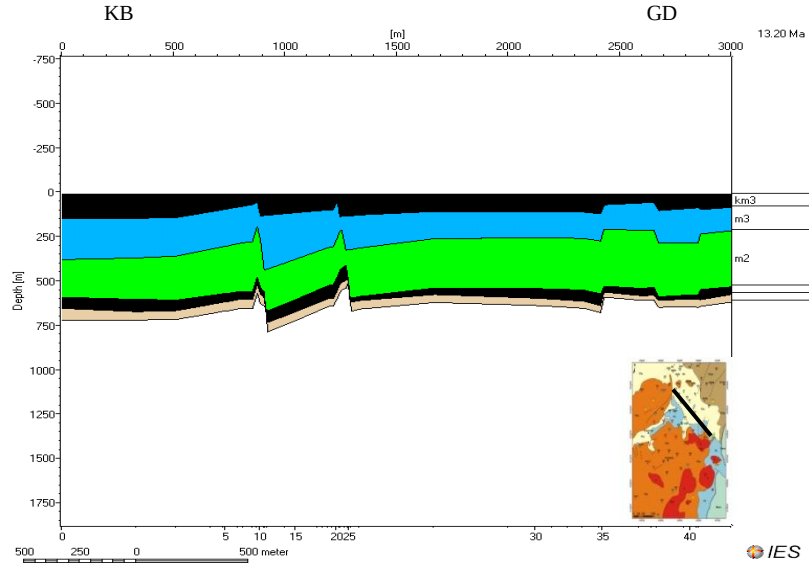
Kesit 2,

Havzada çökeltmenin başladığı 18.50- 17.30 milyon yıl öncesi M1 ve KM2 biriminin çökeldiği bu dönemde, gömülme kesit boyunca az çok eşit olup yaklaşık 250 m'dir (Şekil 4.51).



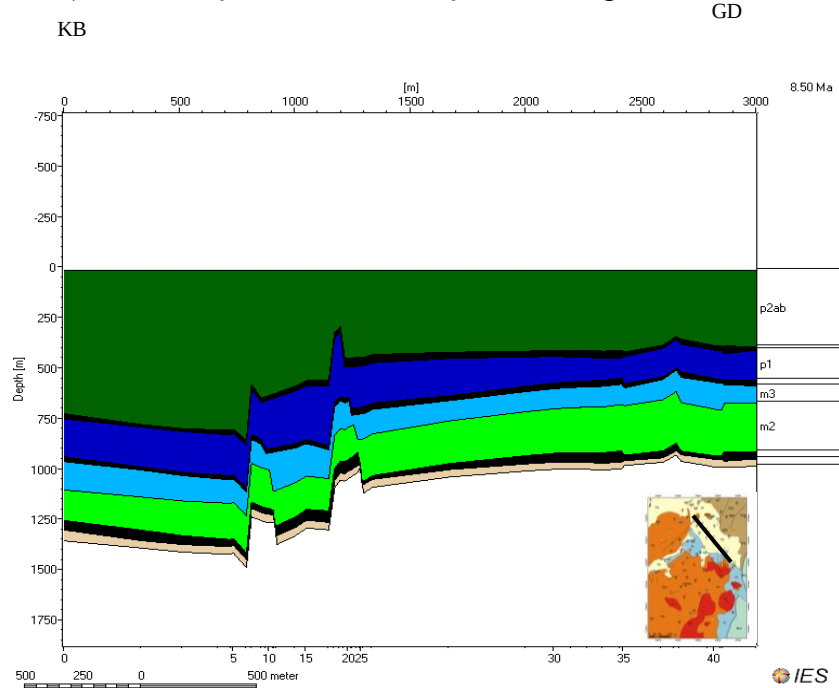
Şekil 4.51: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları

Günümüzden 13.20 milyon yıl öncesi Kesit 2’de M1-KM2-M2-M3 ve KM3 birimlerinin çökelmeysine bağlı olarak tabanının gömülmesi yaklaşık 750 m ‘ye ulaşmıştır (Şekil 4.52).



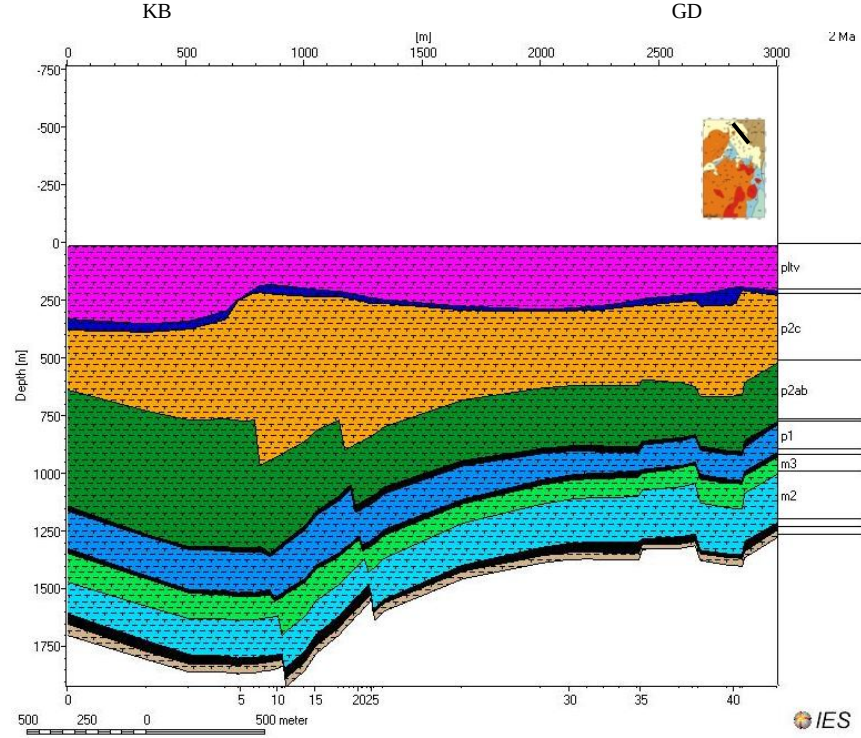
Şekil 4.52: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları

Havzada 8.50 milyon yıl öncesi P_{2ab} biriminin çökelmeye başlamasıyla gömülme derinliği hızlı bir şekilde artmıştır. Bu dönemde Kesit 2’de gömülme yaklaşık 1300 m’dir (Şekil 4.53). Bunun dışında uniform bir çökeltme ve gömülme söz konusudur.

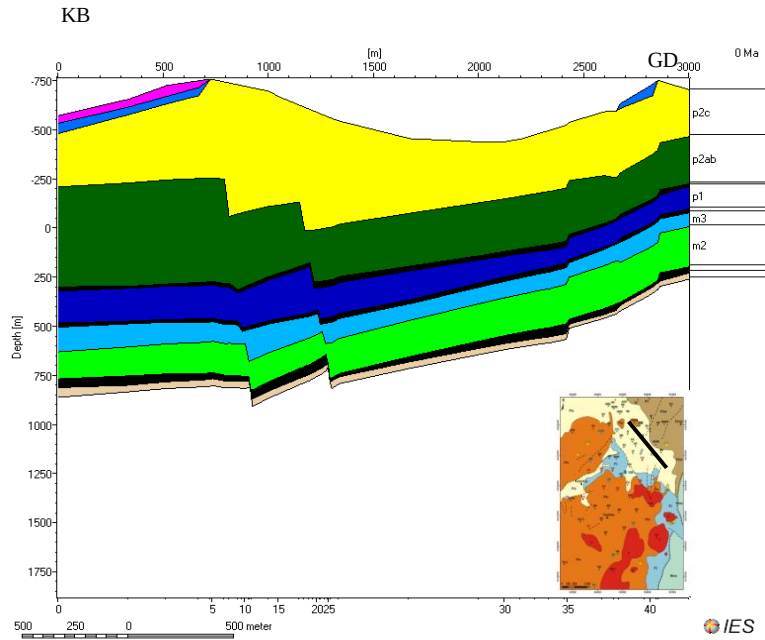


Şekil 4.53: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları

Havzada 8.50-2.0 milyon yıl öncesine kadar, P2c-P3 ve Pltv birimleri çökelmiştir (Şekil 4.54).. 2.0 milyon yıldan günümüze kadar havzada aşınma etkili olmuştur. Aşınma nedeniyle Kesit 2’de Pltv-P3 ve P2c birimleri kısmen aşındırılmışlardır (Şekil 4.55).



