

Armutçuk Yöresinde Karbonifer İstifinin Jeolojik Evrimi ve Modellenmesi

Modeling of the Geological Evolution of Carboniferous Units in the Armutçuk Region

Emrah CAN (*)
M. Namık YALÇIN (**)

ÖZET

Zonguldak Havzasının kömür kökenli doğal gaz potansiyelinin belirlenmesi kapsamında sürdürülen çalışmaların bir bölümünü, havza geziminin bilgisayar destekli modellenmesi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Armutçuk bölgesindeki kömürlü birimlerin jeolojik evriminin, bölgesel jeoloji ve Kandilli-23 kuyusundan derlenen verilerin yardımıyla modellenmesi sunulmuştur.

Önce jeolojik evrimin bir kavramsal modeli hazırlanmış ve kuyunun modellenmesi için gerekli girdi verileri saptanmıştır. Modelleme sonuçlarıyla Kandilli-23 kuyusuna ait gerçek ölçümlerin karşılaştırılması ve bazı girdi parametrelerinin uyarlanmasıyla kavramsal model gerçeğe uygun bir hale getirilebilmiştir. Bunun sonucunda, modelleme öncesinde sadece kestirilebilen ısı akısı ve yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimleri ile aşındırılmış birimlerin orjinal kalınlıkları saptanabilmiştir. Ayrıca kömürlü birimlerin sıcaklık evrimi ve kömürleşme derecesinin zamana bağlı değişimleri sayısal olarak belirlenmiştir.

ABSTRACT

Computer-aided modeling of the basin evolution is a major part of the study which aims the determination of coalbed methane potential of the Zonguldak Basin. In this paper, modeling of the geological evolution of the coal-bearing strata at the region of Armutçuk is presented which is performed with the help of the data compiled from the regional geology and from the Kandilli-23 well.

First a conceptual model of basin evolution is constructed and the input data required for the modeling of the well is prepared. After the comparison of the modeling results with measured the values and the adjustment of some related input data, an acceptable match between these two sets has been reached. So, the conceptual model becomes more realistic. As a result, parameters such the temporal distribution of heat flow, surface temperatures, and the original thickness of the eroded units that could only be estimated before are defined more precisely. Additionally the thermal and maturation history of the coal bearing sequence are determined quantitatively.

(*)Jeoloji Müh, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yerbilimleri Bölümü P.K21 41470
Gebze-KOCAELİ.

(**)Doç. Dr., Jeoloji Yük. Müh., TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yerbilimleri Bölümü P.K21
41470 Gebze-KOCAELİ.

1. GİRİŞ

Kömür kökenli doğal gaz potansiyelinin belirlenmesinde, kritik unsurlardan birisi de oluşmuş gaz miktarı ile bu oluşum zaman içindeki gelişiminin saptanmasıdır. Kömürde gaz oluşumunun, kömürün sıcaklık evrimi ile gaz oluşumunun kinetik özellikleriyle denetlendiği çok sayıda araştırmacı tarafından gösterilmiştir (1-4). 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 (5,6). Buna karşın, son yıllarda yaygın olarak kullanılan modelleme yöntemleri, çökel havzalarında ısı transferi sürecinin hesaplanmasını, dolayısıyla sıcaklık evriminin daha doğru bir şekilde saptanmasını olanaklı kılmıştır (7,8). Bu uygulamanın verilerine getirdiği en önemli yeniliklerden biri de, farklı disiplinlerden sağlanmış verilerin mantıksal ve sinerjetik fek bütünlük içinde kullanılması ve değişik jeolojik evrim senaryolarının test edilmesine olanak sağlamasıdır.

Bu çalışmada böyle bir yaklaşımın, Zonguldak Havzası Armutçuk bölgesindeki Kandilli-23 kuyusunun bir boyutlu modellenmesiyle gerçekleştirilen, bir uygulaması sunulacaktır. Bölgesel jeoloji verileri yayınlanmış çalışmalardan, Kandilli-23 kuyusunun verileri Türkiye Taşkömürü Kurumu'ndan sağlanmıştır. Modellemede "PDI-1D Basin Modeling" yazılımı kullanılmıştır (9).

2. JEOLÖJİK EVRİM

Lavrasya'nın güneye bakan kıta platformu üzerinde (10,11), Orta Devoniyen'den beri devam etmekte olan sığ denizel karbonat çökerimi (Yılanlı Fm.), Orta Karbonifer'de Paleotetis'in kapanmaya başlamasıyla (12,13,14), kesikliğe uğramıştır. Geç Vizeen'de havza gerisindeki yükselmeler ve bunu takip eden malzeme gelimi neticesinde de, karbonat çökerimi yerini kırıntılı bir istif (Alacaagzı Fm.) bırakmıştır. Paleokıvrım yönleri, bu malzemenin kuzey-kuzeybatıdan geldiğini göstermektedir (10,11). Namuriyen boyunca çökelimine devam eden Alacaagzı Formasyonu, delta önü (prodelta) çökelleriyle alttaki karbonatlar üzerine dereceli geçişli olarak gelmektedir. İstifin sedimanter özellikleri, bunun kuşayağı (birdfood) tipi ilerleyen bir delta olduğunu göstermektedir (10,11). Delta önü çökelleri, alta kalınlığı birkaç metreyi geçmeyen killi kireçtaşı arakatlı bir düzeye başlamaktadır, istifin üstüne doğru kömürleşmiş bitki kırıntılı, lamine şeyl-silttaşı ardalanmasıyla devam ederler (10,15-18). Armutçuk'ta dolomitik kireçtaşları (19), Zonguldak'ta resifal kireçtaşları (15), Amasra'da ise çörtlü kireçtaşları (16,17) üzerine çökelmişlerdir. Farklı ortamların ürünü olan kireçtaşları üzerine, regresif olarak gelen delta önü çökellerinin kalınlıkları, batıdan doğuya doğru artmaktadır. Zonguldak'ta 20-25 m arasında değişen kalınlıklar görülürken (18), Amasra'daki kalınlıklar 180-320 m ye kadar çıkmaktadır (16,17). Bununla birlikte bütün delta istifi, Armutçuk'ta 1000-1100 m (20), Zonguldak'ta

