



Paleozoyik Yaşlı Sedimanter İstiflerin Diyajenez/Metamorfizma  
Özelliklerinin Organik Madde Yansıması ve Grafitleşme Derecesi  
Yöntemiyle Belirlenmesi

**Program Kodu: 1002**

**Proje No: 115Y420**

Proje Yürütücüsü:  
**Prof. Dr. Ömer BOZKAYA**

Araştırmacılar:

Prof. Dr. Mehmet Cemal GÖNCÜOĞLU

Bursiyerler:

İrem GANİZ

AĞUSTOS 2016  
DENİZLİ

## ÖNSÖZ

Projede Paleozoyik yaşlı sedimanter kayaçların diyajenez/metamorfizma derecesinin dokusal ve mineralojik verilerin yanı sıra organik petrografik yöntemlerle belirlenerek denştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Toros Kuşığı ve İstanbul-Zonguldak Birliğı Paleozoyik istiflerinde organik madde (bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, vitrinit ve graptolit) içeren örnekler üzerinde organik petrografik ve organik madde zenginleştirilmesi yapılan örneklerde X-ışınları kırınımı yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular dokusal ve mineralojik verilere uygun biçimde artan sıcaklık ve basınçla birlikte, organik madde yansıma ( $R_{max}$  %) değerlerinin ve çift yansıma ( $R_{max}-R_{min}$ ) arttığını ortaya koymuştur. Grafitleşme derecesi, inorganik verilerle uyumlu biçimde alternatif bir olgunlaşma parametresi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Yüksek yansıma değerlerine sahip büyük ölçüde detritik kökenli grafitleşmiş organik maddeler de saptanmış olup, yüksek dereceli kaynak bölgeye işaret etmektedir. Projeden elde edilen bulgu ve sonuçlar; özellikle yaşlı sedimanter havzaların jeolojik evriminin ortaya konulmasında organik petrografik çalışmaların inorganik parametreler kadar önemli olduğunu ve doğru yorumların inorganik ve organik verilerin birlikte kullanılmasıyla mümkün olabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma 115Y420 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

|  |    |
|--|----|
| ÖNSÖZ  | 2  |
| ÇİZELGE LİSTESİ  | 4  |
| ŞEKİL LİSTESİ  | 6  |
| ÖZET   | 10 |
| ABSTRACT   | 11 |
| 1. GİRİŞ   | 12 |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM  | 17 |
| 2.1. Arazi Çalışmaları   | 17 |
| 2.2. Örnek Hazırlama   | 17 |
| 2.2.1. Kırma-Öğütme  | 17 |
| 2.2.2. İnce-kesit ve parlatılmış blokların hazırlanması                    | 17 |
| 2.2.3. Kil ayırma  | 18 |
| 2.2.4. Organik madde zenginleştirme  | 18 |
| 2.3. Laboratuvar İncelemeleri  | 18 |
| 2.3.1. Optik mikroskopi  | 18 |
| 2.3.2. Organik petrografi  | 18 |
| 2.3.3. X-Işınları Kırınımı (XRD)   | 19 |
| 3. STRATİGRAFİ VE LİTOLOJİ   | 20 |
| 3.1. Litostratigrafi Birimleri   | 20 |
| 3.1.1. İstanbul-Zonguldak Birliği  | 20 |
| 3.1.2. Toridler  | 24 |
| 3.1.3. GD Anadolu Otoktonu   | 28 |
| 4. MİNERALOJİ-PETROGRAFİ   | 31 |
| 4.1. Mineraloji  | 31 |
| 4.1.1. İstanbul-Zonguldak Birliği  | 31 |
| 4.1.2. Doğu Toros Otoktonu   | 32 |
| 4.1.3. GD Anadolu Otoktonu   | 33 |
| 4.2. Petrografi  | 33 |
| 4.2.1. İstanbul-Zonguldak Birliği  | 33 |
| 4.2.2. Doğu Toros Otoktonu   | 35 |
| 4.2.3. GD Anadolu Otoktonu   | 35 |
| 5. ORGANİK MADDE YANSIMASI   | 39 |
| 5.1. İstanbul-Zonguldak Birliği  | 39 |
| 5.2. Doğu Toros Otoktonu   | 46 |
| 5.3. GD Anadolu Otoktonu   | 59 |
| 6. GRAFİTLEŞME DERECESESİ  | 62 |
| 7. TARTIŞMA VE YORUM   | 66 |
| 7.1. Yansıma Verilerinin Organik Madde Türlerine Göre Dağılımı             | 66 |
| 7.2. Yansıma Anizotropisi (Çift Yansıma)                                   | 67 |
| 7.3. Organik Madde Yansıma Verilerinin Düşey Dağılımı                      | 68 |
| 7.4. Organik Madde Yansıma ve Kübler İndeksi Verilerinin Karşılaştırılması | 74 |
| 8. SONUÇLAR  | 75 |
| 9. KAYNAKLAR   | 77 |