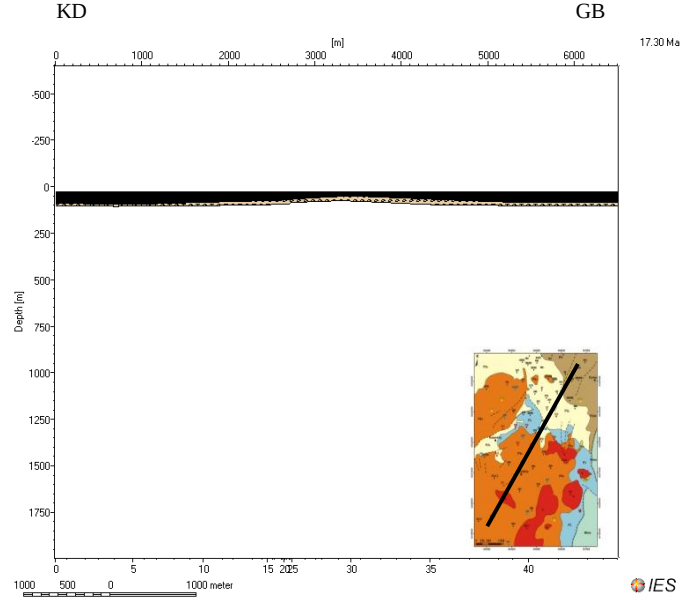
Şekil 4.54: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları



Şekil 4.55: Kesit 2 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) günümüzdeki konumları

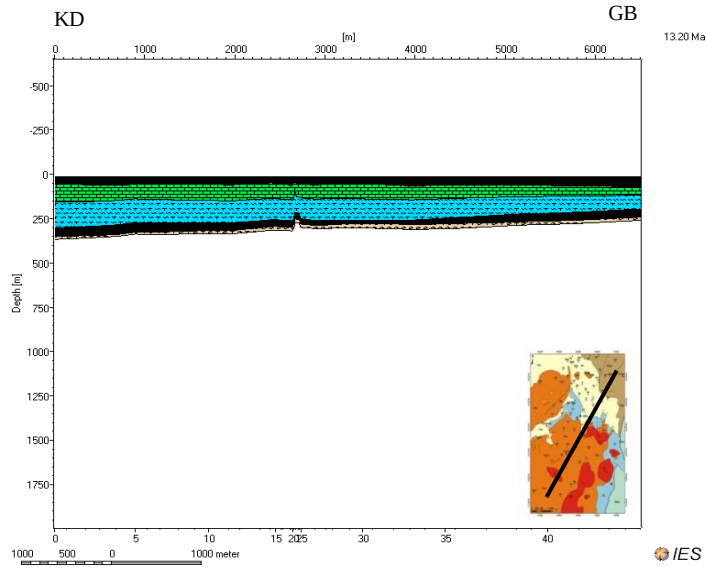
Kesit 3,

Havzada çökelpmenin başladığı 18.50- 17.30 milyon yıl öncesi M1 ve KM2 biriminin çöktüğü bu dönemde, gömölme yaklaşık 100 m'dir (Şekil 4.56). Kesit boyunca uniform bir çökelpme ve gömölme söz konusudur.



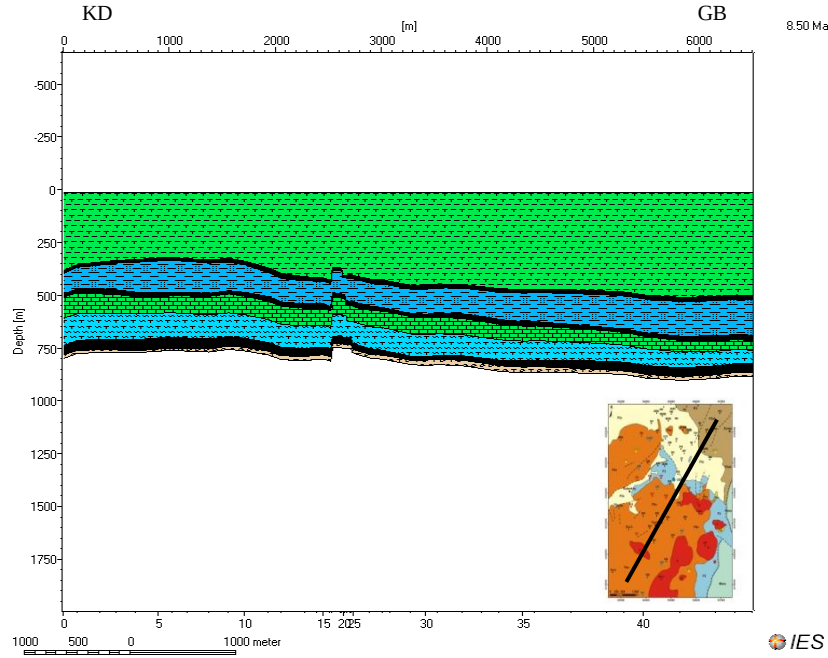
Şekil 4.56: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2) 17.30 milyon yıl öncesi konumları

Günümüzden 13.20 milyon yıl öncesi Kesit 3'te gömölme derinliği kesit boyunca çok az farklılık göstermekle beraber yaklaşık 350 m'dir (Şekil 4.57).



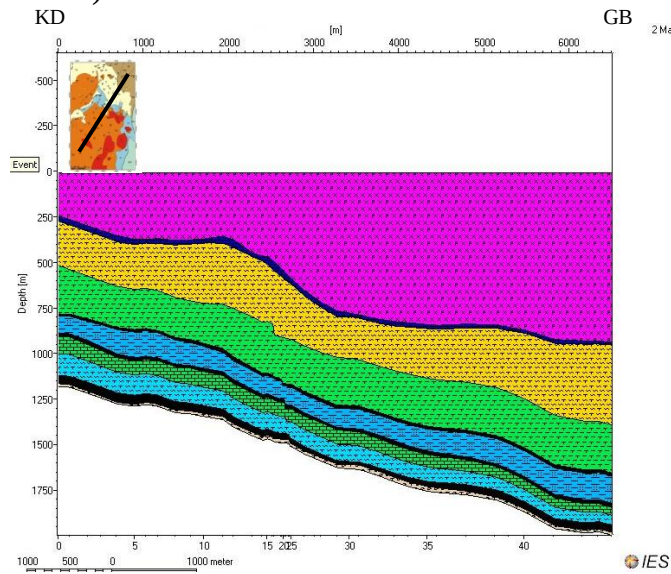
Şekil 4.57: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3) 13.20 milyon yıl öncesi konumları

Havzada 8.50 milyon yıl öncesi gömülme derinliği KD ve GB yönlerde farklılık göstermekte olup KD yönünde yaklaşık 750m olup, GB yönünde 1000 m'dir (Şekil 4.58).

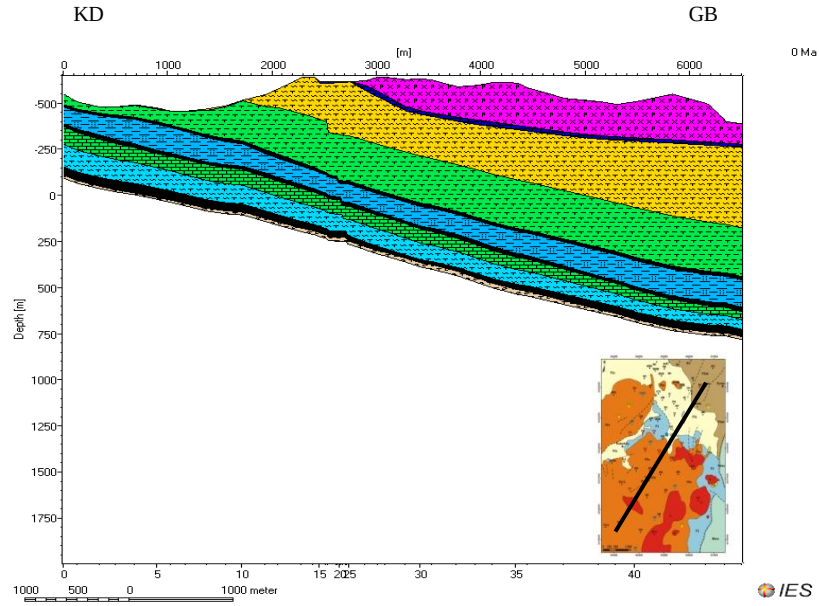


Şekil 4.58: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab) 8.50 milyon yıl öncesi konumları

Havzada 8.50-2.0 milyon yıl öncesine kadar, P2c-P3 ve Pltv birimleri çökelmiştir (Şekil 4.59). 2.0 milyon yıldan günümüze kadar havzada aşınma dönemi hakim olmuştur. Aşınma nedeniyle Kesit 3'te KD yönünde Pltv-P3-P2c ve P2ab birimleri kısmen aşınmışlardır (Şekil 4.60).