850 m (15,20), Amasra'da ise 200-300 m (16,17) arasında değişen kalınlıklarda, batı-doğu yönünde azalmaktadır. Bu stratigrafik ilişkiler ve kalırdık değişimleri, delta çökellerinin havza eksenine boyunca, kuzeybatı-güneydoğu yönünde* bir engeli aşarak ilerlediğini göstermektedir. Bu engeli, muhtemelen Zonguldak'taki bir set resifi oluşturmaktadır. Zonguldak Havzası'ndaki Namuriyen yaşlı kömürler, sadece Armutçuk'da işletilebilir damar kalınlıklarına sahiptirler. Bununla beraber, kömür damarlarının kalınlıkları istifin üstüne doğru da artmaktadır. Namuriyen kömürlerinin bu özelliği, Armutçuk bölgesinin kaynağa daha yakın olduğunu ve delta düzlüğü (deltaplain) çökellerinin daha erken geliştiiğini göstermektedir. Havza kenarındaki kıyı çizgisi, Namuriyen boyunca, güney-güneydoğu yönünde sürekli olarak gerilemiştir.

Erken Vestfaliyen'de, bölgesel tektonik aktivitenin artmasıyla havzaya, asitik volkanizma ürünü malzeme (21) ile birlikte bol miktarda kaba kırıntılı gelimi başlar, istif içindeki volkanik arakatlıklar, havza gerisindeki yükselime, volkanizmanın da eşlik ettiğini göstermektedir. Bu tektonik rejim altındaki malzeme gelimi, Vestfaliyen boyunca, alttaki delta düzlüğü çökelleri üzerine örgünlü akarsu, menderesli akarsu, taşkın ovalan ve bataklık ortamlarında çökeltiştir (10,11). Tane boyu alttan üste incelen bu istif (Zonguldak Fm.), zaman içinde duraylılığı sürekli olarak değişen ve yükselen havzada, devresellik göstermektedir (10,11,14). Zonguldak Havzası'nın işletilen kömürleri Vestfaliyen'de geliştiiştir.

Geç Vestfaliyen'de Armutçuk bölgesinin yükselerek kara haline gelmesiyle, bu bölgede bir aşınma dönemi başlamıştır. Amasra bölgesi'nde ise, Geç Vestfaliyen yaşlı kömürlü birimlerin üzerinde, bunlarla dereceli geçişli olarak başlayan kömür bakımından steril, kırmızı-yeşil renkli kumtaşı ve marnların bulunması (16,17), bu bölgenin en erken Stefaniyen'de kara haline geldiğini göstermektedir. Stefaniyen'den sonra, bütün Zonguldak Havzasını etkileyen bir aşınma dönemi başlamıştır. Stefaniyen'den Erken Malm'e (Oxfordiyen) kadar (22,23) kara halinde kalan Zonguldak Havzasındaki bazı alanlar aşındırılmış, bazı alanlarda da aşındırılan bu malzeme çökelmiştir. Alt seviyelerinde çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı ve istifin üst seviyelerine doğru rüzgar çökelleri, ve gölsel marnlardan oluşan (17,22) bu kalın karasal istifin (Çakraz Fm.), çökelişine Permiyen'de başladığı düşünülmektedir (16-18). Zonguldak Havzasının doğusunda (Cide, Kurucaşile), bu karasal istifin en üst seviyelerini oluşturan gölsel çökellerde Üst Triyas yaşlı fosiller bulunmuştur (22). İstifin kalınlığı Ereğli'de en fazla 300 m (19) iken, doğuda (Çakraz) 3000 m ye kadar çıkmaktadır (18). Lavrasya ile Kimmer kıtalarının Liyas sonu-Dogger başındaki çarpışmaları (13,14,24,25), Çakraz Formasyonunun Zonguldak Havzasındaki çökelişini durdurmuştur.

Pontidlerin güneyinde, Erken Liyas'ta (Sinemuriyen) Neotetis'in açılmaya başlamasıyla (26), Zonguldak Havzası gerilme tektoniğinin etkisi altına girmiştir. Neotetis, Erken Malm'de Zonguldak Havzası üzerine transgresif olarak ilerlemeye başlamıştır. Havzada erken Malm ile başlayan yeni sedimentasyon dönemi, Lavrasya ile Kimmer kıtalarının çarpışmasıyla kazanılan paleotopografya ve Liyas'ta Neotetis'i (12-14,25,26), Üst Kretase'de de Karadeniz'i (27) açan, gerilme tektoniğinin etkisinde gelişen blok faylar (22,23,26) tarafından kontrol edilmiştir. Neotetis'in Pontidlerin güneyinde