**ÇİZELGE LİSTESİ**

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Çizelge 1.  | Diyajenez – Ankizon ve Ankizon – Epizon sınırlarına karşılık gelen ortalama Rm (%) değerleri   | 14 |
| Çizelge 2.  | Organik madde yansımaları incelemeleri yapılan örneklerin mineralojik özellikleri (Bozkaya ve diğ., 2012a ve b)  | 39 |
| Çizelge 3.  | Zonguldak Birliği Ordoviziyen yaşlı Karadere formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-28) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı   | 40 |
| Çizelge 4.  | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli siltli şeyl örneğinin (IZP-147) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı   | 41 |
| Çizelge 5.  | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-148) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 41 |
| Çizelge 6.  | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli siltli şeyl örneğinin (IZP-150) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı   | 42 |
| Çizelge 7.  | Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait silttaş örneğinin (OMP-34) migra bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı   | 43 |
| Çizelge 8.  | Zonguldak Birliği Devoniyen yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-220) vitrinit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 44 |
| Çizelge 9.  | Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait karbonatlı kumtaş örneğinin (OMP-31) bitüminit ve vitrinit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı   | 44 |
| Çizelge 10. | Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait kireçtaş örneğinin (OMP-33) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 45 |
| Çizelge 11. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen (Tremadosiyen) yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-8) graptolit, vitrinit benzeri bitüminit, alginit ve detritik grafitleşmiş organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı | 49 |
| Çizelge 12. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit, vitrinit benzeri organik madde ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                                  | 50 |
| Çizelge 13. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit, vitrinit benzeri organik madde ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                                  | 51 |
| Çizelge 14. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-12) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                                     | 52 |
| Çizelge 15. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-13) bitüminit/vitrinit benzeri bitüminit, alginit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                             | 53 |
| Çizelge 16. | Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptolitli siltli şeyl örneğinin (OMP-17) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit, alginit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 54 |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Çizelge 17. | Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli siltaşı örneğinin (TSR-281) organik madde yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                                    | 55 |
| Çizelge 18. | Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait organik maddeli dolomitik kireçtaşı örneğinin (OMP-24) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 56 |
| Çizelge 19. | Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait dolomitik kireçtaşı örneğindeki (OMP-28) organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 57 |
| Çizelge 20. | Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait dolomitik kireçtaşı örneğindeki (OMP-29) organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı  | 57 |
| Çizelge 21. | Doğu Toros Otoktonu Karbonifer yaşlı Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP-4) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı     | 58 |
| Çizelge 22. | Doğu Toros Otoktonu Karbonifer yaşlı Ziyarettepe Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (TSR-525) liptinit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı                            | 58 |
| Çizelge 23. | Doğu Toros Otoktonu Permiyen yaşlı Yığıltepe Formasyonuna ait organik maddeli kireçtaşı örneğinin (OMP-1) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı | 60 |
| Çizelge 24. | Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe ve Yukarıyayla formasyonlarına ait organik maddece zengin örneklerden zenginleştirilen organik maddelerin grafit d002 piklerine ait ölçüm sonuçları       | 64 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Şekil 1.  | Türkiye'nin Alpin ve Alpin-öncesi bölgelerinin dağılımı (Göncüoğlu vd., 1997; 1-Senozoyik örtü, 2- Istranca terrane, 3- İstanbul-Zonguldak Birliği, 4- Sakarya Kompozit Birliği, 5- Ofiyolit, 6-Kütahya-Bolkardağı Kuşağı, 7- Menderes Masifi ve Orta Anadolu Kristalin Kompleksi, 8-Toridler, 9-Bitlis Pötürge Masifi, 10-Güneydoğu Anadolu Otoktonu)       | 13 |
| Şekil 2.  | Vitrit, inertit ve liptit yansımalarının kömürleşme derecesine göre farklı yönelimi (Teichmüller, 1987).   | 13 |
| Şekil 3.  | Metapelitlerde litoloji, mikrofabrik, fillosilikatların kristalkimyası ve reaksiyon süreçleri, organik olgunlaşma indeksleri ve evreleri arasındaki ilişkiler (Merriman ve Frey, 1999 ve Merriman ve Peacor, 1999'dan düzenlenmiştir)  | 15 |
| Şekil 4.  | Türkiye'deki Alpin tektonik birliklerin genelleştirilmiş kesitleri (Göncüoğlu ve diğ., 1997; Göncüoğlu, 2010)  | 21 |
| Şekil 5.  | İstanbul-Zonguldak Birliği'nin coğrafik dağılımı, jeoloji haritası (Gedik ve diğ., 2005; Bozkaya ve diğ., 2012a) ve örnek lokasyonları   | 22 |
| Şekil 6.  | İstanbul ve Zonguldak birliklerinin genelleştirilmiş litostratigrafik kesitleri (Bozkaya ve diğ., 2012 b)  | 23 |
| Şekil 7.  | Zonguldak Birliği Paleozoyik istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Gedik ve diğ., 2005; Bozkaya ve diğ., 2012a) ve organik maddeli kayaç içeren seviyelerin görünümü   | 23 |
| Şekil 8.  | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Permiyen yaş aralığına sahip, organik madde içeren formasyonların görünümü ve örnek lokasyonları (RFM=Rafael Ferreiro Mahlmann, MCG=Mehmet Cemal Göncüoğlu)  | 25 |
| Şekil 9.  | Doğu Toros Otoktonu tipik yüzeylemelerinin yer bulduru, jeoloji haritası (Metin ve diğ., 1990'dan düzenlenmiştir) ve örnek lokasyonları.   | 26 |
| Şekil 10. | Doğu Toros Otoktonu istifini oluşturan litolojilerin dikey dağılımı (Bozkaya ve diğ., 2002'den düzenlenmiştir) ve organik maddece zengin örnekleme lokasyonları.   | 27 |
| Şekil 11. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Permiyen yaş aralığına sahip, organik madde içeren formasyonların görünümü ve örnek lokasyonları   | 29 |
| Şekil 12. | Hazro bölgesi GD Anadolu Otoktonunun jeoloji haritası (MTA, 2002; Bozkaya ve diğ., 2009b)  | 30 |
| Şekil 13. | Hazro Antiklinali görünür otokton istifinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Bozkaya ve diğ., 2009b)   | 30 |
| Şekil 14. | İstanbul-Zonguldak Birliği kayaçlarında tabakalanma düzlemlerine paralel opak görünümlü organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Metaşeyl (Karadere Formasyonu), (c-d) Metaşeyl (Fındıklı Formasyonu), (e-f) Siltli şeyl (Yılanlı Formasyonu), (g-h) Şeyl (Trakya Formasyonu).  | 34 |
| Şekil 15. | Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Silüriyen kayaçlarında tabakalanma düzlemlerine paralel organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Sleyt (Seydişehir Formasyonu), (c-f) Metasiltaşı (Seydişehir Formasyonu), (g-h) Siltaşı (Puşçu Tepe Formasyonu).   | 36 |
| Şekil 16. | Doğu Toros Otoktonu kayaçlarında Silüriyen-Devoniyen kayaçlarında tabakalanma düzlemlerine paralel organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Şeyl (Puşçu Tepe Formasyonu), (c-d) Siltli şeyl (Ayitepesi Formasyonu), (e-f) Kalkşeyl (Gümüşali Formasyonu), (g-h) Kireçtaşı (Şafaktepe Formasyonu).                                     | 37 |
| Şekil 17. | Şekil 17. Organik maddeli örneklerde demir mineralleri (sol: çift nikol, sağ: tek nikol). (a-b) Metaşeyl örneğinde framboyidal pirit toplulukları (Fındıklı Formasyonu, Zonguldak Birliği), (c-d) Siltli şeyl örneğinde pirit ve götit toplulukları (Ayitepesi Formasyonu), (e-h) Karbonatlı kumtaşı örneğinde hematit ve götitler (Ziyarettepe Formasyonu). | 38 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Şekil 18. | Zonguldak Birliği Ordoviziyen yaşlı Karadere formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-28) graptolit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı   | 40 |
| Şekil 19. | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-147) graptolit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 41 |
| Şekil 20. | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-148) graptolit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 42 |
| Şekil 21. | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-150) graptolit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 42 |
| Şekil 22. | Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli silttaş örneğinin (OMP-34) migra bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı   | 43 |
| Şekil 23. | Zonguldak Birliği Devoniyen yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-220) vitrinit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 44 |
| Şekil 24. | Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli karbonatlı kumtaşı örneğinin (OMP-31) vitrinit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 45 |
| Şekil 25. | Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli karbonatlı kumtaşı örneğinin (OMP-33) vitrinit benzeri bitüminit ve bitüminit Rmax (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı  | 45 |
| Şekil 26. | Seydişehir (OMP-8-13) ve Şafaktepe Formasyonu (OMP-24) örneklerinin parlatılmış kesitlerinde belirlenen organik madde türleri. (a) Grafitleşmiş ve zigzag kıvrımlı detritik grafitleşmiş vitrinit benzeri organik madde, (b) Graptolit, (c) İri detritik vitrinit benzeri organik madde, (d) İnce, bükülmüş ve grafitleşmiş vitrinit benzeri organik madde, (e) Bitüm, (f) Vitrinit benzeri bitüminit, (g) Alginit, (h) Vitrinit benzeri bitüminit, (i) Alginit ve detritik organik madde, (j) Vitrinit benzeri bitüminit, (k) Bozuşmuş/oksidlenmiş (decomposed) bitüm, (l) İnertinitik bitüminit.          | 46 |
| Şekil 27. | Ziyarettepe Formasyonu dolomit örneğinin parlatılmış kesitinde yansıma ölçümleri yapılan organik madde türleri. (a) İnert fusinit ve bitüm dolgusu, (b) Bitüm, inert bitüm ve bozuşmuş/oksidlenmiş bitüm birlikteliği, (c) Vitrinit benzeri bitüminit ve framboyidal piritler, (d) Alginit görünümlü bitüm ve framboyidal piritler, (e) İri bitüm ve taze framboyidal piritler, (f) İri, bükülmüş, grafitleşmiş vitrinit benzeri detritik organik madde, (g) Alginit görünümlü bitüm topluluğu, (h-i) İri masif bitüm ve framboyidal piritler, (j) Alginit topluluğu, (k) İnert fusinit ve bitüm dolguları. | 47 |
| Şekil 28. | Doğu Toros Otoktonu Yiğiltepe Formasyonu (OMP-1), İstanbul-Zonguldak Birliği Yılanlı Formasyonu (OMP-33) ve Fındıklı Formasyonu (OMP-34) parlatılmış kesit örneklerinde belirlenen organik madde türleri. (a) Vitrinit benzeri bitüm ve taze (oksidlenmemiş) piritler, (b-c) İri masif bitümler, (d) Bükülmüş, grafitleşmiş detritik organik madde, inertinit ve framboyidal piritler, (e) Alginit ve framboyidal piritler, (f-g) Bozunmuş/oksidlenmiş (decomposed) bitüm, (h-j) Migrabitüm ve taze piritler, (k) Bozunmuş/oksidlenmiş (decomposed) migrabitüm ve taze piritler.                            | 48 |
| Şekil 29. | Parlatılmış bloklarda demirsülfür ve demiroksit minerallerinin görünümü. (a-e) Seydişehir (OMP-8 ve OMP-11) ve Ziyarettepe (OMP-4) formasyonlarında belirlenen iyi korunmuş, taze (oksidlenmemiş) özşekilli ve framboyidal pirit toplulukları, (h) Mineral dilinim ve çatlaklarında gelişen hematitler.   | 49 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Şekil 30. | Seydişehir Formasyonuna ait sleyt örneğinin (OMP-8) graptolit, vitrinit benzeri bitüminit ve alginit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 50 |
| Şekil 31. | Seydişehir Formasyonuna ait sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit ve vitrinit benzeri bitüminit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 51 |
| Şekil 32. | Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-11) bitüminit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 51 |
| Şekil 33. | Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-12) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 52 |
| Şekil 34. | Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-13) vitrinit benzeri bitüminit ve alginit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 53 |
| Şekil 35. | Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptolitli siltli şeyl örneğinin (OMP-17) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit ve alginit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 54 |
| Şekil 36. | Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptolitli siltli şeyl örneğinin (TSR-281) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit ve alginit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 55 |
| Şekil 37. | Şafaktepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP-24) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 56 |
| Şekil 38. | Şafaktepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneklerinin (OMP-28 ve 29) migrabitüminit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.  | 57 |
| Şekil 39. | Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP4) migrabitüminit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 58 |
| Şekil 40. | Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü organik maddeli şeyl örneğinin (TSR-525) liptinit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit $R_m$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 59 |
| Şekil 41. | Doğu Toros Otoktonu Permiyen yaşlı Yığıltepe Formasyonuna ait organik maddeli dolomit örneğinin (OMP-1) vitrinit ve bitüminit $R_{max}$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 60 |
| Şekil 42. | a) Kaş Formasyonu'na ait kömür örneği (DBH-42) ve b) Dadaş Formasyonu'na ait şeyl örneğindeki (MDK-89) maserallerin mikroskop görüntüleri  | 60 |
| Şekil 43. | GD Anadolu Otoktonu Permiyen yaşlı kömür (DBH-42) ve Silüriyen-Devoniyen yaşlı şeyl örneğinin (MDK-89) vitrinit $R_m$ (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.   | 61 |
| Şekil 44. | Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait örneğin (TTB-281) grafit d(002) pikinin farklı parametrelere göre ölçülen Å değerleri   | 62 |
| Şekil 45. | Doğu Toros Otoktonu istifinden alınan organik maddeli örneklerin tüm kayaç ve organik madde fazlarının XRD desenleri (OM=Organik madde, Grp=Grafit, St=Silikat tuzları, Kal=Kalsit, Dol=Dolomit, Qtz=Kuvars, Chl=Klorit, Ill=İllit).                             | 64 |
| Şekil 46. | İstanbul-Zonguldak Birliği istifinden alınan organik maddeli örneklerin tüm kayaç ve organik madde fazlarının XRD desenleri (OM=Organik madde, Grp=Grafit, St=Silikat tuzları, Kal=Kalsit, Dol=Dolomit, Qtz=Kuvars, Chl=Klorit, Ill=İllit).                      | 65 |
| Şekil 47. | İstanbul-Zonguldak Birliği (IZP) ve Doğu Toros Otoktonu (OMP, TTB, TSM, KS) Paleozoyik istifine ait grafitlerin d(002) piki ve kristalit büyüklüğü arasındaki ilişkiler (TTB, TSM, KS simgeli örnekler Bozkaya, 1995 ve Bozkaya ve Yalçın, 1998'den alınmıştır). | 65 |
| Şekil 48. | Organik madde türlerine göre yansıma verilerinin korelasyonu. a) Vitrinit-bitüminit, b) Vitrinit benzeri bitüminit-bitüminit, c) Graptolit-bitüminit   | 66 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Şekil 49. | a) Çift yansıma değerlerinin artan Rmax değerleriyle artışı, b) Vitrinit ve vitrinit benzeri bitüminitlerin minimum, maksimum ve ortalama yansıma değerlerinin birimlere göre dağılımları.   | 67 |
| Şekil 50. | Zonguldak Birliği Çatak kesiti istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).   | 69 |
| Şekil 51. | Zonguldak Birliği Karadere–Ovacık-Karasu kesitleri birleşik istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).  | 70 |
| Şekil 52. | Zonguldak Birliği Karasu-Yayladere-Madendere kesitleri birleşik istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).  | 71 |
| Şekil 53. | Doğu Toros Otoktonu istifi mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2002 ve Bozkaya ve Yalçın, 2004'ten düzenlenmiştir).   | 72 |
| Şekil 54. | Hazro antiklinali GD Anadolu Otoktonu istifi mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Bozkaya ve diğ., 2009'dan düzenlenmiştir).  | 73 |
| Şekil 55. | Ölçülen tüm örneklerdeki farklı maserallerin organik madde yansıması Rmax (%) verileri ile Kübler İndeksi verilerinin korelasyonu (Jeotermal gradyan çizgileri Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012 ve Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016'dan alınmıştır). | 74 |

## ÖZET

Projede Paleozoyik yaşlı sedimanter kayaçların diyajenez/metamorfizma derecesinin organik petrografik yöntemlerle belirlenmesi ve dokusal-mineralojik verilerle denştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Türkiye'nin Paleozoyik sedimanter istifler içeren farklı tektonostratigrafik birliklerinden (İstanbul-Zonguldak Birliği, Toridler/Doğu Toros Otoktonu, GD Anadolu Otoktonu) alınan Ordovisiyen-Permiyen yaş aralığına sahip organik maddece zengin örnekler üzerinde organik petrografik (organik madde yansıması) ve X-ışınları kırınımı (XRD) incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Organik madde (vitrinit, vitrinit benzeri bitüminit, bitüminit ve graptolit) yansıma değerleri; İstanbul-Zonguldak Birliği Silüriyen-Karbonifer istifi için bitümlü kömür-antrasit (%  $R_{max} = 0.67-3.61$ ); Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen-Permiyen istifi için yüksek uçuculu bitümlü kömür-antrasit/metaantrasit (%  $R_{max} = 1.02-6.05$ ), GD Anadolu Otoktonu Silüriyen-Permiyen istifi için yarı bitümlü kömür-düşük uçuculu bitümlü kömür (%  $R_m = 0.55-1.75$ ) evrelerini yansıtmaktadır. Organik madde yansıma değerleri dokusal ve mineralojik verilere uyumlu biçimde artan sıcaklık ve basınçla birlikte yaşlı birimlere doğru artmaktadır. Organik madde yansıma verilerindeki ani değişimler, sedimanter istifteki daha önceki orojenik olayları da (diyajenetik/metamorfik boşluk) işaret etmektedir. Çift yansıma ( $R_{max}-R_{min}$ ) değerleri antrasitik evreye sahip örneklerde artmakta, sleyt klivajlı örneklerde maksimuma ulaşmaktadır.

Elde edilen bulgu ve sonuçlar; yaşlı ve kalın sedimanter havzaların jeolojik evriminin ortaya konulmasında organik petrografik çalışmaların inorganik parametreler kadar önemli olduğunu ve en sağlıklı yorumların inorganik ve organik verilerin birlikte kullanılmasıyla mümkün olabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Paleozoyik, sedimanter istif, organik madde yansıması, vitrinit, bitüm, grafitleşme, kömürleşme derecesi (rank)

## ABSTRACT

In the project, it is aimed to determine diagenesis/metamorphism degrees of Paleozoic aged sedimentary rocks by the organic petrographic methods and to correlate with textural-mineralogical data. In this context, organic petrographic (organic matter reflectance) and X-ray diffraction (XRD) investigations were made on the organic matter-rich samples with Ordovician-Permian age taken from different tectono-stratigraphic units (Istanbul-Zonguldak Terranes, Taurides/Eastern Tauride Autochthon, SE Anatolian Autochthon).

Organic matter (vitrinite, vitrinite like bitumen, bitumen and graptolite) reflectance values indicate bituminous coal-anthracite ( $R_{max} \% = 0.67-3.61$ ) for Silurian-Carboniferous sequence from Istanbul-Zonguldak Terranes; high volatile bituminous coal to anthracite/metaanthracite ( $R_{max} \% = 1.02-6.05$ ) for Ordovician-Permian sequence from Eastern Tauride Autochthon; sub-bituminous coal-low volatile bituminous coal ( $R_m \% = 0.55-1.75$ ) for Silurian-Permian sequence from SE Anatolian Autochthon. Organic matter reflectance values increase together with increasing temperature and pressure toward older units, in accordance with textural and mineralogical data. Sudden changes in organic matter reflectance values along the sedimentary sequence indicate older orogenic events (diagenetic/metamorphic hiatus). Bireflectance ( $R_{max}-R_{min}$ ) values increase in the samples with anthracitic stage, and reach maximum in samples with slaty cleavages.

The obtained data and results were shown that the organic petrographic studies are important for determination of geological evolution of old and thick sedimentary basins as well as inorganic parameters, and the most useful interpretations will be possible by using both organic and inorganic data.