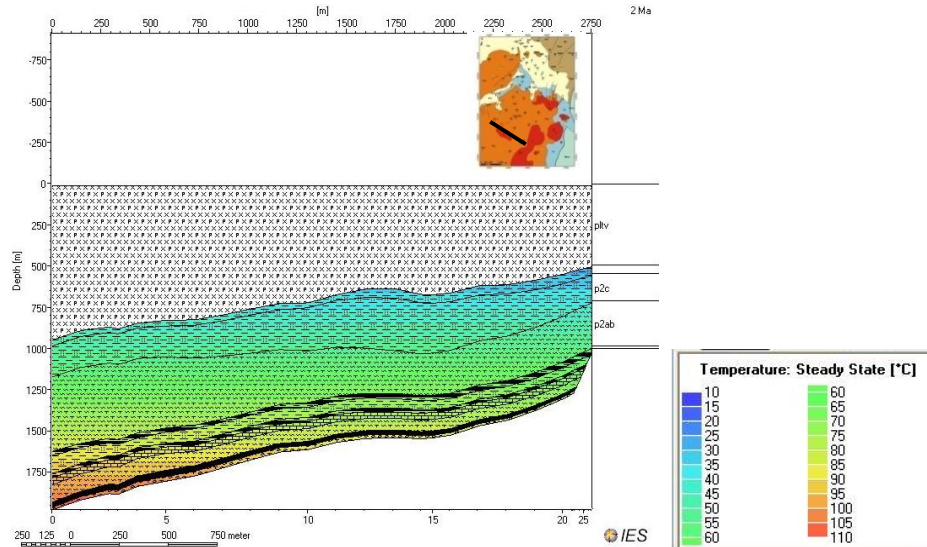
Şekil 4.59: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) 2.0 milyon yıl öncesi konumları



Şekil 4.60: Kesit 3 boyunca birimlerin (M1-KM2-M2-M3-KM3-P1-KP1-P2ab-P2c-P3-Pltv) günümüz konumları

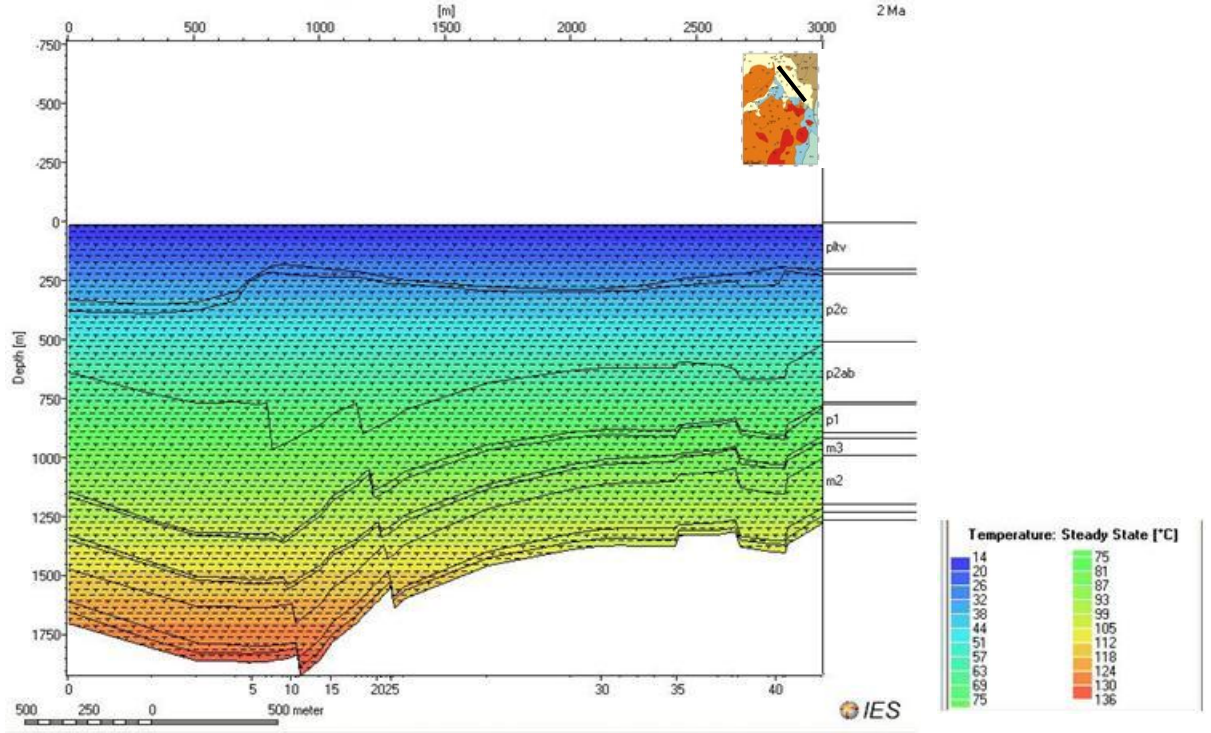
4.3.9.2. Sıcaklık Tarihçesi

Kesitler boyunca modelleme sonucu saptanan sıcaklık değerleri, maksimum gömülmenin gerçekleştiği 2.0 milyon yıl öncesi ve günümüz için hazırlanan kesitler yardımıyla sunulacaktır. İki boyutlu modelleme sonucunda KM2 (Alt kömür Seviyesinin) biriminin 2.0 milyon yıl öncesi maksimum gömülmedeki sıcaklık değerleri Kesit 1’de KB’da 100-105 ve GD’da 70-80°C , Kesit 2’de KB’da 120-130 ve GD’da 80-90°C ve Kesit 3’te ise GB’da 95-100 ve KD’da 60-70 °C’dir (Şekil 3.61,3.62,3.63).

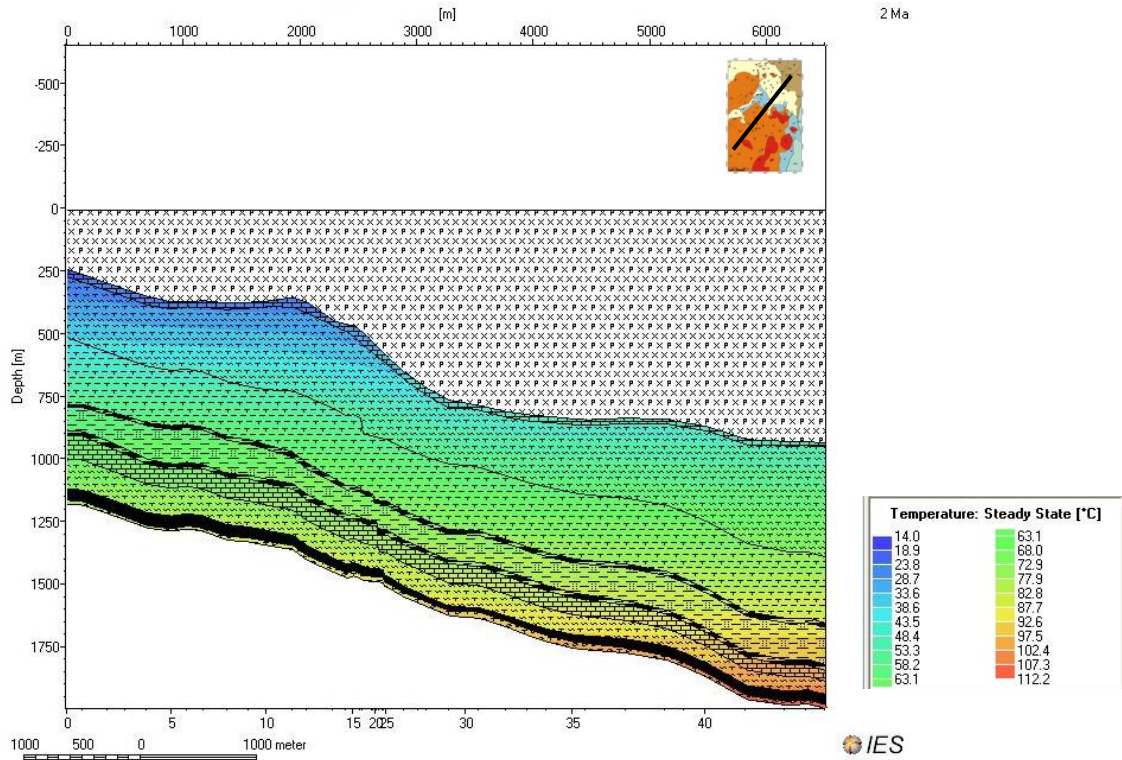


Şekil 4.61: Kesit 1 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö)

Havzada 2.0 milyon yıl öncesinden günümüze kadar süren aşınma sıcaklık değerlerinde azalmalara neden olmuş ve sıcaklıklardaki bu düşüş hidrokarbon oluşumunu da etkilemiştir.