açılmasına karşılık, Malm transgresyonunun, Zonguldak Havzasına kuzeyden (23,28), doğudan ve güneydoğudan (24,25,29) ilerlemesi, bölgede Malm'den önce (Dogger?), Kuzey yamacında Zonguldak Havzasının yer aldığı, büyük bir yarımadaının bulunduğunu düşündürmektedir. Erken Malm'deki Neotetis'in ilk transgresyonu (23,29), Zonguldak Havzasının kuzeyini (23,28) tamamen kaplamıştır. Bu denizin kıyı çizgisi, Armutçuk'dan kuzeye doğru çıkmakta (23) ve daha sonra Ereğli'ye doğru dönmekteydi (30). Erken Malm'den (Üst Oxfordiyen) Alt Kretase'e (Berriasiyen) kadar olan dönemde, bu kıyı boyunca uzanan platform üzerinde sığ denizel bir karbonat (İnaltı Fm.) çökelişi olmuştur (23,29). Berriasiyen'den sonraki karbonat çökelişi, havzayı kuzeyden sınırlayan blok fayların aktif hale gelmesiyle kesikliğe uğramış (22,23) ve çökelişine regresif olarak devam etmiştir. Zonguldak Havzasında, Valanginiyen'de başlayan ve Hauteviriyen'e kadar süren aşınma döneminde (23), havza kenarında gelişen karasal çökeller (İncüvez Üyesi), Üst Oxfordiyen-Berriasiyen yaşlı kireçtaşlarını (inaltı Fm.) paralel diskordansla örterler (30). Çakıltı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan bu karasal çökellerin sedimentolojik özellikleri ile birlikte yayılımları, bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu istif Zonguldak Havzasının doğusunda (Ereğli bölgesi) lagün, akarsu ve taşlan ovası çökelleriyle temsil edilirken (30), Zonguldak'taki stratigrafik özellikleri, bunların ani yükselimler onunde gelişmiş alüvyal fanlar olduğunu göstermektedir (23).

Erken Barremiyen'de başlayan yeni bir transgresyon, Zonguldak Havzasını büyük ölçüde etkilemiştir. Bu dönemde, havzadaki kömürlü birimlerin hemen hemen tamamı deniz seviyesinin altında kalmıştır. Bununla beraber, Zonguldak'ta ve Armutçuk'taki birkaç sondajda, Barremiyen kireçtaşı kesilmeden Vizeen karbontlarına (Yılanlı Fm.) ve/Veya kömürlü birimlere (Alacağzı Fm., Zonguldak Fm.) girilmiştir. Bu, Barremiyen transgresyonunun havzanın tümünü kaplamadığını, ayrıca bu dönemde bölgede çok engebeli ve girintili-çukuntılı bir kıyı morfolojisinin varlığını göstermektedir.

Barremiyen Kireçtaşlarının yaşı, bazı alanlarda Apsiyen-Albiyen'e kadar çıkmaktadır (16,18,23). Kireçtaşları üzerine dereceli geçişli olarak, killi-kumlu kireçtaşı, marn arakatlı plaj kumtaşlarıyla (Velibey kts) başlayan, Apsiyen-Senomaniyen döneminde çökelmiş kaim bir fliş istifi (Çağlayan Fm.) gelmektedir. Bu kırıntılı istif, Erken Kretase'de aktif hale gelen havza kenarında, gittikçe derinleşen bir denizel ortamı temsil etmektedir. Çağlayan Formasyonunun kalınlığı batıdan doğuya doğru artmaktadır. Amasra ve civarında 500-700 m (16-18) arasında değişen kalınlıklar, dabi doğu alanlarda (Kastamonu ve yöresi) 300-2000 m ye çıkmaktadır (29). Çağlayan Formasyonun' ı özellikle alt seviyelerinde ani kalınlık değişimleri görülmektedir. Bu seviyelerdeki birimler bölgesel olarak yanal yönde sürekli değildirler (29). Bu düzensiz istif, Çağlayan Formasyonunun çökme döneminde (Apsiyen-Senomaniyen), gerilme tektoniğinin bölgede etkisinin artmasıyla birlikte gelişen, horst-graben sisteminin bir sonucudur (29). Üst Senomaniyen-Türoniyen'de Orta Pontidlerin üzerinde, kıtanın hızla çökmesiyle, ortama kırıntılı malzeme verebilecek bir kara alanı kalmamıştır (29). Türoniyen'de Pontidlerin hemen her kesiminde, tipik olarak tanınan derin denizel pelajik kireçtaşları, bu zamana kadar kara halinde kalmış birçok alanı örtmüşlerdir (29). Neotetis, Koniasiyen'de başlayan şiddetli bir adayayı volkanizması ile birlikte kapanmaya başlamıştır (14). Bu dönemden sonra bütün Neotetis havzalarında bir sıkışma tektoniği görülmektedir. Zonguldak Havzası da bu sıkışma rejimi altında

tekrar yükselmeye başlamıştır. Pelajik kireçtaşları üzerine dereceli olarak gelen, Alt Paleosen'e (Daniyen) kadar marn, şeyi ve kireçtaşları ile sürekli ardalanarak devam eden piroklastiklere (Yemişliçay Grubu), andezitik ve bazaltik denizaltı volkanizması da eşlik etmiştir (16-18,28,31). Bu istifin Geç Kampaniyen'e kadar olan alt seviyelerini, tamamen ada yayı volkanizması ürünü piroklastikler oluşturmaktadır. Üst Paleosen'de, bölgesel volkanizmada bir duraklama olmuş ve Üst Rretase (Koniasiyen)-Alt Paleosen (Daniyen) yaşlı, fliş karakterindeki alttaki istif üzerine denizel marnlar (Atbaşı Fm.) çökelmiştir. Bu marnlar üzerine uyumlu olarak başlayan, Alt Eosen (İpresiyen-Lütesiyen) yaşlı denizel marn, şeyi ve tüfler bölgedeki en genç Neotetis çökelleridir (Kusuri Fm.). Neotetis'in Paleosen-Eosen'de kapanmasıyla (12,13), Zonguldak Havzası tamamen deniz seviyesinin üzerine çıkmış ve kara halini almıştır. Zonguldak Havzasında Lutesiyen'de başlayan aşınma dönemi, günümüzde de devam etmektedir.