Key words: Paleozoic, sedimentary sequence, organic matter reflectance, maceral, vitrinite, bitumen, graphitization, coalification stage (rank)

## BİLİMSEL SONUÇ RAPORU

(Proje No: 115Y420)

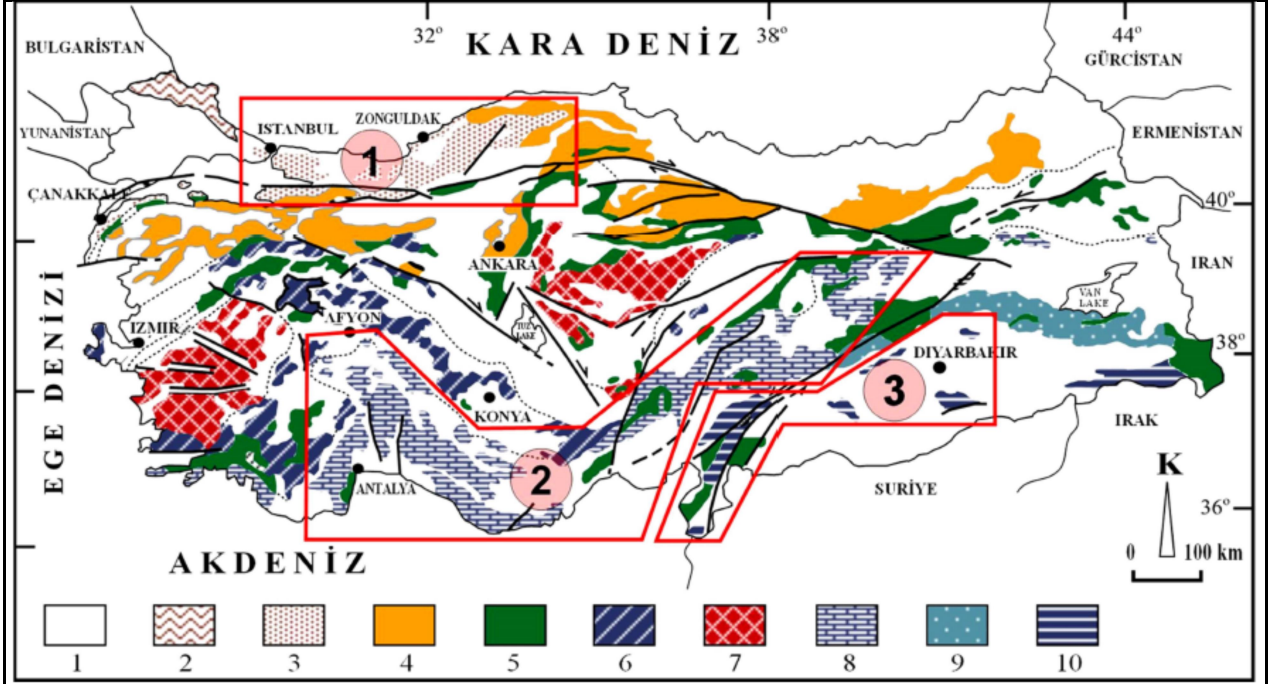
### 1. GİRİŞ

Paleozoyik yaşlı sedimanter kayaçların inorganik (doku, mineral birliktelikleri, illit kristalinite/Kübler indeksi, illit politi ve b hücre mesafesi) ve organik (kömürleşme ve grafitleşme derecesi, vitrinit yansıması) parametreler yardımıyla diyajenez-çok düşük dereceli metamorfizma özellikleri belirlenmekte ve istifin jeolojik evrimi ve tektonik konumunun yorumlanmasına ilişkin önemli veriler elde edilmektedir (Örneğin; Kisch, 1983; Frey, 1987; Bozkaya ve Yalçın, 1996; Merriman ve Peacor, 1999; Merriman ve Frey, 1999; Merriman, 2002; 2005; Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012; Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016).

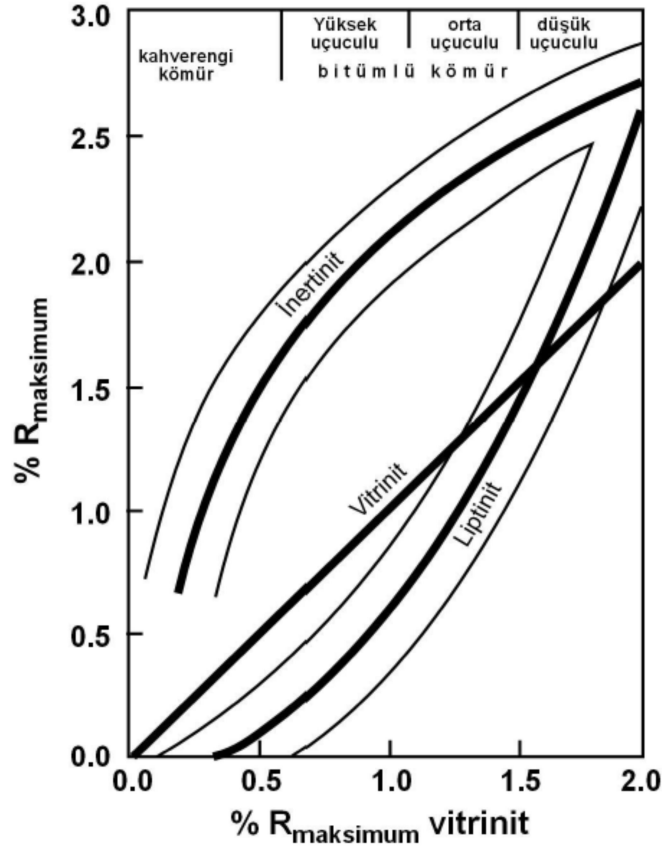
Bu kapsamda; Türkiye'deki farklı tektonostratigrafik birliklerin (Şekil 1, Göncüoğlu ve diğ., 1997) Paleozoyik istifleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar (Bozkaya ve Yalçın, 2000, 2004, 2005; Bozkaya vd., 2002, 2006, 2009a,b, 2011, 2012a,b, Tetiker vd., 2013), bunların özellikle Alpin-öncesi evrimlerinin (Göncüoğlu, 2010; Pan-Afrikan, Kadomiyen, Variskan vb.) yorumlanmasına önemli katkılar sağlamıştır (Örneğin: Geyikdağı Birliği temel kayaçlarında Kadomiyen orojenezi: Bozkaya ve diğ., 2002, 2006; Bolkardağı ve Aladağ birliklerinde Variskan orojenezi: Bozkaya ve Yalçın, 2004; Zonguldak Birliğinde Variskan: Bozkaya ve diğ., 2012a). Bu çalışmalarda, ağırlıklı olarak inorganik veriler kullanılmış olup organik parametreler sınırlı kalmıştır. İstifteki değişimlerin (dereceli değişim veya diyajenetik/metamorfik boşluk/hiatus nedeniyle ani değişim) organik parametrelere daha hassas yansıması açısından, elde edilen bulguların organik petrografik incelemelerle de desteklenmesi daha sağlıklı sonuçlara ulaştıracaktır.

Sedimanter kayaçlardaki organik madde kayacın sıcaklık ve basınç değişimleri ile hassas veriler sunmaktadır. Kömürleşme derecesi (rank) kayacın diyajenez/metamorfizma derecesinin ortaya konulmasında önemli bir rol oynaması nedeniyle çok düşük dereceli metamorfizma ile ilgili çalışmalarda birçok araştırmacı tarafından inorganik parametrelerle birlikte yaygın biçimde kullanılmıştır (Örneğin: Dunoyer de Segonzac, 1970; Kisch, 1980; Wolf, 1975; Kübler ve diğ., 1979; Frey ve diğ., 1980; Teichmüller, 1987; Velde ve Lanson, 1993; Suchy ve diğ., 1997; Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012). Vitrinit, liptinit ve inertinit şeklinde gruplandırılan organik madde (maseral) yansımalarından (özellikle vitrinit) itibaren belirlenen kömürleşme derecesi kayacın diyajenez veya metamorfizma derecesinin tahmininde önemli bir rol oynamaktadır (Teichmüller, 1987, Suchy vd., 1997; Ferreiro-Mahlmann vd., 2012). Liptinit ve inertinitlerin yansıması artan kömürleşme derecesi (rank) ile artmakla birlikte, vitrinit yansımasından farklı olmaktadır (Şekil 2, Smith ve Cook, 1980; Teichmüller, 1987).





Şekil 1. Türkiye'nin Alpin ve Alpin-öncesi bölgelerinin dağılımı (Göncüoğlu vd., 1997; 1-Senozoyik örtü, 2-Istranca terrane, 3- İstanbul-Zonguldak Birliği, 4- Sakarya Kompozit Birliği, 5- Ofiyolit, 6-Kütahya-Bolkardağı Kuşağı, 7-Menderes Masifi ve Orta Anadolu Kristalin Kompleksi, 8-Toridler, 9-Bitlis Pötürge Masifi, 10-Güneydoğu Anadolu Otoktonu)



Şekil 2. Vitrinit, inertinit ve liptinit yansımalarının kömürleşme derecesine göre farklı yönelimi (Teichmüller, 1987).

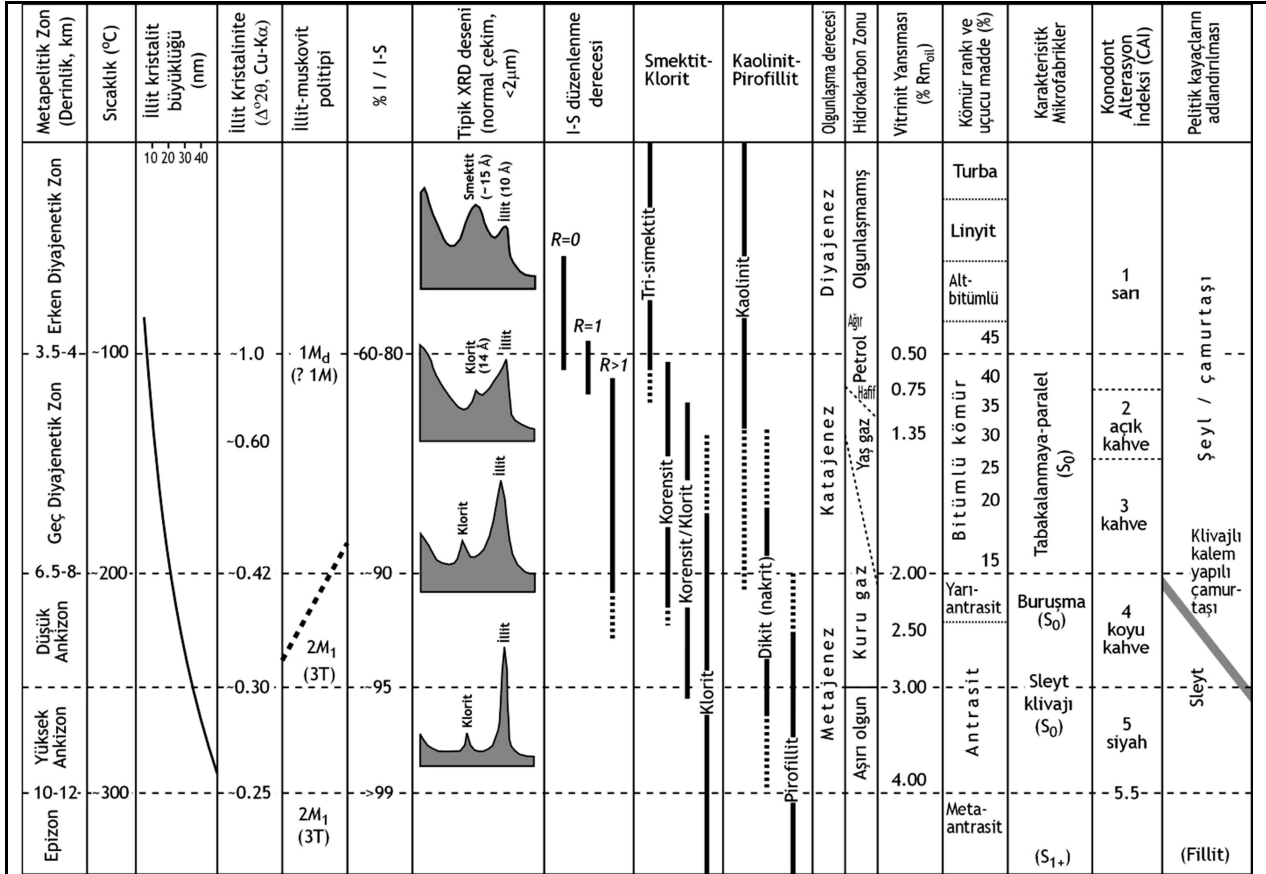
Organik madde türleri yansımalarındaki bu farklılık liptinit (alginit) ve inertinit yansımalarının vitrinit yansıması yerine kullanılmayacağını göstermektedir. Kömürleşme mineral dönüşümlerinin aksine, dönüşü olmayan (tek yönlü) bir süreç olup, iyon konsantrasyonu, pH, Eh ve kısmi su basıncı gibi faktörlere bağlı olmamakta ve bazı durumlarda inorganik parametrelere göre daha güvenilir olabilmektedir. Ancak, en sağlıklı değerlendirmelerin çok sayıdaki inorganik ve organik parametrelerin elde edilerek yapılabileceği de kuşkusuzdur (Bozkaya ve Yalçın, 1996; Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012).