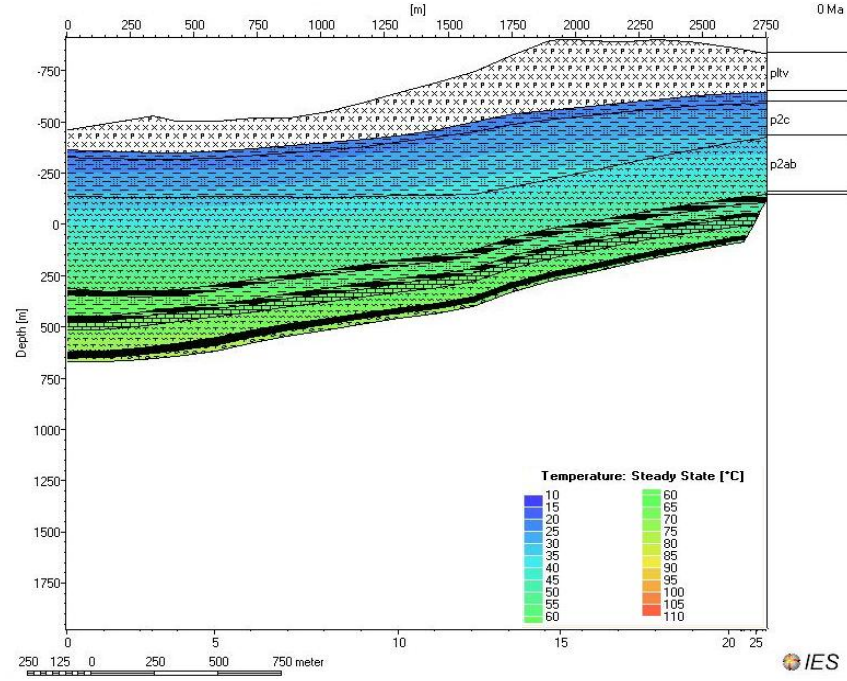


Şekil 4.62: Kesit 2 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö)

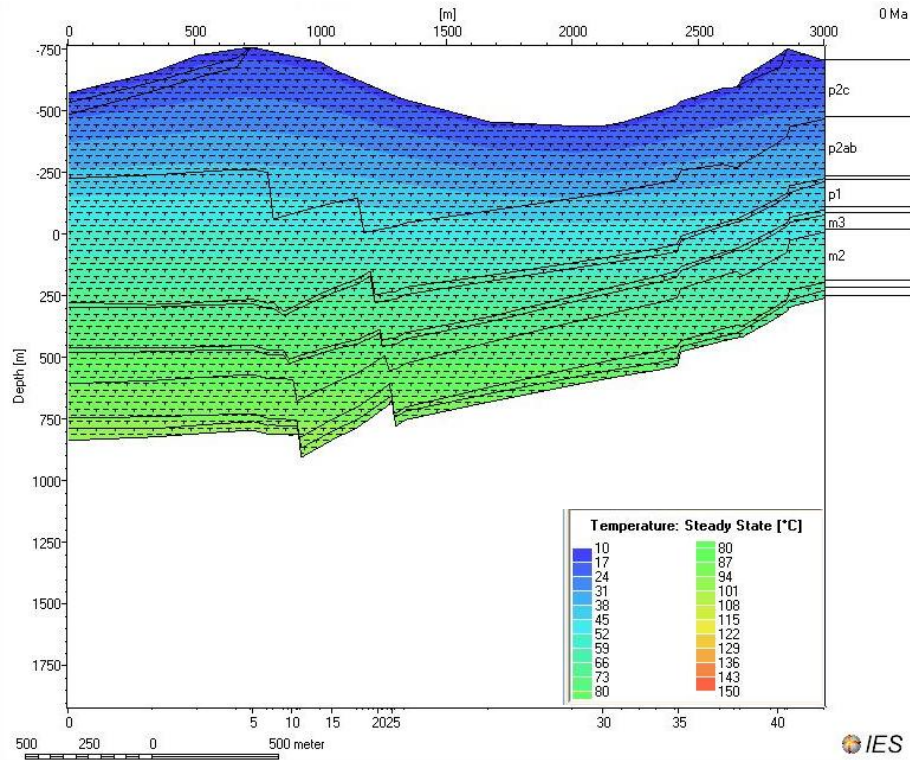


Şekil 4.63: Kesit 3 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (2.0 myö)

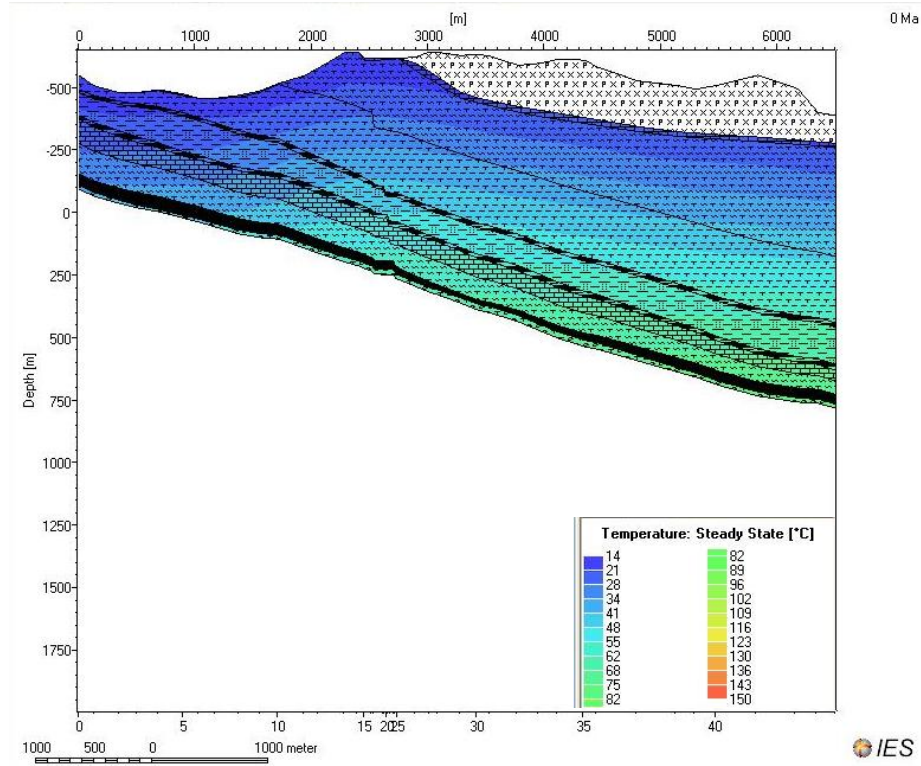
Modelleme sonucunda Alt Kömür Seviyesinin (KM2) sıcaklık değerlerinin günümüzde Kesit 1’de 70-80 °C, Kesit 2’de 90-100 °C ve Kesit 3’te ise 70-75 °C olduğu saptanmıştır (Şekil 4.64,4.65,4.66).



Şekil 4.64: Kesit 1 boyunca sıcaklık değerlerinin dağılımı (günümüzde)



Şekil 4.65: Kesit 2 sıcaklık değerlerinin dağılımı (günümüzde)



Şekil 4.66: Kesit 3 değerlerinin dağılımı (günümüzde)

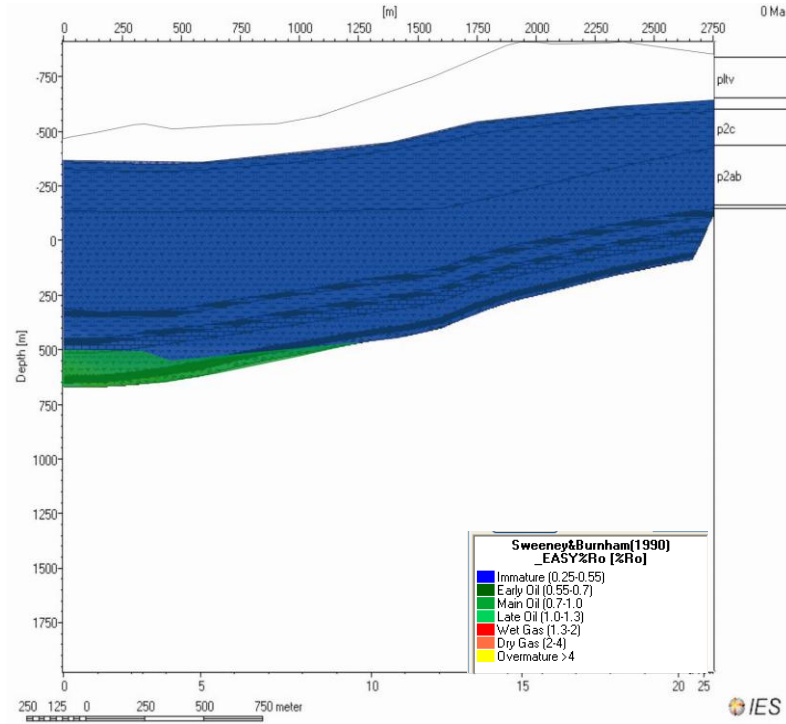
4.3.9.3. Kömürleşme Derecesi (Olgunluk)

Modelleme çalışmasında KM2 kömürü için Kesit 1’de % 0.45- 0.50 Ro , Kesit 2 ‘de KB yönünde % 0.65-0.70 Ro ve GD yönünde ise % 0.50-0.55 Ro, Kesit 3’te GB yönünde ise % 0.40-0.45 Ro arasında değişmektedir. İki boyutlu modelleme sonucunda Kesit 1 ve Kesit 3’te KM2 biriminin erken kömürleşme derecesine, Kesit 2’de ise erken-orta kömürleşme derecesine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.67,4.68,4.69).