Jeolojik evrim Şekil 1 de, havzanın zaman-kaya stratigrafi birimleri yardımıyla özetlenmiştir.

3. JEOLJİK EVRİMİN MODELLENMESİ

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 (5,32,33).

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 (34).

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 itératif olarak tekrarlanır. Çok sayıda parametre için uyum sağlandığında, oluşturulan modelin gerçeğe uygun olduğuna karar verilerek, sistemin veya sürecin değişik koşullardaki davranışlarının incelenmesine başlanabilir.

Kısaca tanımlanan bu yaklaşım kullanılarak ve aşağıdaki hususlar gözetilerek, Zonguldak 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.
- Modellenen kuyunun seçimi ve gerekli girdi (input) verilerinin hazırlanması.
- Modelleme sonuçlarının yardımıyla kavramsal modelin kalibrasyonu.
- Model sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması.

Bir boyutlu modelleme için Armutçuk yöresindeki Kandilli-23 kuyusu kullanılmıştır. Girdi verilerinin hazırlanması amacıyla önce,

- a) Modellemenin başlangıç ve bitiş zamanının
- b) Farklı jeolojik-zaman ve zaman-kaya stratigrafi birimleri ile bunların niteliklerinin
- c) Zaman-kaya stratigrafi birimlerinin litoloji ve bugünkü kalınlıklarının
- d) Çökelme ortamları ve su derinliği ile yüzey ve/veya çökelme sırasında deniz tabanındaki sıcaklıkların
- e) Isı akısının zamana bağlı değişimlerinin

tanımlanması yapılmıştır.

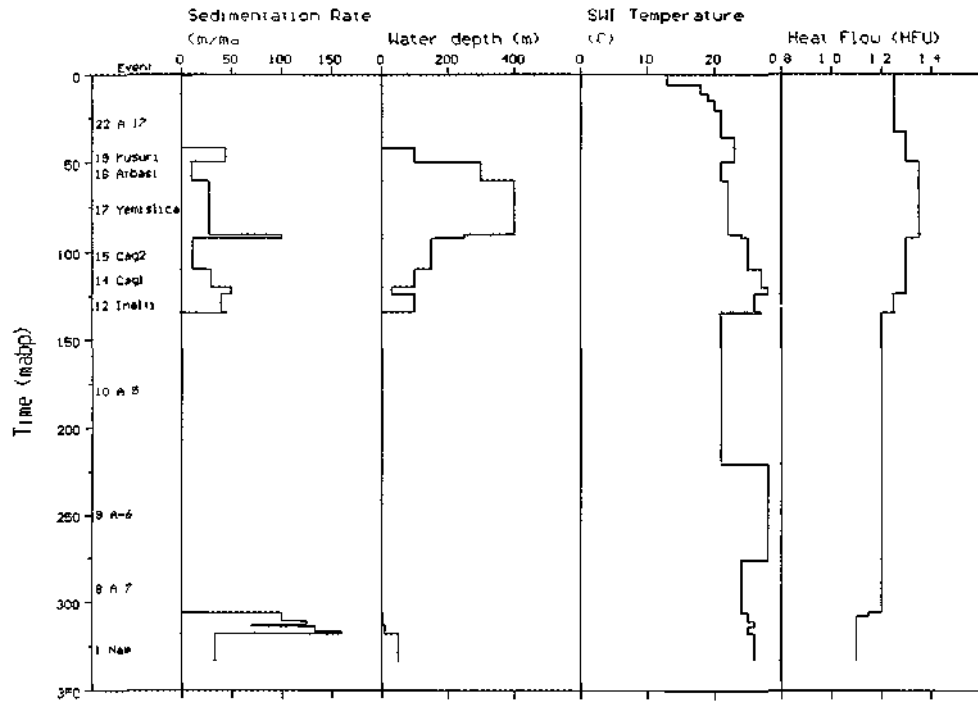
Havza gelişiminin modellenmesine, Namuriyen yaşlı birimin (Alacaagzı Fm.) çökmesinin başladığı günümüzden 333 milyon öncesinden başlanmış ve modelleme günümüze kadar sürdürülmüştür. Bu süreç 28 ayrı zaman dilimine bölünmüştür. Bu birimlerin başlangıç ve bitiş zamanları, süreleri, nitelikleri Çizelge 1 de listelenmiştir. Bunlardan çökelme dönemini temsil eden zaman-kaya stratigrafi birimlerinin kalınlık ve litolojileri Çizelge 1 e eklenmiştir. Değişik litolojilerin ısı iletkenlik katsayısı, özgül ısısı, özgül ağırlığı, başlangıç gözenekliliği ve sıkışabilirlik katsayısı,

kullanılan modelleme yazılımından yararlanılarak belirlenmiştir. Isı transferi denkleminin çözümünde kullanılan deniz tabanı sıcaklıkları ve ısı akısı değerlerinin saptanması için sırasıyla; paleoklim verileri (35,36), havza tipi ve olası kabuk yapısı (5) gözetilmiştir. Bu son iki girdi verisi, sadece kestirilebilen parametreler olduğundan, bunlar kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında, model sonuçları ile sondaj kuyusunda ölçülmüş gerçek verilerin denkleştirilmesi yoluyla, gerçeğe en uygun hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu parametreler ile diğer girdi verilerinden çökme hızı ve su derinliğinin zamana bağlı değişimleri Şekil 2 de gösterilmiştir.