Diyajenez - ankizon ve ankizon - epizon sınırlarına ait değişik araştırmacılarca belirlenen random ortalama organik madde yansıma değerleri (% Rm) için sırasıyla % 2.3 - 3.5 ile % 4.0 - 5.5 Rm arasında değişmekle birlikte (Çizelge 1, Bozkaya ve Yalçın, 1996), genel olarak % 2.0 ve 4.0 olarak verilmiştir (Şekil 2). Vitrinit ve vitrinit-benzeri bitüminit maksimum yansıma (% Rmax) değerlerine göre ankizonun alt ve üst sınırları % 3.0 ve 6.0 olarak önerilmiştir (Örn: Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012; Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016). Özellikle ankizon-epizon sınırındaki yüksek sınır değeri, artan diyajenez/metamorfizma derecesiyle birlikte artan çift-yansımadan (bireflection) kaynaklanmaktadır. Kuzey Amerikan (ASTM) sınıflamasına göre (Teichmüller, 1987), düşük diyajenez: turba-düşük uçuculu bitümlü kömür; yüksek diyajenez: orta ve düşük uçuculu bitümlü kömür, ankizon: antrasit, epizon: meta-antrasit evresine karşılık gelmektedir (Şekil 3).

Çizelge 1. Diyajenez – Ankizon ve Ankizon – Epizon sınırlarına karşılık gelen ortalama Rm (%) değerleri

| Referans                            | Diyajenez-Ankizon<br>(~200°C) | Ankizon-Epizon<br>(~300°C) |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Kisch,1974                          | ~2.25                         | ~4.00                      |
| Kübler vd.,1979                     | 2.6-2.8                       | 4.00                       |
| Heroux vd.,1979                     | 2.5-3.0                       | -                          |
| Frey vd.,1980                       | 2.65-3.10                     | 5.0-5.5                    |
| Merriman ve Frey, 1999              | 2.00                          | 4.00                       |
| Ferreiro Mahlmann ve Frey, 2012     | 2.6 (*)                       | 5.3 (*)                    |
| Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016 | 3.0 ± 0.3 (*)                 | 6.0 ± 1.0 (*)              |

(\*) Rmax (%) değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3. Metapelitlerde litoloji, mikrofabrik, fillosilikatların kristalkimyası ve reaksiyon süreçleri, organik olgunlaşma indeksleri ve evreleri arasındaki ilişkiler (Merriman ve Frey, 1999 ve Merriman ve Peacor, 1999'dan düzenlenmiştir).

Düşük dereceli metamorfik kayalarda gömülme ve deformasyonlara bağlı olarak organik maddenin gösterdiği değişimler organik madde yansımasının yanı sıra antrasit ve meta-antrasit evresi için grafitleşme derecesi ile de belirlenmektedir. Organik maddenin toz XRD karakteristikleri ve elektron difraksiyonu meta-antrasit – grafit aralığındaki çok düşük dereceli metamorfizmanın (ankizon-epizon) ileri derecesinin indikatörü olarak kullanılmıştır (Landis, 1971, Itaya, 1981, Tagiri, 1981, Pesquera ve Velasco, 1988, Barrenechea ve diğ., 1992). Tagiri (1981) tarafından önerildiği gibi X - ışınları toz difraksiyonu verilerinden itibaren ölçülen grafitleşme derecesi  $GD = [(d_{002})-3.70] / \log (1/1000)] \times 100$  ( $Lc_{002} = 91 / \beta$ ,  $\beta =$  Grafitin 002 pikinin yarı yükseklikteki genişliği) formülü ile ifade edilmektedir. Pesquera ve Velasco (1988) ve Barrenechea ve diğ. (1992)  $d_{002}$  ve  $Lc_{002}$  değerleri yardımıyla ankizon, klorit – biyotit + muskovit ve biyotit + andaluzit + granat zonlarının ayırımı yapmıştır. Luque ve diğ. (1993), Luque ve Rodas (1999) ve Rodas ve diğ. (2000) düşük basınç/yüksek sıcaklık metamorfizma grafitleri için de aynı parametreleri kullanmıştır.

Organik madde yansması açısından grafitleşme derecesinin goreli olarak artışı yansma anizotropisi veya çift-yansma [bireflectance = maksimum yansma (Rmax %) - minimum yansma (Rmin %)] ile belirlenebilmekte olup, bu değerin artışı özellikle tektonizmayla ilişkili mekanik (makaslama) etkilerden kaynaklanmaktadır (rneğin, Suchy vd., 1997). Grafitleşme derecesiyle ilgili ilk inceleme Doğu Toros kuşağı otokton istifinde (Geyikdağı Birliği) Silüriyen yaşlı organik maddece zengin ankimetamorfik kayaçlarda gerçekleştirilmiş ve inorganik verilerle uyumlu oldukları belirlenmiştir (Bozkaya, 1995; Bozkaya ve Yalçın, 1998).

Bu projede, üç farklı bölge veya levhayı temsil eden İstanbul-Zonguldak Birliği (Avrasya levhası), Torid Kuşağı (Anadolu bloğu) ve GD Anadolu Otoktonu'na (Arabistan levhası) ait Paleozoyik sedimanter istiflerindeki organik madde türü (vitrinit, bitüminit, graptolit vb.), yansması ile grafitleşme derecelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda elde edilecek organik olgunlaşma verileri, inorganik verilerle (mineral birliktelikleri, doku, yönlenme/fabrik, illit Kübler indeksi, politipi, b hücre mesafesi vb.) birlikte değerlendirilerek, diyajenez/metamorfizma derecesindeki artışı organik madde üzerindeki etkisi ortaya konulacaktır. Farklı birliklere ait istiflerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları incelenerek benzerlik veya farklılıkları belirlenecektir.

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM**

Proje çalışmaları başlıca arazi çalışması, örnek hazırlama ve inceleme/ölçüm aşamalarını kapsamaktadır.

### **2.1. Arazi Çalışmaları**

Proje çalışması kapsamında İstanbul-Zonguldak Birliği ve Doğu Toros Otoktonu Paleozoyik birimlerden daha önce gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında tespit edilen tip lokasyonlardaki organik madde içeriği yüksek seviyeler yeniden örneklenmiştir. Örneklemelerde farklı yaş ve seviyelerden örnek alınması yoluna gidilmiştir. GD Anadolu Otoktonu istifi için proje yürütücüsü tarafından daha önceki yıllarda alınan örnekler değerlendirilmiş olup, güvenlik nedeniyle yeni örneklemeye yapılamamıştır. Organik verilerin İnorganik verilerle deneştirilmesi açısından; organik maddece zengin seviyelerin yanı sıra alt ve üst seviyelerdeki organik madde içeriği düşük seviyelerden de örnek alınmıştır. Organik madde yansıması için İstanbul-Zonguldak Birliği Paleozoyik birimlerinden 34 adet, Doğu Toros Otoktonu Paleozoyik birimlerinden 32 adet organik maddeli örnek alınmıştır.

### **2.2. Örnek Hazırlama**

Araziden alınan örnekler üzerinde ince-kesit, kırma-öğütme, kil ayırma, parlatma bloklarının hazırlanması ve organik madde zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İnce-kesit yapımı, kırma-öğütme, kil ayırımı, organik madde zenginleştirme işlemleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, parlatma bloklarının hazırlanması Almanya Darmstadt Teknik Üniversitesi Yerbilimleri Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

#### **2.2.1. Kırma-öğütme**

XRD çalışmalarında kullanılacak örnekler önce 3-5cm' lik parçalar halinde çekiçle, daha sonra çeneli kırıcıda 5 mm'den küçük taneler halinde kırılmış ve Retch marka çanaklı öğütücüde sertlikleri de dikkate alınarak yaklaşık 10-30 dk süreyle öğütülmüştür. Bu şekilde elde edilen toz malzeme kutu veya torbalara konulup etiketlenerek incelemelere hazır konuma getirilmiştir.

#### **2.2.2. İnce-kesit ve parlatılmış blokların hazırlanması**

İnce-kesitler organik maddeli lamina veya merceklerinin belirlenmesi açısından tabakalanma düzlemlerine dik kesilerek hazırlanmıştır. Parlatılmış bloklar için tabakalanma düzlemine dik konumda kesilen kayaç dilimleri epoksi içine gömülerek aşındırılmış ve örnek yüzeyi elmas solüsyonla parlatılmıştır.

### **2.2.3. Kil ayırma**

Kil ayırma işlemi sırasıyla kimyasal çözme (kil-dışı fraksiyonun uzaklaştırılması), santrifüjleme, dekantasyon / dinlendirme, yıkama, süspansiyonlama, sedimentasyon, sifonlama, santrifüjleme ve örnek elde edilmesi (şişeleme) işlemlerinden oluşmaktadır. Ayrılmış kil çamurundan üç adet yönlendirilmiş lam preparat hazırlanmış ve bunlar oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kil fraksiyonu difraktogramları normal-N (havada kurutulmuş), glikolleme-EG (60 °C de 16 saat desikatörde etilen glikol buharında bırakma) ve fırınlama-F (490 °C de 4 saat fırında ısıtma) işlemlerinden geçirilerek elde edilmiştir.

### **2.2.4. Organik madde zenginleştirme**

Grafitleşme derecesi incelemelerinde örnekler öncelikle öğütülmüş ve birkaç aşamada % 30'luk HCl yardımıyla inorganik karbonat bileşenlerden (kalsit, dolomit) arındırılmıştır. Örnekler karbonatlardan arındırıldıktan sonra % 40'luk HF kullanılarak silikat mineralleri çözündürülmüş ve silikat tuzlarına dönüşen bileşenler %10'luk HCl asitle çözdürüldükten sonra üç-dört kez saf suyla yıkanarak örnekten atılmıştır. Asitleme işlemi sonrası elde edilen organik madde (kerojen) etüvde kurutularak XRD çekimlerine hazır hale getirilmiştir.

## **2.3. Laboratuvar Uygulamaları**

### **2.3.1. Optik mikroskopi**

İnce-kesitler üzerinde incelemeleri alttan aydınlatmalı polarizan mikroskopta yapılan OM incelemelerinde mineral bileşenleri ve dokusal özellikler ile kayaçların adlandırılması ve organik maddenin kayaç içerisindeki dağılımı aydınlatılmaya çalışılmıştır.

### **2.3.2. Organik Petrografi**

Organik maddece zengin örneklerden itibaren hazırlanan parlatılmış blokları üzerinde immersiyon yağı ortamında organik madde bileşenlerinin (maseral) tanımlanması ve yansıma ölçümleri Darmstadt Teknik Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü'nde (Almanya) konunun uzmanı Prof. Dr. Rafael Ferreira Mahlmann gözetiminde gerçekleştirilmiştir. Organik madde yansımaları 546 nm monokromatik ışığa sahip üstten aydınlatmalı LEITZ marka Orthoplan Fotometre Mikroskobunda ölçülmüştür. Organik madde yansıma ölçümleri 125 büyütmeli objektif ve 10 büyütmeli oküler kullanılarak ışığı kırma indisi ( $n_e = 1.518$ ; 23°C) olan immersiyon yağında gerçekleştirilmiştir. Organik madde yansımalarında kalibrasyon için örneklerin kömürleşme derecelerine göre mevcut laboratuvardaki standartlar kullanılmıştır (Ferreiro Mahlmann ve Frey, 2012; Ferreira Mahlmann ve Le Bayon, 2016):

- (1) Leuco-Saphire; (LS; R = 0.592%),
- (2) Yttrium-Aluminium-Garnet (YAG; R = 0.880%),
- (3) Gadolinium-Gallium-Garnet (GGG; R=1.719%),
- (4) Cubic Zirconium (CZ; R = 3.114%)
- (5) Diamond (D; R = 5.237%)

### 2.3.3. X-Işınları Kırınımı (XRD)

XRD analizleri hem zenginleştirilmiş organik madde çekimleri hem de normal kayaç örneklerinde mineralojik incelemeleri kapsamaktadır. XRD yöntemi, optik mikroskop ile incelenemeyecek kadar küçük (submikroskopik) tane boyuna sahip kayaçların tüm kayaç (XRD-TK) mineralojik bileşimlerinin ve kil boyu bileşenlerinin (XRD-KF), ayrıca karbonat minerallerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

XRD çözümlenmeleri GNR APD 2000 PRO marka X-ışınları difraktometresinde (Anot = Cu,  $\lambda = 1.541871 \text{ \AA}$ , filtre = Ni, gerilim = 40 kV, akım = 30 mA, gonyometre hızı =  $2^\circ/\text{dak}$ , çekim aralığı,  $2\theta = 5-45^\circ$ ) yapılmıştır. XRD çözümlenmeleri sonucunda örneklerin tüm kayaç ve kil boyu bileşenleri ( $< 2 \mu\text{m}$ ) tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri de dış standart yöntemi (Brindley, 1980; Yalçın ve Bozkaya, 2002) esas alınarak hesaplanmıştır.