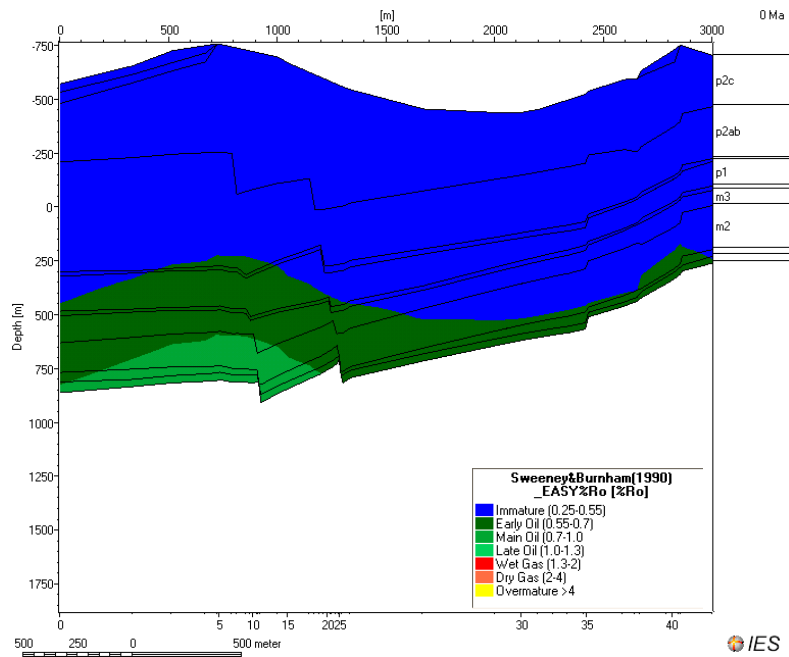
Kesit 2’de ulaşılan erken-orta kömürleşme derecesinin % Ro olarak ifade edilmesi durumunda, olgunluk değerlerinin bu düzeyin henüz başlangıç aşamasına denk geldikleri görülür. Bu nedenle daha sonra da açıklanacağı gibi önemli miktarlardaki bir petrol oluşum aşamasına henüz ulaşamamıştır.

Kömürleşme derecesi gözetilerek yapılan değerlendirmelerde, kömürden doğal gaz oluşumunun % 0.8 Ro’luk vitrinit yansımasına karşılık gelen bir kömürleşme derecesinde başladığı ve gaz oluşumunun % 2.0 Ro’luk vitrinit yansıması değerine karşılık gelen kömürleşme derecesine kadar sürdüğü görülür (Welte ve Yalçın, 1988).

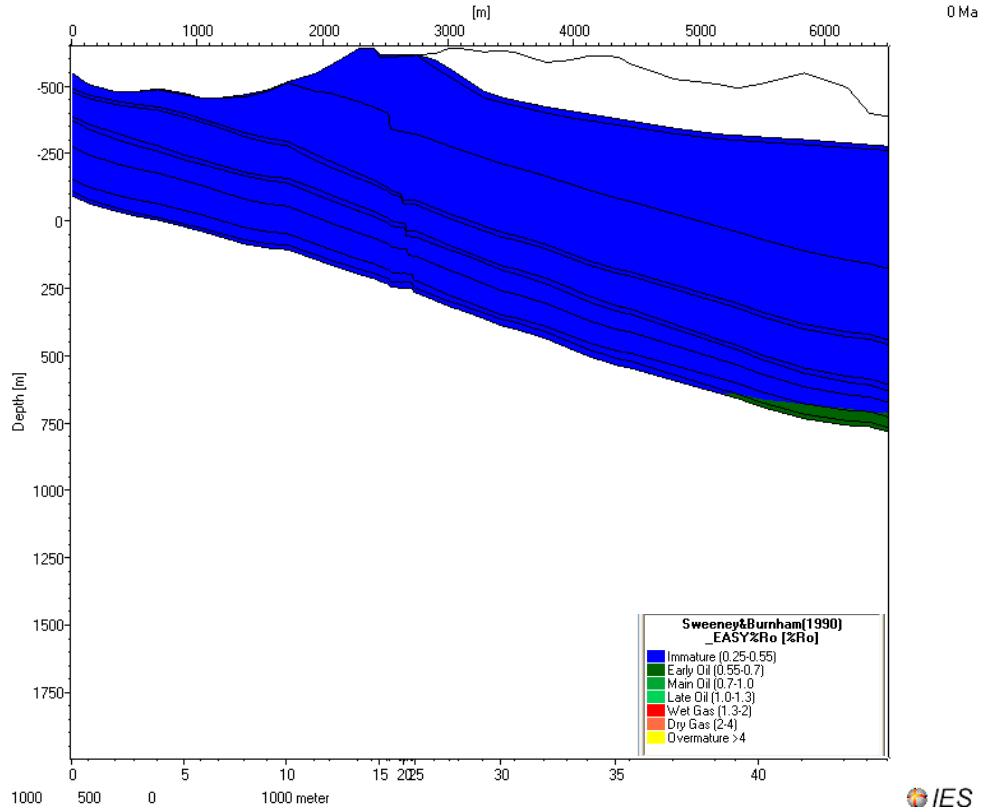
Bu nedenle de kesitler boyunca kömürlerin termojenik gaz oluşumu için gerekli kömürleşme derecesi (olgunluk) değerlerine henüz ulaşmadıkları anlaşılmaktadır.