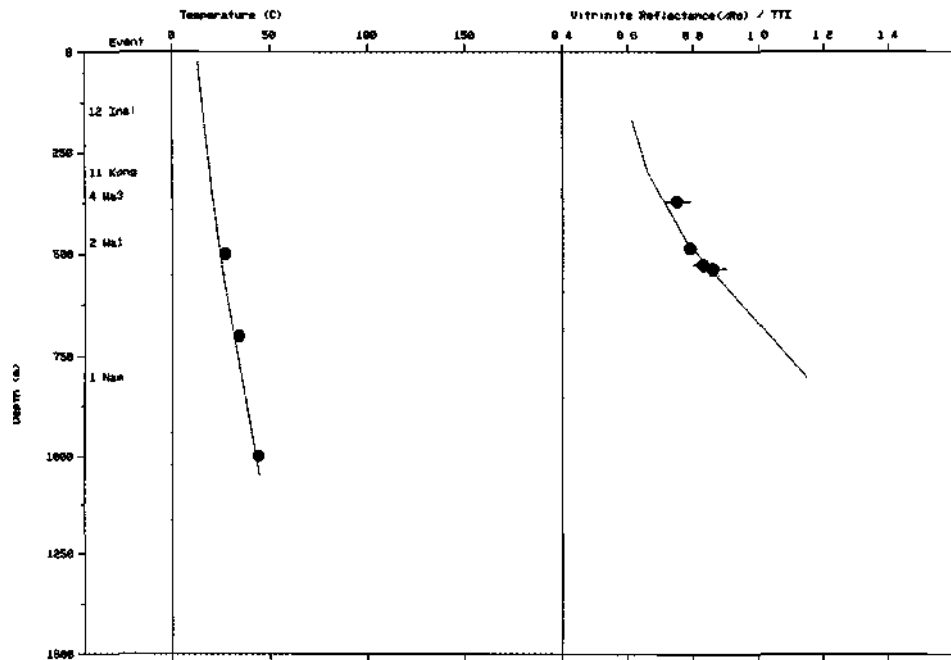
Kavramsal modelin kalibrasyonu amacıyla, modelleme sonucu hesaplanan istifin toplam kalınlığı, herbir çökme dönemine ait kalınlıklar, kömürleşme derecesini gösteren vitrinit yansıması değerleri ve sıcaklık değerleri, Kandilli-23 sondaj kuyusunda ölçülmüş değerlerle denştirilmiş ve sonuçlar arasındaki 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. Kalibre edilmiş kavramsal evrim modelinin ışığında hazırlanmış girdi verileriyle gerçekleştirilen bilgisayar modellemesinin sonuçları ve bunların gerçek ölçümler ile uyumu, Şekil 3 de gösterilmiştir. Toplam kalınlık ile herbir çökme dönemindeki, çökel kalınlıkları için ayn ayn hesaplanan değerlerle, gerçek değerler arasındaki sapma % 2 den küçük bulunmuştur. Kandilli 23 kuyusunda ölçülmüş sıcaklık değerleri olmadığından, denştirme amacıyla, bölgesel jeotermik gradyan kullanılmıştır. Vitrinit yansıması değerlerinin hesaplanmasında Waples (37) m yönteminden yararlanılmıştır. Tüm bu parametreler için kabul edilebilir bir uyum sağlandığından, modellemenin gerçeğe uygun bir şekilde yapıldığı sonucuna varılmış ve model sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasına gelinmiştir.