Kil fraksiyonundan itibaren illit "kristalinite" ölçümü için  $10\text{-}\text{\AA}$  illit pikinin yarı yüksekliğindeki genişliği  $\Delta^\circ 2\theta$  (Kübler indeksi - KI: Kübler, 1968; Guggenheim ve diğ., 2002) kullanılmıştır. Pamukkale Üniversitesi'nde (PAU) ölçülen KI değerleri CIS standartlarına (Warr ve Rice, 1994) göre kalibre edilmiştir ( $KI_{\text{CIS}} = 1.2438 \times \text{FWHM}_{\text{PAU}} + 0.0548$ ,  $r^2 = 0.99$ ). Ankizonun üst ve alt sınırları CIS standartları için  $0.25$  ve  $0.42 \Delta^\circ 2\theta$  (Warr ve Rice, 1994) olarak önerilmekle birlikte, Warr ve Ferreiro Mählmann'ın (2015) CIS verilerine ilişkin yeniden değerlendirmeleri doğrultusunda Basel KI sınırlarına karşılık gelen  $0.32$  ve  $0.52 \Delta^\circ 2\theta$  olarak alınmıştır. KI ölçümü için gerçekleştirilen çekimlerde gonyometre hızı  $1^\circ/\text{dak}$  ve kayıt aralığı  $2\theta = 2-30^\circ$  olarak ayarlanmıştır.

Grafitleşme derecesi ölçümleri ankizon ve epizon derecesine sahip örneklerden zenginleştirilen organik madde üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çekim koşulları gonyometre hızı =  $2^\circ/\text{dak}$ , çekim aralığı,  $2\theta = 5-45^\circ$  olarak ayarlanmış olup, kalibrasyon için silikon harici standardı kullanılmıştır.

### **3. STRATİGRAFİ VE LİTOLOJİ**

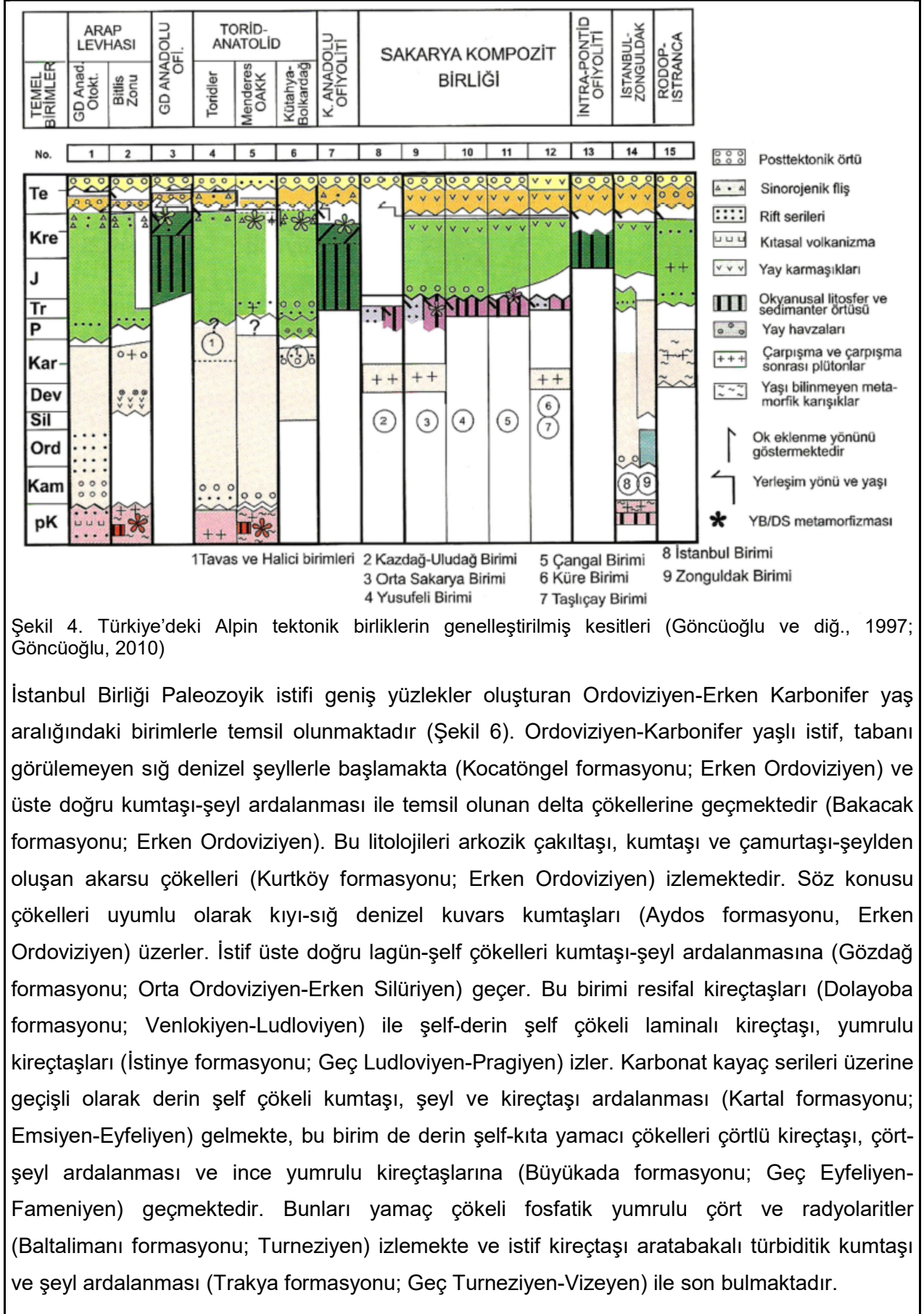
#### **3.1. Litostratigrafi Birimleri**

Bu proje, Alpin-öncesi tektonik birlikler olarak bilinen Toros kuşağındaki otokton Geyikdağı Birliğinin yanı sıra, Pontid kuşağını temsil eden İstanbul-Zonguldak Birliği ile Arap Plakasını temsil eden GD Anadolu Otoktonu'na ait Paleozoyik yaşlı sedimanter/metasedimanter birimleri konu almaktadır (Bakınız Şekil 1). Türkiye'nin orojenik çatısı çok sayıda Alpin tektonostratigrafik birlikten (Terrane) kurulu olup, Tetis adı verilen çeşitli okyanusun kollarının açılıp kapanmasıyla oluşan aktif ve pasif kıta kenarları, riftler, yay ve suture (kenet) karmaşıklarını içerirler (Göncüoğlu, 2010). Türkiyede'ki birimler kuzeyde Lavrasya, güneyde Gondwana kıtalarının arasında yer almıştır. Bu ana kıtalara ait çok sayıda kıtasal kabuk parçaları riftleşmeyle ana gövdeden ayrılarak başka okyanusal ve kıtasal kabuklarla çarpışarak kaynaşmış ve günümüzdeki Anadolu'nun farklı kökenlere sahip tektonik birliklerden oluşan mozayik yapısını oluşturmuştur. Bu birliklerin günümüzdeki dağılımı Neotetis'in çeşitli kollarının Mesozoyik sonunda kapanması ile ortaya çıkan Alpin orojenezi denetlenmektedir. Alpin öncesi olayların izleri de korunmuş olup, Pan-Afrikan/Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen orojenezlerinin her biri sonraki evrede farklı tektonik birliklerle bütünleşmiştir. Tektonik birliklerin güneyden kuzeye doğru stratigrafik özellikleri, tektonik konumları metamorfizma ve magmatizmaları Şekil 4' de birleşik kesitte topluca gösterilmiştir (Göncüoğlu, 2010).

#### **3.1.1. İstanbul-Zonguldak Birliği**

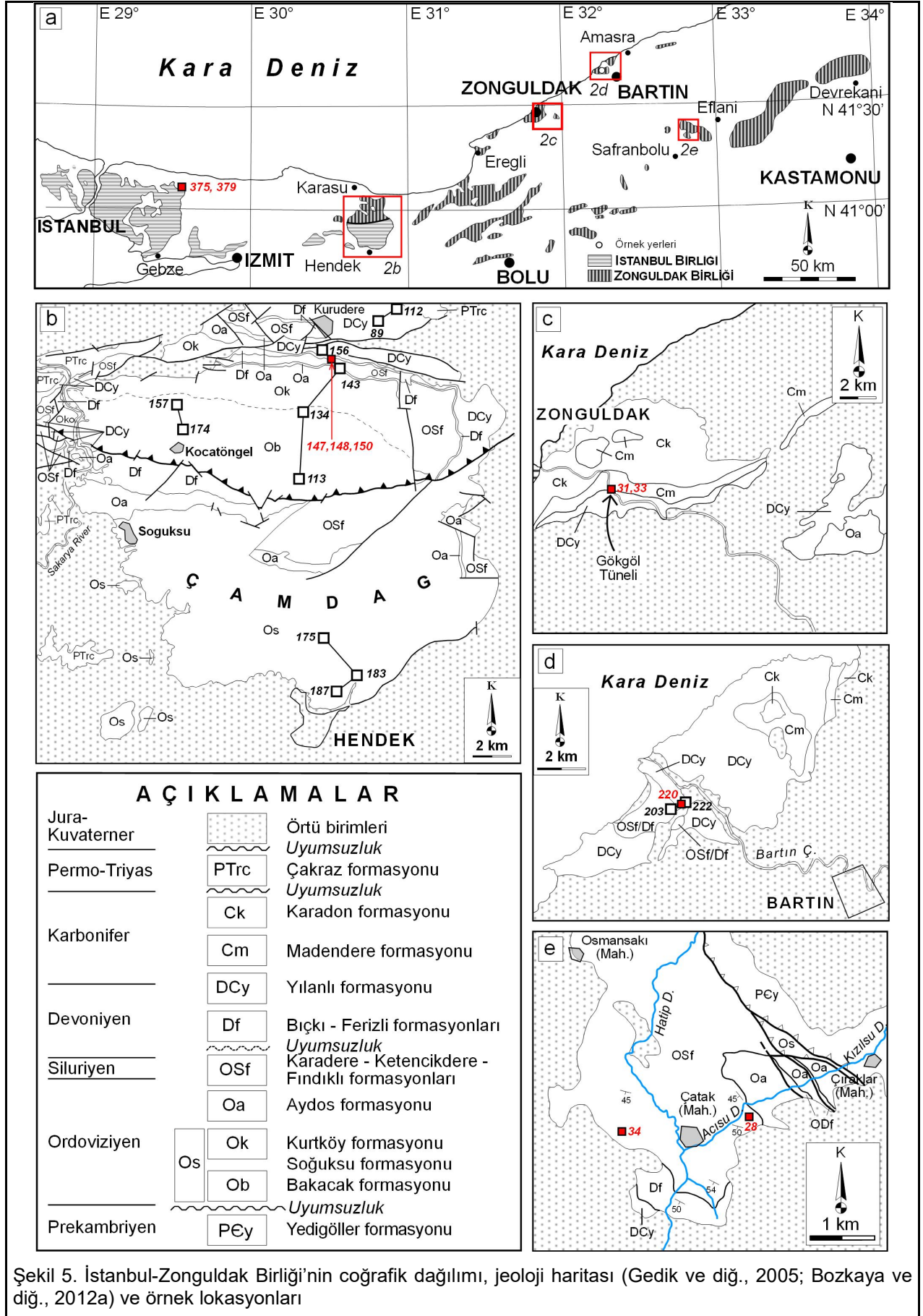
İstanbul-Zonguldak Birliği'nin İstanbul ve Zonguldak bölgesindeki Paleozoyik birimleri benzer kristalin temel kayalar uyumsuz olarak örten Ordoviziyen-Karbonifer yaşlı istiflere sahiptir (Şekil 5). İstanbul Birliği'ndeki Alt Ordoviziyen-Üst Devoniyen pasif kıta kenarı çökelleri uyumlu olarak Orta Devoniyen-Alt Karbonifer filiş-tipi sedimanlarla üzerlenmektedir. Zonguldak Birliği'nde Orta Ordoviziyen ile Alt-Orta Silüriyen'de graptolit içeren koyu-gri renkli çamurtaşı ve silttaşları gözlenmekte olup, bu şelf tipi çökelim İstanbul Birliği'ndeki eşdeğer seviyelerdeki akarsu-kıyı lagünü sedimanlarından farklıdır. İki birlik arasındaki asıl farklılık Zonguldak Birliği'nde Alt Devoniyen yaşlı konglomeratik kumtaşları ve silttaşlarının Silüriyen'in silttaşı ve şeylleri açılı uyumsuzlukla üzerlemesidir (Şekil 6, 7). İstif Alt-Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı yer yer K-bentonit seviyeleri ve organik maddeli laminasyonlar içeren içeren siğ denizel platform karbonatlarla ve Üst Karbonifer yaşlı akarsu sedimanlarıyla devam etmektedir. Her iki birlik, Permian-Triyas yaşlı klastik kayalarla uyumsuz olarak örtülmektedir.