Şekil 4.67: Kesit 1 ait kömürleşme derecesi



Şekil 4.68: Kesit 2 ait kömürleşme derecesi

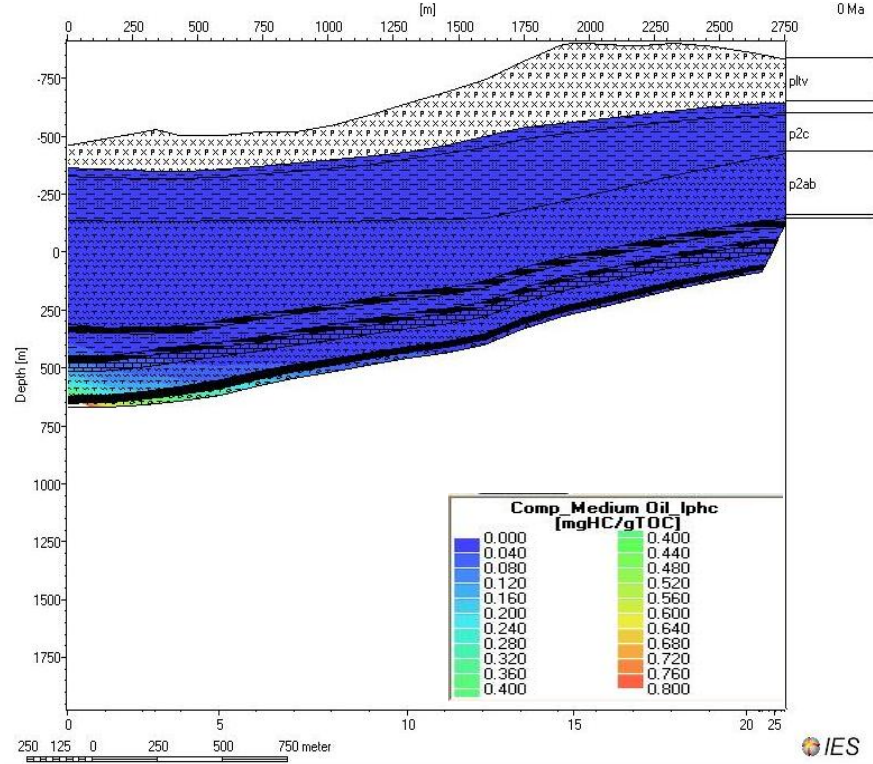


Şekil 4.69: Kesit 3 ait kömürleşme derecesi

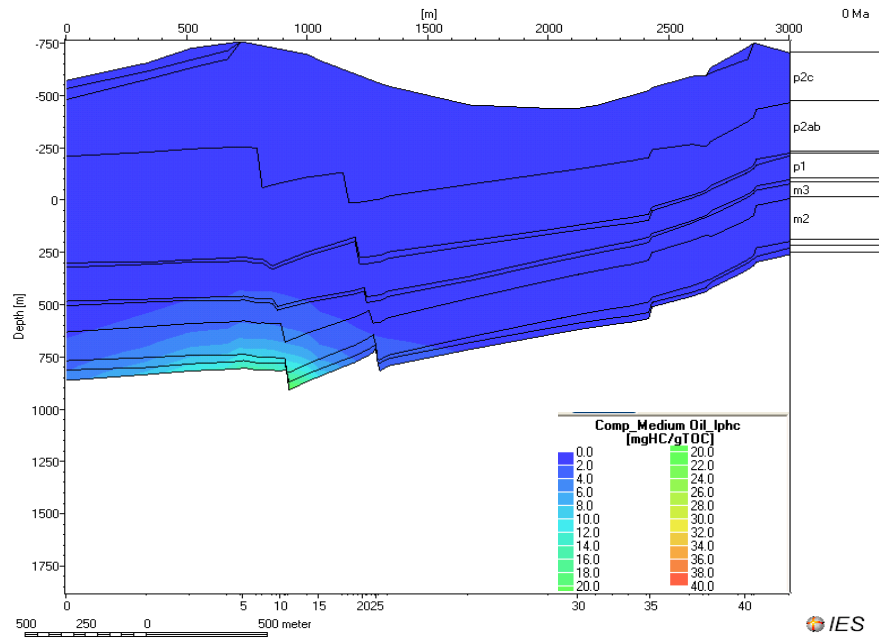
4.3.9.4. Hidrokarbon oluşumu

Hidrokarbonların (petrol ve doğal gaz) oluşumu tamamlandıktan ana kaya içerisinde dışarı atılabilmesi gerekmektedir. Petrol ve gazın ana kayadan atılması çoğunlukla, hidrokarbon oluşumunun bir sonucu olarak ana kayada oluşan basınç etkisiyle gerçekleşir. Bu nedenle yeterli hidrokarbon oluşumunun gerçekleşmediği ana kayalarda petrolün atılması işlemi gerçekleşmemektedir.

İki boyutlu modelleme sonucunda Kesit 1, Kesit 2 ve Kesit 3’de Alt Kömür Seviyesinde mevcut sıcaklık ve gömülmede çok çok düşük miktarda hidrokarbon oluşumu gözlenmiş olup bunun herhangi bir ekonomik değeri yoktur (Şekil 4.70,4.71).



Şekil 4.70: Kesit 1 hidrokarbon oluşumu



Şekil 4.71: Kesit 2 hidrokarbon oluşumu

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Soma Kömür Havzasındaki Alt Kömür Seviyesinin (KM2) hidrokarbon oluşturma ve kömürleşme sürecinin modellenmesi ve gelişiminin ortaya konması hedeflenmiştir. Bu kapsamda 9 adet kuyuda tek boyutlu, havzada seçilen 3 adet kesit boyunca da iki boyutlu modelleme çalışması yapılmıştır.

Modellemenin başlangıç zamanı olarak Neojen istifinin tabanını oluşturan Erken Miyosen M1 biriminin çökmesinin başladığı 18.5 milyon yıl (myö) seçilmiş ve modelleme günümüze kadar sürdürülmüştür. Modellemede kullanılmış olan 13 jeolojik-zaman biriminden 2 si aşınma dönemidir. Modelleme çalışmalarında kısmen veya tamamen aşındırılan birimlerin orjinal kalınlıklarının gerçekçi bir şekilde saptanabilmesi gerekmektedir. Bunun için ısı akısı tarihçesinin de birlikte optimize edilmesi yoluyla orjinal kalınlıkları belirlenilmeye çalışılmıştır. Paleo ısı akısı değerlerinin belirlenmesinde havzanın günümüze kadar olan tektonik evrimi ile günümüzdeki benzer havza türlerindeki ısı akısı değerlerinden yararlanılmıştır. Aşınma miktarlarının ve paleo ısı akısı değerlerinin optimizasyonu kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında gerçekleştirilmiştir.

Kavramsal modelin kalibrasyonu amacıyla, modelleme sonucu hesaplanan istifin toplam kalınlığı, her bir çökme dönemine ait kalınlıklar, kömürleşme derecesini gösteren vitrinit yansıması değerleri, sondaj kuyularında ölçülmüş değerlerle denştirilmiş ve sonuçlar arasındaki uyumsuzlukların giderilebilmesi için jeolojik, fiziksel ve kimyasal kurallar ihlal edilmeksizin, bazı girdi parametreleri değiştirilmiştir. Bu yolla, havza evriminin kavramsal modelindeki bazı belirsizliklerin netleştirilmesinin yanısıra, modelleme öncesi, sadece kestirilebilmiş parametreler de gerçeğe en uygun hale getirilebilmiştir.

Modelleme sonuçları, kömürleşme sürecindeki en kritik evrenin alt kömür damarının maksimum derinliğe gömüldüğü günümüzden 5 ila 2 milyon yıl öncesi dönem olduğunu ve ulaşılan kömürleşme derecesinin bu dönemde çökelmiş ve son iki milyon yılda'da kısmen aşındırılmış volkanoklastik birimin (Pltv) orijinal kalınlığı ile kontrol edildiğini göstermiştir.

Tek boyutlu modelleme sonucunda termojenik gaz oluşumunun başlayabilmesi için gerekli gömülme derinliğinin yaklaşık minimum 2200 m olduğu saptanmıştır. Bunun sonucunda KM2 biriminde günümüzden 5.0 milyon yıl önce petrol ve 2.0 milyon yıl önce de gaz oluşumunun başladığı görülmüştür. Ancak bu derinlikte oluşmaya başlayan gazın miktarı henüz çok azdır. Ekonomik anlamdaki miktarlar için kömürün daha da derine gömülmüş olması gerekmektedir.

İki boyutlu modelleme sonucunda KM2 (Alt kömür Seviyesinin) biriminin 2.0 milyon yıl öncesi maksimum gömülmedeki sıcaklık değerlerinin Kesit 1'de KB'da 100-105 ve GD'da 70-80°C , Kesit 2'de KB'da 120-130 ve GD'da 80-90°C ve Kesit 3'te ise GB'da 95-100 ve KD'da 60-70 °C olduğu saptanmıştır.

Modelleme sonucunda KM2 kömürü için Kesit 1'de % 0.45- 0.50 Ro , Kesit 2 'de KB yönünde % 0.65-0.70 Ro ve GD yönünde ise % 0.50-0.55 Ro, Kesit 3'te GB yönünde ise % 0.40-0.45 Ro olduğu belirlenmiştir. İki boyutlu modelleme sonucunda Kesit 1 ve Kesit 3'te KM2 biriminin erken kömürleşme derecesine, Kesit 2'de ise erken-orta kömürleşme derecesine sahip olduğu saptanmıştır.

Tek ve iki boyutlu modelleme sonucunda sıcaklık değerlerinin yeterli olmayışından dolayı hidrokarbon oluşumu çok çok düşük olup, herhangi bir ekonomik miktarın söz konusu olmadığı anlaşılmıştır.

Bu çalışma sonucunda, kömürün çok daha derinde bulunduğu ve henüz kuyu kontrolü bulunmayan havzanın güneybatı kesimlerinde, sürmekte olan çok disiplinli proje kapsamında gerçekleştirilen sismik çalışmaların verileri kullanılarak yapılacak modelleme çalışmalarıyla, kömürleşme derecesinin önceden saptanması ve işletme planlaması aşamasında kullanılması olanaklı hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

AKGÜN, F., AKYOL E., 1999, Palynostratigraphy Of The Coal-Bearing Neogene Deposits Graben In Büyük Menderes Western Anatolia. *Geobios*, 32, 3:367-383. Villeurbanne, Le 30.06.1999.

AKGÜN, F., VE AKYOL, E., 1987, Akhisar (Çıtak) Çevresi Kömürlerinin Palinolojik İncelemesi. *Türkiye Jeol. Kurumu Bülteni*, C. 30, 35-50. Ankara.

AKGÜN, F.; ALIŞAN, C. VE AKYOL, E., 1986, Soma Neojen stratigrafisine palinolojik bir yaklaşım: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, C.29, 13-25. Ankara.

AKYÜREK, B., SOSYAL, Y., 1981, Biga Yarımadası Güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) Temel Jeoloji Özellikleri. *MTA Dergisi*, 95-96, 1-12. Ankara.

ARPALIYIĞIT, İ., 1996, Quarternary Geology of the Soma District, Western Turkey. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. İzmir.

ARPALIYIĞIT, İ., 2004, Pliocene- Quarternary Geology of the Soma Graben, Western Turkey. Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi. İzmir.