3.1. Değerlendirme ve Yorum

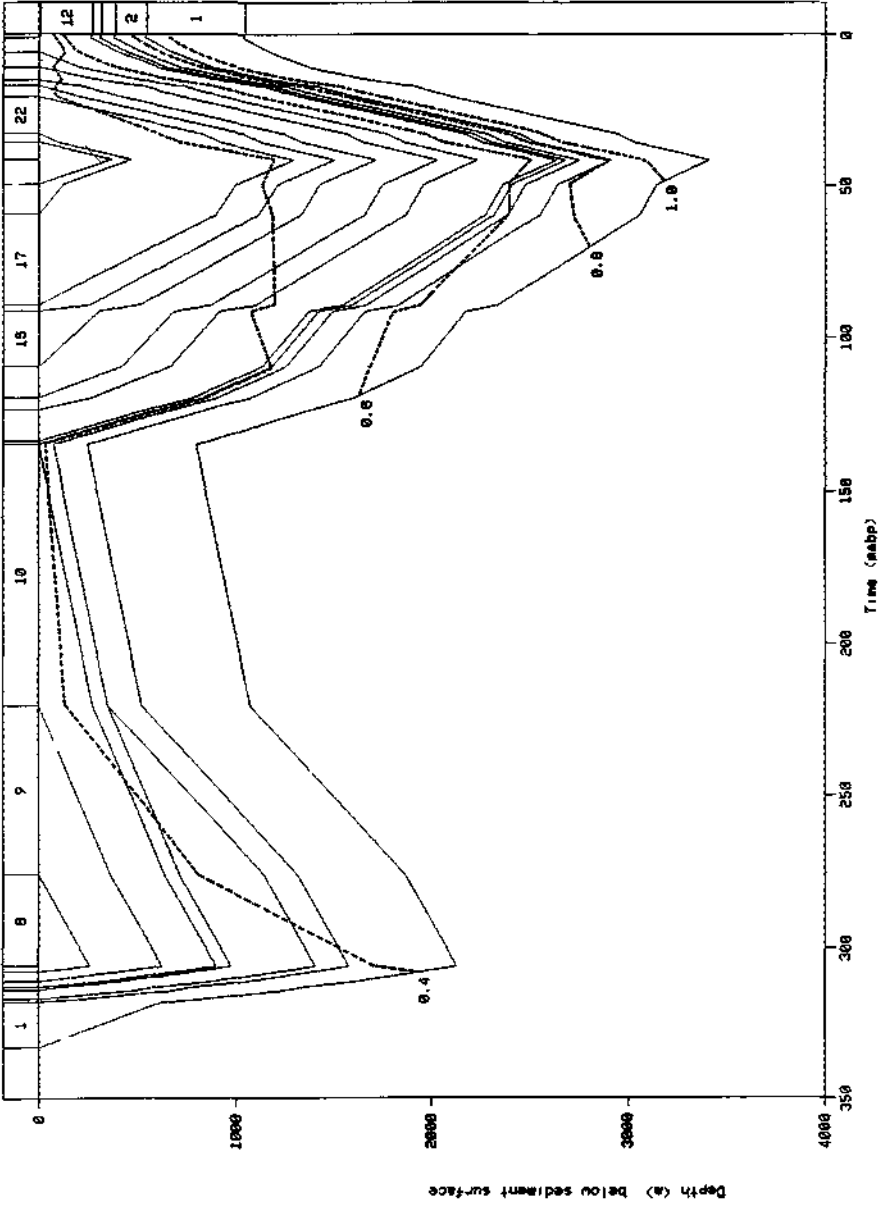
Armutçuk yöresindeki Karbonifer istifinin modellenmesi, günümüzden 333 milyon yıl önce (mybp) başlatılmıştır. Yörede 2 çökme (Karbonifer, Hauteriviyan-Lütesiyen) ve 2 aşınma dönemi (Erken Stefaniyan-Hauteriviyan, Lütesiyen-Kuvaterner) vardır, ilk çökme dönemi Vestfaliyen C sonuna kadar (308 mybp) sürmüş ve bu dönemin sonunda Alacağzı formasyonunun taban 2200 m derinliğe kadar gömülmüştür (Şekil 4). Daha sonradan aşındındığı için, bugün kuyuda görülmeyen Vestfaliyen B ve C birimlerinin de gömülmede etkisi olmuştur. Vestfaliyen D den başlayarak Hauteriviyan'e kadar süren (306-135 mybp) aşınma döneminde sırasıyla, Vestfaliyen C ve B birimleri tümüyle, Vestfaliyen A biriminin ise 250 m lik bir kesimi aşındınmıştır. Aynı dönemde, bir faylanma sonucu oluşan atımla, kuyudaki Vestfaliyen A nın kalınlığı 400 m azalmıştır. Böylece 800 m derinliğe kadar yükselen istifin tabanı, Hauteriviyan'de başlayan yeni bir çökme dönemi ile birlikte hızla gömülmüştür. Çökme, günümüzden 42 milyon yıl öncesine (Lütesiyen sonu) kadar kesiksiz olarak



Şekil 2. Kandilli 23 kuyusunun modeUamonde kullanılan artı venkgıaden çökelle hızı (Sedimentation Rate), su derınlı (Water Depth), dam abanı sıcaklığı (SWI Temperature) ve m abanın (Heat Flow) zamanı bağı değışımen.



Şekil 3. Kandılı-23 kuyusunun modeDenmesi sonucunda hesaplanmış sıcaklık (temperature) ve vitranı yansıması (vitrinite reflectance) değerıennı, kuyuda ölçülmüş değerlerle karşılaştırılması ölçülmüş değerler dam, modeUeme sonucu buluan değerler ise bir doğruyla gösterılmıştır



Şekil 4. Kandilli-23 kuyusu modelleme sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan düzeltilmiş gömülme diyagramı (corrected burial history). Düzeltmeler, birimlerin çökmesi sırasındaki kalınlık değişimlerinin gözütümesiyle yapılmıştır. Şekille, vitrit yansıması (vitrinite reflectance) eşdeğer eğrileri yardımıyla, olgunlaşmanın zaman ve uzay boyutundaki değişimleri de gösterilmiştir.

sürmüş ve bunun sonucunda maksimum gömülme derinliği olan 3400 m ye ulaşmıştır (Şekil 4). Hauteriviyan ile Lütésiyan döneminde çökemiş, İnaltı formasyonu dışındaki diğer bütün birimler tümüyle aşındırılmış olduklarından, bunların kalınlıkları kavramsal modelin kalibrasyonu aşamasında saptanmıştır (Çizelge 1). Alpin orojenize bağlı olarak, Neotetis'in Paleosen-Eosende kapanmasıyla (12,13) birlikte başlayan yükselme ve aşınma dönemi, Kuvaterner'e kadar sürmüş ve istifin tabanı, günümüzde 1000 m derinliğe kadar yükselmiştir.