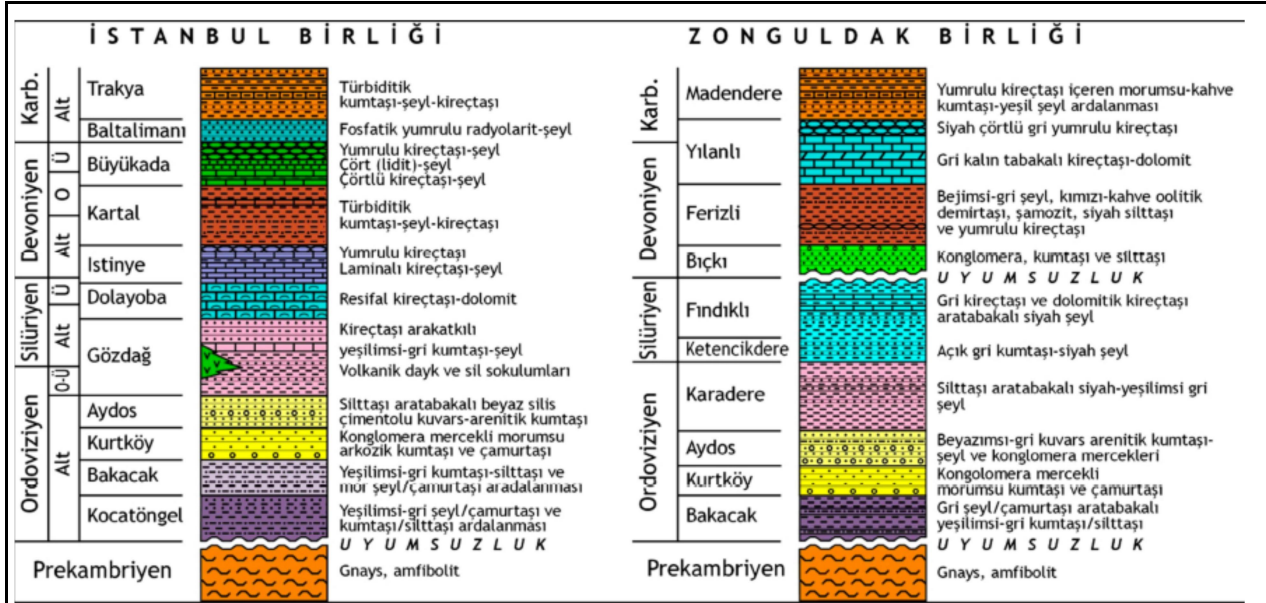


Şekil 4. Türkiye'deki Alpin tektonik birliklerin genelleştirilmiş kesitleri (Göncüoğlu ve diğ., 1997; Göncüoğlu, 2010)

İstanbul Birliği Paleozoyik istifini geniş yüzlemler oluşturan Ordoviziyen-Erken Karbonifer yaş aralığındaki birimlerle temsil olunmaktadır (Şekil 6). Ordoviziyen-Karbonifer yaşlı istif, tabanı görülemeyen sığ denizel şeyllerle başlamakta (Kocatöngel formasyonu; Erken Ordoviziyen) ve üste doğru kumtaşı-şeyl aralanması ile temsil olunan delta çökellerine geçmektedir (Bakacak formasyonu; Erken Ordoviziyen). Bu litolojileri arkozik çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı-şeylden oluşan akarsu çökelleri (Kurtköy formasyonu; Erken Ordoviziyen) izlemektedir. Söz konusu çökelleri uyumlu olarak kıyı-sığ denizel kuvars kumtaşları (Aydos formasyonu, Erken Ordoviziyen) üzerler. İstif üste doğru lagün-şelf çökelleri kumtaşı-şeyl aralanmasına (Gözdağ formasyonu; Orta Ordoviziyen-Erken Silüriyen) geçer. Bu birimi resifal kireçtaşları (Dolayoba formasyonu; Venlokiyen-Ludloviyen) ile şelf-derin şelf çökeli laminalı kireçtaşı, yumrulu kireçtaşları (İstinye formasyonu; Geç Ludloviyen-Pragiyen) izler. Karbonat kayaç serileri üzerine geçişli olarak derin şelf çökeli kumtaşı, şeyl ve kireçtaşı aralanması (Kartal formasyonu; Emsiyen-Eyfeliyen) gelmekte, bu birim de derin şelf-kıta yamacı çökelleri çörtlü kireçtaşı, çört-şeyl aralanması ve ince yumrulu kireçtaşlarına (Büyükada formasyonu; Geç Eyfeliyen-Fameniye) geçmektedir. Bunları yamaç çökeli fosfatik yumrulu çört ve radyolaritler (Baltalimanı formasyonu; Turneziyen) izlemekte ve istif kireçtaşı aratabakalı türbiditik kumtaşı ve şeyl aralanması (Trakya formasyonu; Geç Turneziyen-Vizeyen) ile son bulmaktadır.







Şekil 6. İstanbul ve Zonguldak birliklerinin genelleştirilmiş litostratigrafik kesitleri (Bozkaya ve diğ., 2012 b).

| YAŞ         | FORMASYON   | SİMGE           | LİTOLOJİ | AÇIKLAMA   |
|-------------|-------------|-----------------|----------|--|
| KARBONİFER  | ALT         | Madendere       | Cm       | Ender yumrulu kireçtaşı içeren mor-kahverengi kumtaşı, yeşil şeyl araldanması  |
|             |             | Devoniyen       | ORTA-ÜST | Yılanlı  |
| DEVONİYEN   | ALT         | Ferizli         |          | Df   |
|             |             | Bıçkı           | Db       | Konglomera bantlı kırmızı, çapraz-tabakalı kumtaşı-çamurtaşı<br>Bıçkı kırıntılı sarımsı-kahverengi kumtaşı<br>Gri-kahverengi, dereceli kumtaşı ve silttaşı<br><b>U Y U M S U Z L U K</b> |
| SİLURİYEN   | ÜST         | Fındıklı        | Sf       | Koyu gri-kahverengi kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı aratabakalı siyah şeyl  |
|             |             | Ketencikdere    | Sk       | OSf  |
| ORDOVİSİYEN | ÜST         | Karadere        | OSk      | Siyah-yeşilimsi gri klivajlı şeyl ve ender siyah silttaşı  |
|             | MIDDLE      | Aydos           | Oa       | Silttaşı aratabakalı ve konglomera mercekli beyaz renkli, silis çimentolu, çapraz tabakalanmalı kuvars arenit  |
|             |             | Kurtköy         | Ok       | Konglomera mercekli kırmızı-mor kumtaşı ve çamurtaşı   |
| ORDOVİSİYEN | LOWER       | Soğuksu-Bakacak | Ob       | Gri şeyl-çamurtaşı aratabakalı yeşilimsi gri kumtaşı-silttaşı<br><b>U Y U M S U Z L U K</b>  |
|             | PREKAMBİYEN | Yedigöller      | PEy      | Aplit, pegmatit ve mikrodiorit damarları içeren gnays ve amfibolit   |

Yılanlı Fm.



Fındıklı Fm.



Karadere Fm.



Şekil 7. Zonguldak Birliği Paleozoyik istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Gedik ve diğ., 2005; Bozkaya ve diğ., 2012a) ve organik maddeli kayaç içeren seviyelerin görünümü

Zonguldak Birliği Ordoviziyen-Alt Karbonifer yaşlı istifi, Prekambriyen yaşlı amfibolit, gnays, migmatit, şist ve mermerden oluşan temel kayalar (Yedigöller Formasyonu) üzerinde örtü birimleri şeklinde Alt Ordoviziyen yaşlı kumtaşı ve şeyl aralanmasından oluşan Bakacak (Soğucak) formasyonu, kuvarsitik konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan Aydos formasyonu, Üst Ordoviziyen-Silüriyen yaşlı yer yer organik maddece zengin (şekil 8) şeyl, kumtaşı/silttaşı ve kireçtaşından oluşan Karadere, Ketencikdere ve Fındıklı formasyonları, Alt Devoniyen yaşlı kumtaşı-şeyl ve kireçtaşı-şeyl aralanmasından oluşan Bıçkı ve Ferizli formasyonları, Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Gökgöl Tüneli kesiminde organik maddece zengin seviyeler içeren (şekil 8) kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan Yılanlı Formasyonu ile Alt Karbonifer yaşlı kireçtaşı arakatlı kumtaşı-şeyl aralanmasından oluşan Maden Formasyonu'dan oluşmaktadır.