BETHKE, C.M., 1985, A numerical model of compaction driven groundwater flow and heat transfer and its application to the paleohydrology of intracratonic sedimentary basins, *J. Geophys. Res.*, 90, pp, 6817-6828

BONHAM CARTER, G ., VE HARBAUGH, J.W. 1968, Simulation og geologic system. An overview , In Merriam, D.F. and Cocke, N.C. computers applications in the earth sciences , Colloquium on simulation , Kansan Computer Contribution No:22 ,pp 3-10

BONHAM-CARTER, G.F., ve SUTHERLAND, A.J., 1967, Diffusion and setting of sediments at river mouths: a computer şşmulation model. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 17, 326-338

BOZKURT, E., 2003, Origin of NE-Trending Basins İn Western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 1–81

BOZKURT, E., MITTWEDE, S., 2005, Introduction: Evolution Of Continental Extensional Tectonics Of Western Turkey. *Geodinamica Acta* 18/3-4,153-165.

BOZKURT, E., ROJAY, B., 2005, Episodic, Two-Stage Neogene Extension And Short-Term Intervening Compression İn Western Turkey: Field Evidence From The Kiraz Basin And Bozdağ Horst. *Geodinamica Acta*, 18/3-4, 299–316.

BOZKURT, E., SÖZBİLİR H., 2004, Tectonic Evolution Of The Gediz Graben: Field Evidence For An Episodic, Two-Stage Extension İn Western Turkey. *Geol.Mag*, 141 (1), Pp. 63-79, Cambridge University Press.

BOZKURT, E., WINCHESTER, J., RUFFET, G., ROJAY, B., 2008, Age And Chemistry Of Miocene Volcanic Rocks From The Kiraz Basin Of The Küçük Menderes Graben: Its Significance For The Extensional Tectonics Of Southwestern Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 21/5, 239-257.

BRAUN, R. L. AND BURNHAM, A. K. (1987) Analysis of chemical reaction kinetics using a distribution of activation energies and simpler models. *Energy and Fuels* **1**, 153-161.

BRINKMANN, K.; FEIST, R.; MARR, W.L'; NICKEL, F.; SCHLIMM, W. VE WALTER, H.R., 1970, Some dağlarının jeolojisi: MTA Derg., 74, 41-57, Ankara.

DEWEY, J.F., 1988. Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 7, 1123- 1139.

DEWEY, J.F. VE ŞENGÖR, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90 (I), 84-92.

DOLİGEZ, B. F. 1986, Integrated numerical modeling of sedimentation, heat transfer and fluid migration in a sedimentary basin, The THEIMES model. *Thermal Modelling of Sedimentary Basins*, Technip, Paris pp,173-195

DURAND, B., UNGERER, P., CHIARELLI, A., OUDIN, J. L., 1984, Modelisation de la migration de l'huile. Application a deux exemples de bassins sedimentaires. *Proc. 11th World Petroleum Congr.*, London ,1983,PD1,1-13

EMRE, T., 1996a. Gediz Grabeni'nin Jeolojisi Ve Tektoniği [Geology And Tectonics Of The Gediz Graben]. *Turkish Journal Of Earth Sciences* 5, 171-185.

EMRE, T., SÖZBİLİR, H., 2007, Tectonic Evolution of the Kiraz Basin Küçük Menderes Graben: Evidence for Compression/Uplift related Basin Formation Overprinted by Extensional Tectonics in West Abatolia, *Turkish Jour. Earth Sciences* Vo.16, p.441-470.

ERCAN, T., SATIR, M., KRAUZER, H., TÜRKECAN, A., 1985, Batı Anadolu Senozoyik Volkanitlerine Ait Yeni Kimyasal, İzotopik Ve Radyometrik Verilerin Yorumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 28,121 -136.

ERCAN, T., SATIR, M., SEVIN, D., TÜRKECAN A., 1996, Batı Anadolu'daki Tersiyer Ve Kuvaterner Yaşlı Volkanik Kayaçlarda Yeni Yapılan Radyometrik Yaş Ölçümlerinin Yorumu. *MTA Dergisi* 119, 103-112, Ankara.

ERSOY, Y., HELVACI, C., SÖZBİLİR, H., ERKÜL, F., BOZKURT, E., Selendi Havzası'nın Geç Senozoyik Volkanik Evrimi, (Batı Anadolu): Çok Evreli Bimodal Volkanizmaya Bir Örnek.

FLERIT, F., ARMIJO, R., KING, P., MEYER, B., BARKA, A., 2003, Slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart determined from GPS velocity vectors. *Geophys. J. Int.* 154, 1-7.

FRAKES, L. A. 1979. *Climates throughout Geologic Time*, xii + 304 pp., 83 figs. Amsterdam, New York: Elsevier Scientific.

GEMICI, Y., AKYOL, E., AKGÜN, F., VE SEÇMEN, Ö., 1991, Soma Kömür Havzası Fosil Makro ve Mikro Faunası, MTA Dergisi, 112, 161-178. Ankara.

GÖRÜR, N., ŞENGÖR, A.M.C., SAKINÇ, M., TÜYSÜZ, O., AKKÖK, R., YİĞİTBAŞ, E., OKTAY, F.Y., BARKA, A.A., SARICA, N., ECEVİTOĞLU, B., DEMİRBAĞ, E., ERSOY, Ş., ALGAN, O., GÜNEYİSU, C., AKYOL, A., 1995. Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*, 132, 637–650.

HARBAUGH, J.W AND BONHAM CARTER, G .,1970, Computer simulation in geology , Wiley –Interscience, New York,pp 575

HARBAUGH, J.W. 1966, Mathematical simulation of marine sedimentation with IBM 7090/7094 computers. *Kans., State Geol . Surv., Comput. Cpntrib.*, 1, pp, 52

HABICHT, J. K. A. 1979. Paleoclimate, Paleomagnetism and Continental Drift. *American Association of Petroleum Geologists. Studies in Geology* No. 9. Pp. 29

HERMANRUD, C., 1993, Basin modelling techniques: an overview. In: Doré AG, Augustson JH, Hermanrud C, Steward DJ, Sylta É (eds) *Basin modelling: advances and applications*, NFP Spec Publ 3. Elsevier, Amsterdam, pp 1–34

İNCI, U., 1998, Lignite and Carbonate Deposition in Middle Lignite Succession of the Soma Formation, Soma Coalfield, Western Turkey. *International Journal of Coal Geology* 37, 287–313.

İNCI, U., 1998, Miocene Synvolcanic Alluvial sedimentation in Lignite-bearing Soma Basin, Western Turkey. *Tr. J. of Earth Science*, 7, 63-78.

İNCI, U., 2002, Depositional Evolution of Miocene Coal successions in the Soma Coalfield, Western Turkey. *International Journal of Coal Geology* 51, 1– 29.

İNCI, U., Arpalıyığıt, İ., 2008, Kırkağaç Diri Fay Zonu. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*.

İNCI, U., Koçyiğit , A., Bozkurt, E., ve Arpalıyığıt, İ., 2003, Soma ve Kırkağaç Grabenlerinin Kuvaterner Jeolojisi, Batı Anadolu. *İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Kuvaterner Çalıştay IV*.

JACKSON, J.A. VE MCKENZIE, D.P., 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors and rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal*, 93, 45–73.

JÜNTGEN, H., KARWEIL, J., 1966, Gasbildung and Gasspeicherung in Steinkohlenflözen, Part I and II, *Erdöl and Kohle*, Vol.19, p.251-258 and p. 339-344.

KARAYIGIT, A.I., VE WHATELE, M.K.G., 1997, Properties of a Lacustrine Subbituminous (kl) Seam, with Special Reference to the Contact Metamorphism, Soma-Turkey. *International Journal of Coal Geology* 34, 131 – 155.

KOÇYİĞİT, A., YUSUFOĞLU, H., BOZKURT, E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two stage extension in western Turkey. *Journal of Geological Society, London*. 156, 605-616.

LE PICHON, X. VE ANGELIER, J., 1979. The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1–42.

LE PICHON, X. VE ANGELIER, J., 1981. The Aegean Sea. *Phil. Trans. Royal Soc. London, A*: 300, 357–372.

LERCHE, I., ve GLEZEN, W.H., 1984, Deposition, Compaction and fluid Migration , Time dependent models ,n one and two dimensions. *Gulf Research and Development Co., Pittsburg, Pa.*, pp 52

MCKENZIE, D.P., 1978a. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth Plane. Sci. Lett.*, 40, 25–32.

MCKENZIE, D.P., 1978b. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Royal Astronom. Soc.*, 55, 217–254.

MEULENKAMP, J.E., VAN DER ZWAAN, G.J., VAN WAMEL W.A., 1994. On Late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic arc. *Tectonophysics*, 234, 53–72.