Karbonifer yaşlı birimlerin kömürleşme dereceleri, yukarıda özetlenen gömülme evriminin neden olduğu sıcaklık artışı ile zamanın ortak etkisi sonucunda belirlenmiştir. Sıcaklık artışı, aynı zamanda ısı akısı ve deniz tabanı sıcaklıkları ile denetlendiğinden, bu parametreler için yapılan kestirimlerin kavramsal modelin kalibrasyonu sonucunda kesinleştirilmiş değerleri Şekil 2 de gösterilmiştir. Namuriyan, Vestfaliyan A ve B dönemlerinde, pasif bir kıta kenarındaki koşulların sonucu olan oldukça düşük ($1.10 \text{ HFU} \sim 46 \text{ mW/m}^2$) ısı akısı değerleri, çarpışma, yükselme ve bunlara eşlik eden volkanizmanın da etkisiyle, dereceli olarak 1.20 HFU e kadar yükselmiş ve bu değerini 135 milyon yıl öncesine (Hauteriviyan) kadar korumuştur. Önce havzayı etkileyen gerilme tektoniği (12-14,25-27), daha sonra ise gelişen ada yayı volkanizması (14,25,29) sonucunda, 92 milyon yıl önce (Scnomaniyan) 1.35 HFU lik bir maksimuma ulaşılmış ve bu 50 milyon yıl öncesine (Lütésiyan) kadar etkili olmuştur. ısı akısı değerleri daha sonra azalmaya başlamış ve günümüzde ki 1.25 HFU lık (52.3 mW/m^2) değerine ulaşmıştır (Şekil 2). Deniz tabamtyüzey sıcaklıklarının ise paleoiklim ve su derinliğinin ortak etkisi sonucu 33 milyon yıl öncesine kadar $28-21^\circ\text{C}$ arasında dalgalandığı, daha sonra ise azalarak günümüzde 13°C e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 2).

Modelleme sonucunda kömürleşmenin (olgunluk) evrimi de hesaplanmıştır. Şekil 4 deki gömülme diyagramında olgunluk eşdeğer eğrileri yardımıyla, bu evrimin zaman ve mekandaki gelişmesi gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi olgunluk değerlerindeki ilk belirgin artış Karboniferdeki çökme döneminde meydana gelmiştir. Bununla birlikte istifin tabanında bile % 0.6 Rm lık vitrinit yansıması değerlerine bu dönemde ulaşamamıştır. Ancak, ikinci çökme dönemindeki gömülme ve ısı akısındaki artış, % 1.00 Rm lık vitrinit yansıması değerinin aşılmasını sağlamıştır. Günümüzde, Kandilli-23 kuyusundaki Karbonifer istifinin olgunluğunun, herbir birimin orta kesimi için hesaplanmış vitrinit yansıması değerleri gözetildiğinde, % 0.7-1.18 Rm arasında değiştiği görülür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda Zonguldak Havzası'nın Armutçuk bölgesinde, Karbonifer istifinin jeolojik evrimi bilgisayar destekli modelleme yöntemiyle sayısal olarak saptanmıştır. Modelleme, bölgesel jeoloji ve Kandilli-23 kuyusundan derlenmiş verilerin mantıksal bir bütünlük içinde kullanılmasını sağlamıştır. Havzanın gelişim süreci için hazırlanmış olan kavramsal modelin

kalibrasyonu sonucu aşındırılmış birimlerin orjinal kalınlıkları ile ısı akısı ve yüzey/deniz tabam sıcaklıktan gerçeğe uygun olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle aynı zamanda kömürlü birimlerin olgunluğu da hesaplanabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, yapılan modelleme sadece bir kuyu için geçerli olduğundan tüm havza için genelleştirilmemelidir. Modellenen kuyu sayısı artırılarak, sonuçların havzanın tümü için geçerliliğini sağlamak olanaklıdır. Bu yöndeki çalışmalar sürdürülmektedir.

KAYNAKLAR

1. 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.
2. JÜNTGEN, H. **and van HEEK, KJEL, 1968**, Gas release from coal as a function of rate of heating, Fuel, Vol.47, p.103-117.
3. UNGERER, P, **and PELET, R., 1987**, Extrapolation of the kinetics of oil and gas formation from laboratory experiments to sedimentary basins, Nature, Vol.327, p.52-54.
4. 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.
5. YALÇIN, M.N, **and WELTE, D.H., 1988**, The thermal evolution of sedimentary basins and significance for hydrocarbon generation, Bull. Türk. Pet. Geol., Vol.1, No.1, p.12-26.
6. WELTE, D.H., **and 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.
7. WELTE, D.H., **and YÜKLER, MA, 1981**, Petroleum origin and accumulation in basin evolution-a quantitative model, Am.Assoc.Pet.Geol.Bull., Vol.65, p.1387-1396.
8. YALÇIN, M.N., **1991**, Basin modeling and hydrocarbon exploration, J.PetSci.Eng., 5:379-398.
9. **TES, 1988**, PDI-PACK Integrated Basin Modeling, Simulation Programme, Volume II, Theoretical Aspects Version 2.0: IES Gesellschaft für integrierte Explorationssysteme mbH, Jülich.
10. DERMAN, A.S., **1984**, Development of Carboniferous clastic sequence in western Black Sea region, Petrol İşleri Genel Md. Dergisi, s.208-220, Ankara.