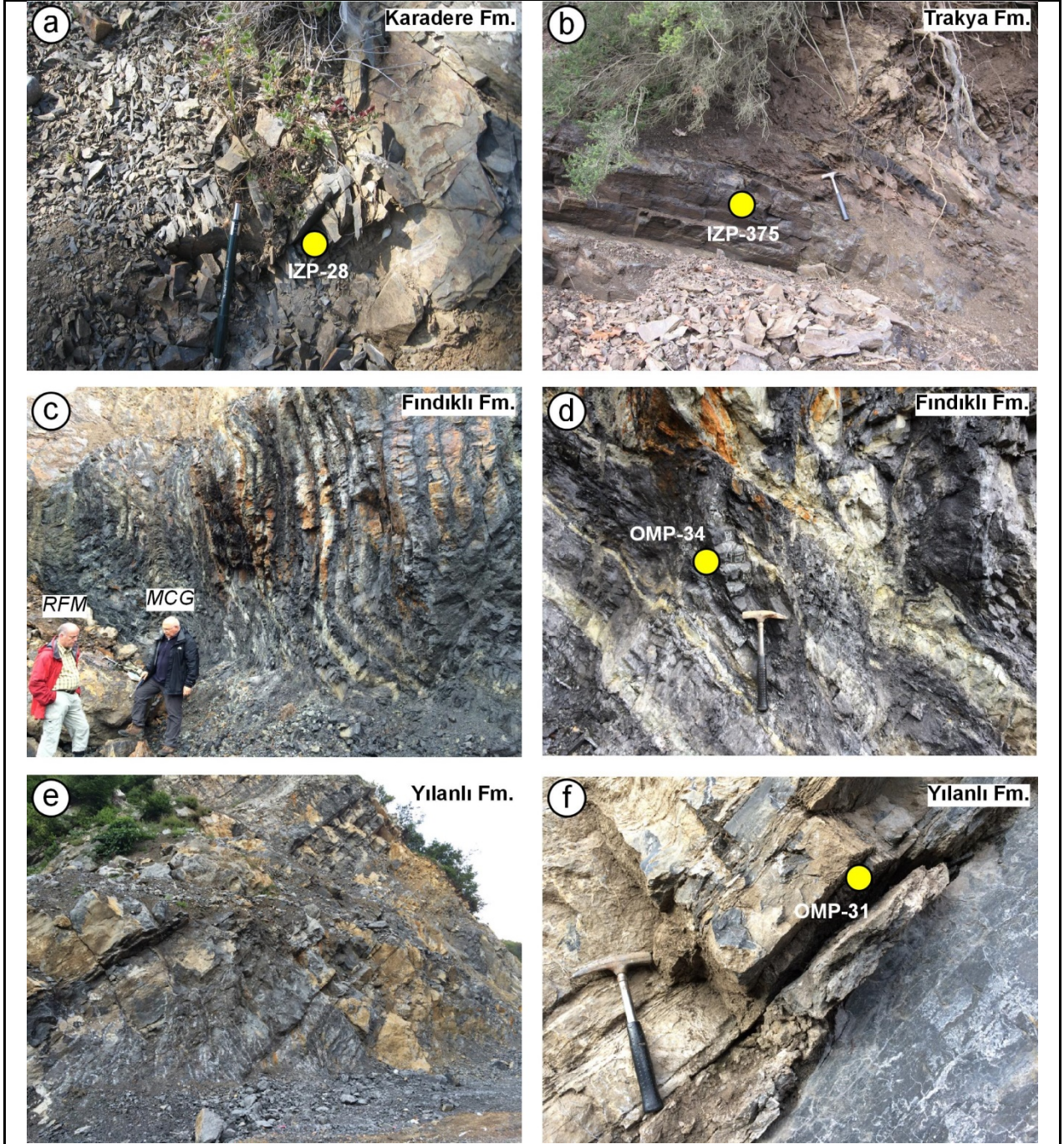
### **3.1.2. Toridler**

Toridler veya Torid Kuşağı, Torid-Anatolid Platformu veya Torid-Anatolid Kompozit Terrane (TACT) içerisinde değerlendirilen (Göncüoğlu ve diğ., 1997), çeşitli tektonik birlikler içeren bir Alpin kıtasal mikrolevha olup, diyajenetik-çok düşük dereceli metamorfik Paleozoyik istifler içermesi nedeniyle Alpin-öncesi jeolojik tarihçenin izlerini taşımaktadır. Toridleri oluşturan tektono-stratigrafik birlikler ve bunların paleocoğrafik konumları; stratigrafik ve yapısal karakteristiklerinin yanı sıra çökeltme ortamları ve metamorfizma özelliklerine göre ayırtlanmıştır (Özgöl, 1976; 1984). Kuzeyden güneye doğru Bozkır Birliği, Bolkar Dağı Birliği, Aladağ Birliği, Geyikdağı Birliği, Antalya Birliği ve Alanya Birliği biçiminde adlandırılan birlikler Geç Kretase'de Neotetis'in kuzey ve güney kolunun kapanması ve kıtasal mikrolevhaların çarpışması (şengör ve Yılmaz, 1981) sonucu dilimlenmiş ve platformun kuzeyindeki birlikler (Bozkır, Bolkar Dağı ve Aladağ) güneye doğru, platformun güneyini temsil eden birlikler (Antalya ve Alanya) ise kuzeye doğru Geyikdağı Birliği üzerine bindirmiştir (Özgöl, 1976; 1984). Proje Torid birliklerinden Geyikdağı Birliği'nin doğu uzantısını (Doğu Toros Otoktonu; Metin ve diğ., 1987) kapsamaktadır (şekil 9).

### ***Geyikdağı Birliği***

Doğu ve Orta Toroslar kuşağında tiptik yüzeylemeler sunan Geyikdağı Birliği İnfra-Kambriyen'den Tersiyer'e kadar geniş bir yaş aralığına sahip birimleri içermesiyle karakteristiktir (Özgöl, 1976). Doğu Toroslar Bölgesinde Doğu Toros Otoktonu (Metin ve diğ., 1987; Bozkaya ve diğ., 2002) olarak tanımlanan istife ait Paleozoyik yaşlı birimler alt seviyelerde metasedimanter, orta-üst seviyelerde ise sedimanter birimlerden oluşmaktadır (şekil 10).

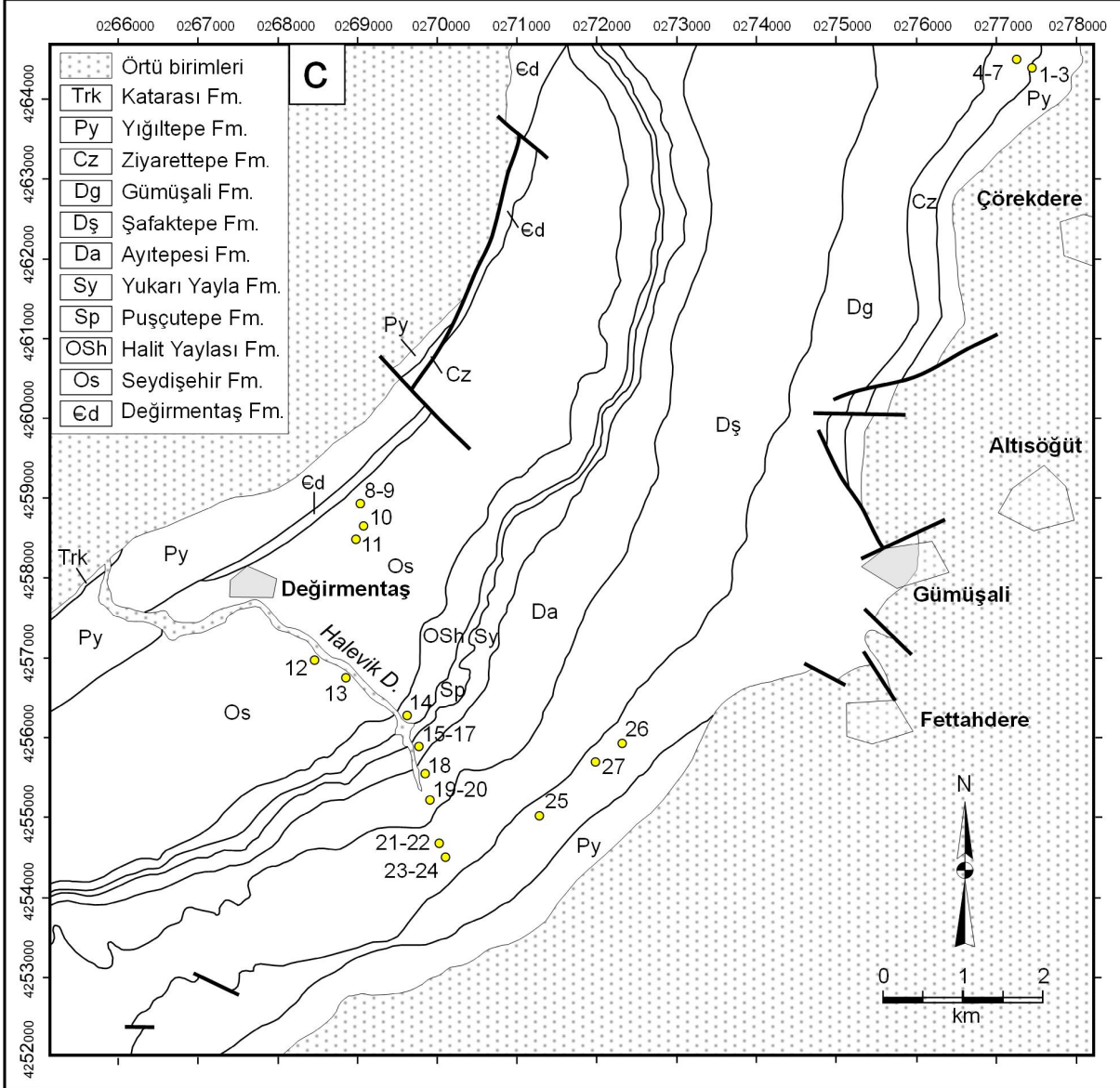
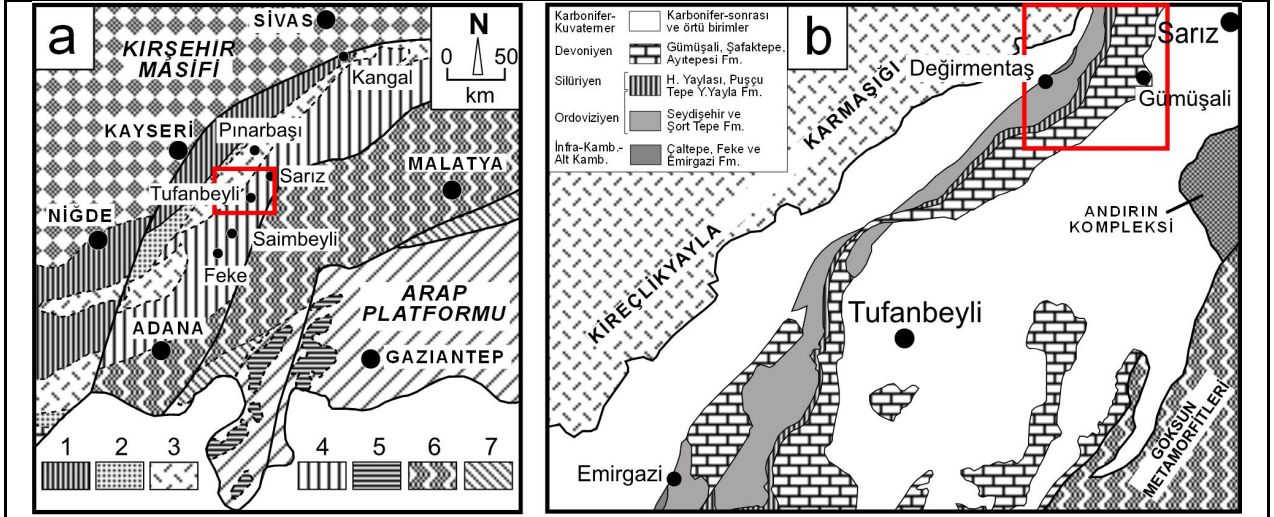




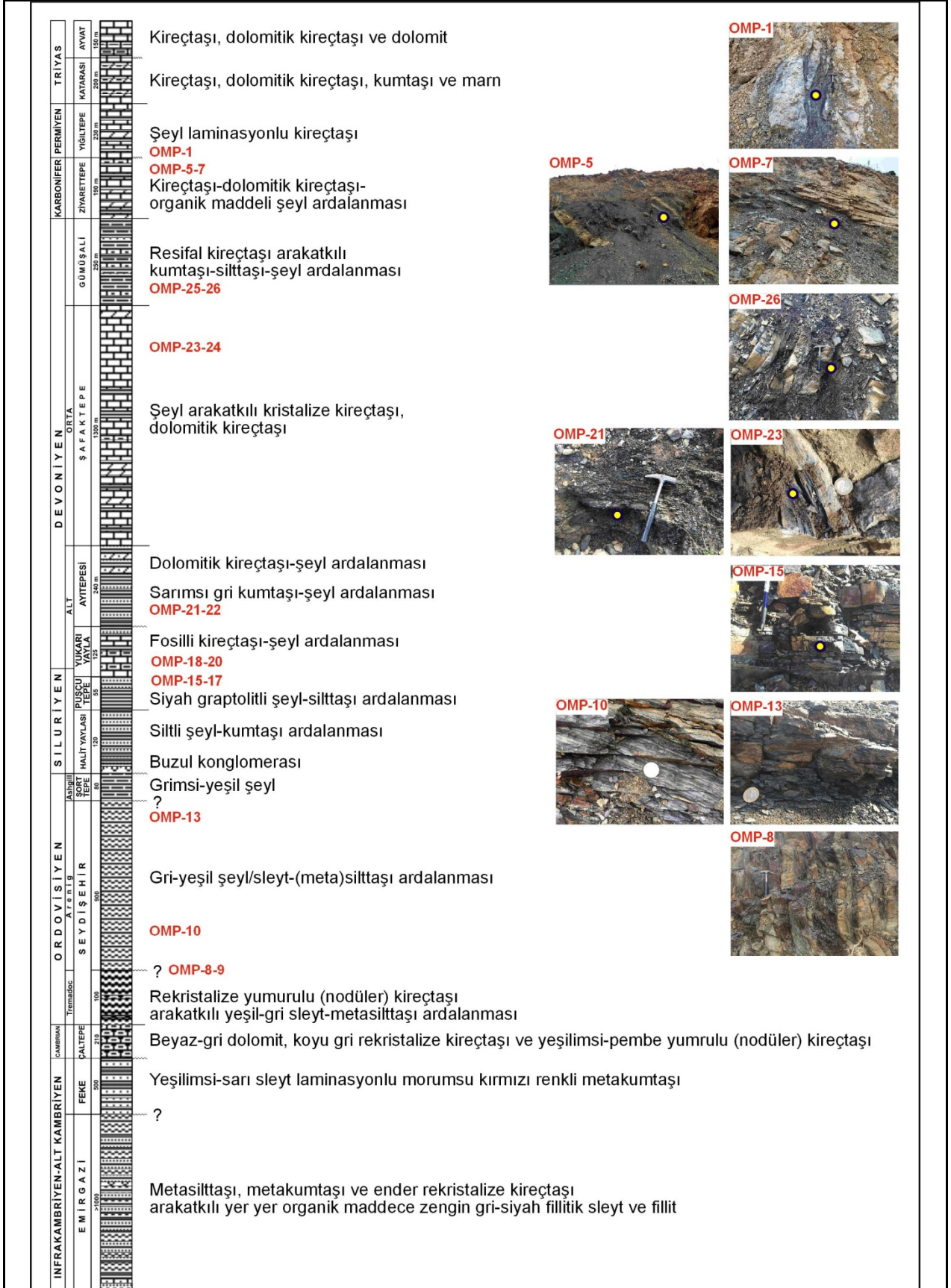
Şekil 8. Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Permien yaş aralığına sahip, organik madde içeren formasyonların görünümü ve örnek lokasyonları (RFM=Rafael Ferreiro Mahlmann, MCG=Mehmet Cemal Göncüoğlu).