MEULENKAMP, J.E., WORTEL, M.J.R., VAN WAMEL, W.A., SPAKMAN, W., HOOGERDUYN STRATING E., 1988. On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late Middle Miocene. *Tectonophysics*, 146, 203–215.

MUKHOPADHYAY, A., 1995, Distribution of transmissivity in the Damman Limestone Formation , Kuwait. *Ground Water* 33, No 5, pp 801-805.

NAKOMAN, E., TOLGONAY, Y., 1988 Soma-Deniz Yöresinde Kömürlerin Ekonomik Özellikleri. II.Kömür Kongresi Bildirileri.

NEBERT, K., 1959. Bakırçay'ın güneyinde bulunan, linyit kömürü ihtiva eden Soma Neojen sahasının jeolojik durumları hakkında. *MTA Rap.*, no. 3019 (yayınlanmamış), Ankara.

NEBERT, K., 1978, Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu: *MTA Derg.*, 90, 20-70, Ankara.

OJAKANGAS, D. R., 1967, Mathematical simulation of oil trap development. Ph. D. Thesis, Stanford Universty, Calif., pp, 161

REDDING, C. E., ve Diğ., 1980, Hydrogen and carbon isotopic composition of coal and kerogens in Douglas. *Advances in Organic Geochemistry*. Oxford, Pergamon, p711-724

SWEENEY, J. J. AND BURNHAM, A. K., 1990, Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: *Ame. Assoc. Petrol Geol. Bull.* 74, 1559-1570.

ŞENGÖR A.M.C., GÖRÜR N., ŞAROĞLU F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, 227–264.

ŞENGÖR, A.M.C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc., London*, 136, 269–282.

ŞENGÖR, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. O. Erol, V. Oygür (Ed.), *Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli*, TJK Yayını, 59–72.

ŞENGÖR, A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. In: Coward M.P., Dewey J.F., Hancock P.L. (Eds.), *Continental Extensional Tectonics*, Geological Society Special Publication, no. 28, Geological Society, London, 575–589.

SEYİTOĞLU, G., SCOTT, B.C., 1991, Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey, *Geological Magazine*, 128, 155-166.

SEYİTOĞLU, G., SCOTT, B.C., 1996. The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, 31, 1-11.

SMITH, J.E., 1971, The Dynamics of shale compaction and the evolution of pore fluid pressures. *Math. Geol.*, 3, pp,239-263

SMITH, J.E., 1973, Shale compaction *Soc. Pet. Eng. J.*, 13, pp, 12-22

STACH, E., MACKOWSKY, M. TH., TEICMÜLLER, M., TAYLOR, G. H., CHANDRA, D., TEICMÜLLER, R., 1982. *Stach's textbook of coal petrology*, Berlin, Gebrüder Borntraeger, p.535.

TAKAHASHI, E. VE JUX, U., 1991. Miocene palynomorphs from lignites of Soma Basin. *Nat. Sci. Bull. Fac. Lib. Arts, Nagasaki Univ.*, 32 (1), 7–165.

TAN, T., ERTÜRK, İ., BEKMEZCI, F., ALTINAY, A., 2008. Manisa-Soma-Eynez, İzmir-Kınık-Yaylaköy Sahas 05.04.2007 tarihli sözleşme raporu. MTA Rap., no. 2007-33-38, (yayınlanmamış), Ankara.

TEICMÜLLER, M., 1974. Fluorescence microscopical rank studies on liptinites and vitrinites in peat and coals and comparison with results of the Rock- Eval pyrolysis. Int. J. Coal. Geol. 2: 197-230.

TISSOT B. P., ve WELTE D.H., 1984, Petroleum Formation and occurrence, Springer, Berlin pp, 207-224

TISSOT, B. AND J. ESPITALIE, 1975, Thermal evolution of organic materials in sediments; application of a mathematical simulation; petroleum potential of sedimentary basins and reconstructing the thermal history of sediments, Revue de l'Institut Francais du Petrole et Annales des Combustibles Liquides, v. 30/5, p. 743-777.

TISSOT, B., PELET, P., UNGERER, P., 1987, Thermal history of sedimentary basins, maturation indices and kinetics of oil and gas generation. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 58 pp, 499-506

TOPRAK, S., 2009, Petrographic Properties of Major Coal Seams in Turkey and Their Formation. International Journal of Coal Geology, 78, 263-275.

TÜFEKÇİ, K., AKMAN, A., Ü., 2004, Determination And Characterisation Of Fault System And Geomorphological Features By Rs And Gİs Techniques In The Wsw Part Of Turkey. Int. Soc. For Photogrammetry And Remote Sensing Xx Th. Congress. İstanbul.

UNGERER, P., BURRUS, J., DOLİGEZ, B., 1990, Basin evaluation by integrated two-dimensional modeling of heat transfer, fluid flow, hydrocarbon generation and migration. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 74 (3), pp, 309-355

UNGERER, P. AND PELET, R. (1987) Extrapolation of the kinetics of oil and gas formation from laboratory experiments to sedimentary basins. *Nature* 327, 52–54.

VASSILEV, S., VASSILEVA, C., KARAYIĞIT, A.I., BULUT, Y., ALASTUEY, A., QUERO, X., 2005, Phase–mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey. International Journal of Coal Geology 61, 35– 63.

WELTE, D. H., ve YÜKLER, M.A., 1980, Evolution of sedimentary basins from the standpoint of petroleum origin and accumulation- an approach for a quantitative basin study. Org. Geochem, 2, pp, 1-8

WELTE, D. H., ve YÜKLER, M.A., 1981, Petroleum origin accumulation in basin evolution –a quantitative model. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 65 (8), pp, 1387-1396

WELTE, D.H. UND YALÇIN, M.N., 1985, Die numerische Simulation von Sediment Becken. Erdöl und Organische Geochemie, KFA Jülich, 25-29.

WELTE, D.H., SCHAEFER, R.G. and YALÇIN, M.N., 1988, Gas Generation from source rocks: Aspects of a quantitative treatment; Chemical Geology, Vol.71, p.105-116.

WELTE, D.H., ve YALÇIN, M.N., 1988, Basin modelling - a new comprehensive method in petroleum geology, in: Advances in Organic Geochemistry 1987, Mattavelli, L. and Novelli, L. (eds), Org. Geoch. em., Vol.13, Nos.1-3, p.141-151.

YALÇIN, M.N., 1991, Basin Modelling and Hydrocarbon Exploration. Journal of Petroleum Science and Engineering, 5, 379-398.

YALÇIN M.N., ve WELTE, D. H., 1988, The Thermal evolution of sedimentary basins and significance for hydrocarbon generation. Turk. Assoc. Pet. Geol. Bull., 1, p:12-26

YALÇIN M.N., 1995, Kozlu K20/G kuyusunun Zonguldak Havzasındaki bilgisayar destekli modelleme çalışmalarına katkısı, Zonguldak Havzası Araştırma Kuyuları- I Kozlu K20/G, M.N. Yalçın ve G. Gürdal (Der) TÜBİTAK ,MAM Özel Yayını, 173-196

YALÇIN, M. N., İNAN S., GÜRDAL, G., MANN U., SCHAEFER, G.R., 2002, Carboniferous coals of the Zonguldak basin (northwest Turkey): Implications for coalbed methane potential, AAPG Bulletin, v 86/7, Pp.1305-1328.

YALÇIN, M.N., 1997, Bilgisayar destekli modelleme-Jeolojide yeni bir yöntem, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, 8, 1-3, 59-68.

YALÇIN, M.N., SCHENK, H.J., SCHAEFER, R.G., 1994, Modelling of gas generation in coals of the Zonguldak Basin (NW Turkey). International Journal of Coal Geology, 25, 2, 195-212.

YILMAZ, Y., GENÇ, S.C., GÜRER, O.F., BOZCU, M., YILMAZ, K., KARACIK, Z., ALTUNKAYNAK, S., ELMAS, A., 2000, When Did The Western Anatolian Grabens Begin To Develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A. (Eds.), Tectonics And Magmatism İn Turkey And The Surrounding Area. Spec. Publ. Geol. Soc. London, Vol. 173, Pp. 353– 384.

YÜKLER, M.A., 1984, A review of models used in petroleum resource estimation and organic geochemistry, In: J. Brooks and D. Welte (Editors), Advances in Petroleum Geochemistry, Vol.1, Academic Press, London pp.69-113

ÖZGEÇMİŞ

04.07.1986 tarihinde İstanbul’ da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini İstanbul’ da tamamladı. 2004 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümüne girdi. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde çift anadal programına başladı. 2008 yılında Jeoloji Mühendisliği Lisans öğretimini tamamladı ve aynı sene İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde, Bilgisayar Destekli Modelleme üzerine Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında İnşaat Mühendisliği Yan anadal programını tamamladı.