11. KEREY, I.E., **1985**, Facies and tectonic setting of the Upper Carboniferous rocks of Northwestern Turkey: in Dixon J.E. and Robertson A.H.F. (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Special Publication of the Geological Society No. 17, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
12. ŞENGÖR, A.M.C., **1984**, The Çimmende orogenic system and the tectonics of Eurasia, G.S.A. special paper, p. 195.
13. ŞENGÖR, A.M.C., YILMAZ, Y., KETİN, İ., **1980**, Remnants of a pre-late Jurassic ocean in Northern Turkey: Fragments of Permian-Triassic Palaeo-Tethys, Bull. Geol. Soc. America, part 1, v.91, p. 599-609.
14. ŞENGÖR, A.M.C., YILMAZ, Y., **1981**, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectono-physics, v.75, p. 181-241.
15. PATİJN, R.S.H., **1953/54b**, Kandilli-Armutçuk bölgesinin jeolojisi, Maden Dergisi, sayı 20-21, s. 1, Ankara.
16. TOKAY, M., **1954/55**, Filyos Çayı Ağa-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma bölgesinin jeolojisi, M.T.A. Dergisi, sayı 46/47, s. 58, Ankara.
17. TOKAY, M., **1962**, Amasra bölgesinin jeolojisi ve Karbonifer'de gravite yoluyla bazı kayma olayları, M.T.A. Dergisi, sayı 58, s. 1, Ankara.
18. ÖZKOÇAK, O., KONYALI, Y., ŞENTÜRK, L., **1978**, Kuzeybatı Anadolu taşkömürü havzasına genel bakış, Türkiye 1. Kömür Kongresi, s. 167, Zonguldak.
19. AYDIN, M., ŞAHİNTÜRK, Ö., Akçakoca doğusu-Ereğli batısındaki (Kaplıdere-Orhandağ) Paleozoyik yaşlı birimlerin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, T.P.A.O. Rap.no. 1947, Ankara.
20. PATİJN, R.S.H., **1953/54**, Şimali Anadolu kömür havzası Zonguldak-Kozlu sahası jeolojisi, M.T.A. Dergisi, sayı 20-21, s. 1-10, Ankara.
21. BAYRAMGİL, O., **1951**, Zonguldak havzasında petrografik incelemeler, T.J.K. Bülteni, dil 1, sayı 1, s. 97, Ankara.
22. DERMAN, A.S., **1990a**, Faylı basen kenarındaki sedimantasyon, Batı Karadeniz'de Kretaseden bir örnek, Türkiye 8. Petrol Kongresi, s.314-321, Ankara.
23. DERMAN, A.S., **1990b**, Batı Karadeniz bölgesinin geç Jura ve erken Kretase'deki jeolojik evrimi, Türkiye 8. Petrol Kongresi, s.328-339, Ankara.
24. YILMAZ, Y., TÜYSÜZ, O., **1988**, Kargı masifi ve dolaylarında Mesozoyik tektonik birliklerinin düzenlenmesi sorununa bir yaklaşım, TPJD Bülteni, no:1/1, s.73-86, Ankara.

25. TÜYSÜZ, O., 1990a, Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: The Kargı massif, Northern Turkey, *Tectonics*, v.9, p.141-160.
26. GÖRÜR, N., ŞENGÖR, A.M.C., AKKÖK, R, YELMAZ, Y, 1983, Pontidlerde Neotetis'in açılmasına ilişkin sedimantolojik veriler, *T.J.K. Bülteni*, c. 26, sayı 1, s. 11-20, Ankara.
27. GÖRÜR, N., 1988, Timing of opening of the Black Sea basin, *Tectonophysics*, v.14, p.247-262.
28. TOKAY, M., 1952, Karadeniz Ereğlisi-Alaph-Kızütepe-Alacağzı bölgesinin jeolojisi, *M.T.A. Dergisi*, no.42/43, Ankara.
29. TÜYSÜZ, O, 1990b, Orta Pontidlerde Üst Jura-Alt Kretase stratigrafisi ve tektonik anlamı, Türkiye 8. Petrol Kongresi, s. 340-348, Ankara.
30. BURKAN, KA., ŞAHİNTÜRK, Ö., YAZMAN, M, 1982, Ereğli-Kozlu-Yıpca alanının jeolojisi, T.P.A.O. Rap. no.1537, Ankara. ->
31. AKARTUNA, M., 1962, Çaycuma-Devrek-Yenice-Kozcağz Bölgesinin Jeolojisi, İ.Ü. Fen Fak. Mong. s:17, 58 s.
32. YÜKLER, MA, KOKESH, F, 1984, A review of models in petroleum resource estimation and organic geochemistry: in J.Brooks and D.H.Weite (eds.), *Advances in Organic Geochemistry*, v.1, p.69-113.
33. WELTE, D.H., YALÇIN, M.N, 1985, Formation and occurrence of petroleum in sedimentary basins as deduced from computer-aided basin modelling: International Conference on Petroleum Geochemistry and Exploration in the Afro-Asian Region, Dehra Dun, Key Note Papers, p.1-21.
34. HARBOUGH, J.W, BONHAM-CARTER, GJ"., 1970, *Computer Simulation in Geology*, John Wiley and Sons, 575 pp., New York.
35. FRAKES, LA, 1979, *Climates Throughout Geological Time*: Elsevier, 310 p., Amsterdam.
36. HABICHT, J.K.A, 1979, Paleoclimate, paleomagnetism, and continental drift, *AAPG Studies in Geology*, no. 9, 31 pp.
37. WAPLES, D.W, 1980, Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration, *Bull. Am. Assoc. Pet Geol.* 64, 916-926.