Geyikdağı Birliğini doğu uzantısını temsil eden Doğu Toros Otoktonu istifi İnfra-Kambriyen-Kambriyen, Ordoviziyen-Silüriyen, Karbonifer-Permien arasındaki uyumsuzluklar (Özgül ve diğ., 1973; Kozlu ve Göncüoğlu, 1997) dışında kesiksiz bir istif özelliği taşımaktadır. İnfra-Kambriyen-Alt Kambriyen yaşlı (Kozlu ve Göncüoğlu, 1997) Emirgazi Formasyonu metakumtaşı arakatlı arduvaz (sleyt)-metasiltaşı aralanması, Kambriyen yaşlı Feke formasyonu sleyt arakatlı metakumtaşı, Değirmen taş Formasyonu yumrulu metakireçtaşı, ender metadolomit litolojileriyle temsil olunmaktadır (Şekil 10).





Şekil 9. Doğu Toros Otoktonu tipik yüzeylemelerinin yer bulduru, jeoloji haritası (Metin ve diğ., 1990'dan düzenlenmiştir) ve örnek lokasyonları.



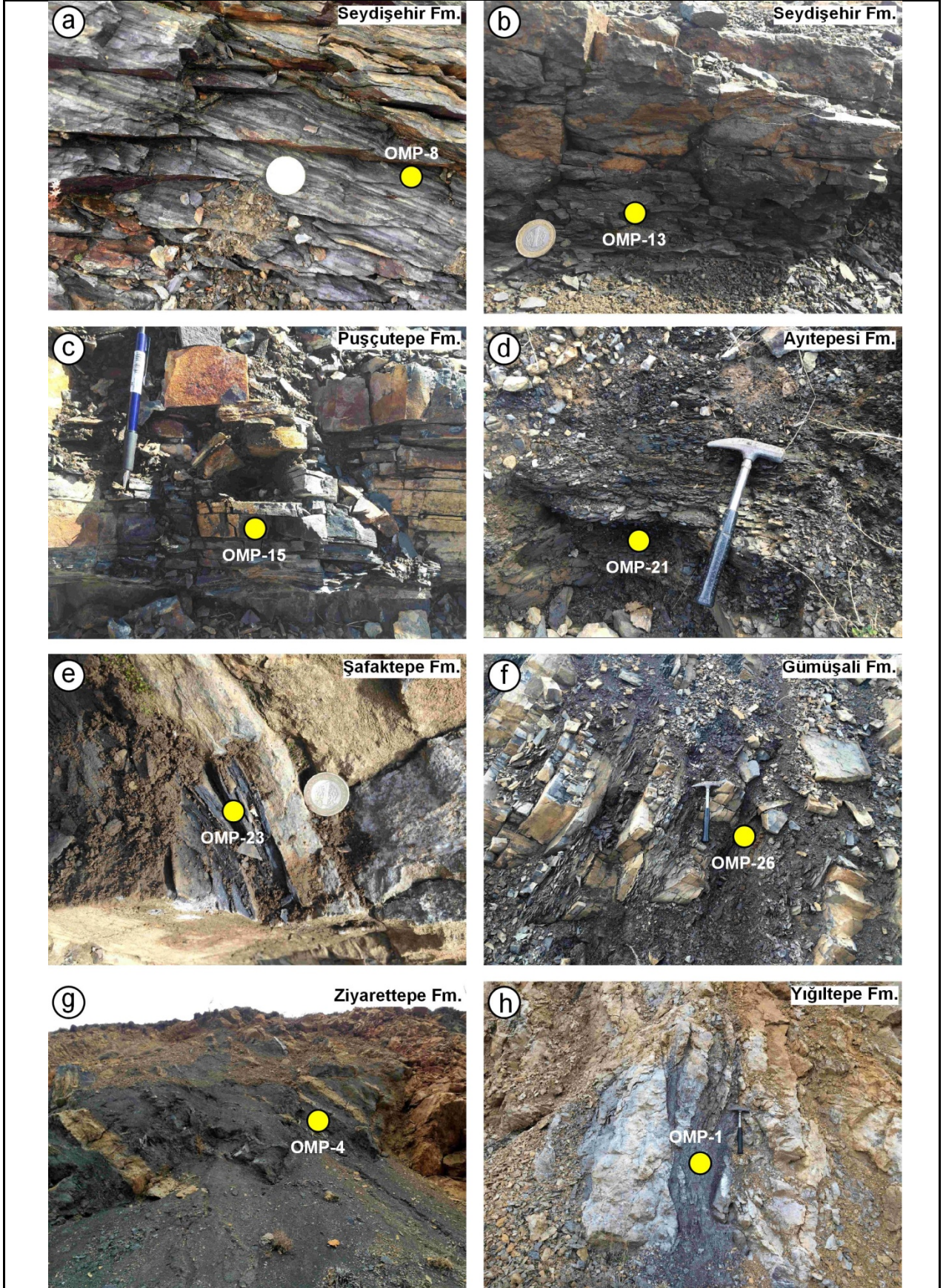
Şekil 10. Doğu Toros Otoktonu istifini oluşturan litolojilerin dikey dağılımı (Bozkaya ve diğ., 2002'den düzenlenmiştir) ve organik maddece zengin örnekleme lokasyonları.

Ordovisiyen yaşı Seydişehir Formasyonu ise alttan üste doğru metakireçtaşı arakatlı sleyt-metasilttaşı (Tremadocian) aralanması, orta-üst seviyeleri ise metasilttaşı arakatlı ankimetamorfik şeyl (Arenigian) litolojilerinden oluşmaktadır. Üst Ordovisiyen (Ashgillian) yaşı şeyllerden oluşan Şort Tepe formasyonu Seydişehir formasyonunu uyumsuzlukla üzerlemektedir (Bozkaya ve diğ., 2002). Emirgazi ve Seydişehir formasyonu alt seviyelerindeki (Tremadoc) sleytler kesişen kalem yapısı, kalsit ve kuvars mercikleri içeren metakireçtaşları ise yer yer breşik ve mikro-kıvrımlı olup, gözlü gnayslara benzer yapılar sergilemektedir. Değirmentaş Formasyonu metakireçtaşları ve metadolomitleri yumrulu (nodular) görünümüleriyle tipiktir. Seydişehir Formasyonu sleytleri alt seviyelerde kesişen kalem yapısı, orta seviyelerde kalem yapılı iken, üst seviyelerde tümüyle sedimanter dokulu ankimetamorfik şeyllere geçmektedir (Şekil 11a, b). Silüriyen yaşı Halıyayla Formasyonu şeyl arakatlı buzul kökenli çakıltaşı ve kumtaşı, Puşçutepe Şeyli şeyl, organik maddece zengin silttaşı-şeyl aralanması, Yukarıyayla Formasyonu ise şeyl aratabakalı kireçtaşlarını içermektedir (Şekil 11c). Devoniyen yaşı Ayıtepesi Formasyonu yer yer organik maddece zengin kumtaşı-şeyl, Şafaktepe Formasyonu kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı, Gümüşali Formasyonu ise resifal kireçtaşı arakatlı kumtaşı-şeyl aralanması ile temsil olunmaktadır (Şekil 11d, e,f). Karbonifer yaşı Ziyarettepe Formasyonu kireçtaşı, organik maddeli seviyeler içeren dolomitik kireçtaşı ve şeyl, bu birim üzerine uyumsuzla gelen Permiyen yaşı Yığıltepe Formasyonu organik maddeli şeyl laminasyonlu kireçtaşları içermektedir (Şekil 11g,h). Paleozoyik yaşı birimler üzerine uyumsuzlukla kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumtaşı-marn aralanmasından oluşan Triyas Katarası Formasyonu ile kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Ayvat Formasyonu gelmektedir.

### 3.1.3. GD Anadolu Otoktonu

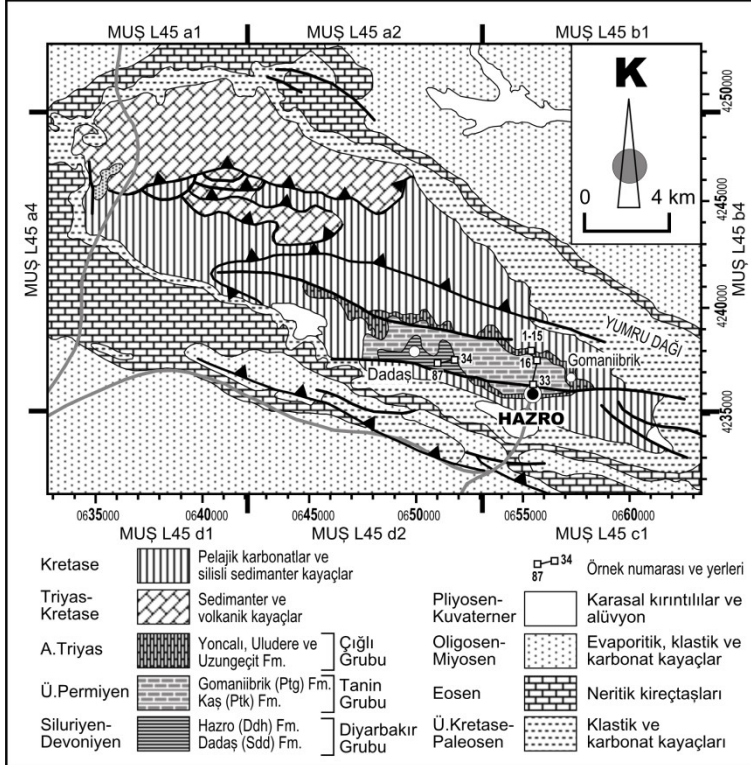
Organik maddeli litolojilerin yer aldığı Diyarbakır-Hazro Bölgesi'nde Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşı birimler, Hazro Antiklinali çekirdeğinde yüzeylenen Diyarbakır, Tanin ve Çiğli Grubu olarak bilinen birimlerden oluşmaktadır. Silüriyen-Alt Triyas yaş aralığına sahip bu litostratigrafi birimlerinden Diyarbakır Grubu: şeyl, çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşan Dadaş (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen), dolomitik marn, kumtaşı, çamurtaşı, yer yer petrol sızıntılı kumtaşlarından oluşan Hazro (Alt Devoniyen) formasyonları, Tanin Grubu: kömür bantlı kumtaşı-şeyl aralanması ve kireçtaşı, dolomit ve kumtaşı-şeyl aralanmasından oluşan Gomanibrik (Üst Permiyen) formasyonları; Çiğli Grubu: dolomit, kireçtaşı ve marndan oluşan Yoncalı, Uludere formasyonları ile kumtaşı-şeyl aralanmasından oluşan Uzungeçit (Alt Triyas) formasyonları ile temsil edilmektedir (Şekil 12, 13; Yılmaz ve Duran, 1997; Günay, 1998). Proje kapsamında proje yürütücüsü tarafından daha önce Dadaş ve Kaş formasyonlarından alınan organik maddeli örneklerin vitrinit yansıma verileri değerlendirilmiştir.





Şekil 11. Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Permiyen yaş aralığına sahip, organik madde içeren formasyonların görünümü ve örnek lokasyonları.





Şekil 12. Hazro bölgesi GD Anadolu Otoktonunun jeoloji haritası (MTA, 2002; Bozkaya ve diğ., 2009b).

| ÜST SİSTEM  | SİSTEM    | SERİ       | GRUP       | FORMASYON          | Kalınlık (m) | KAYA TÜRÜ | AÇIKLAMALAR   |
|---|-----------|------------|------------|--------------------|--------------|-----------|---|
| MESOZOYİK   | KRETASE   | ERKEN-GEÇ  | MARDİN     |                    | 350          |           | Çörtlü kireçtaşı-dolomit  |
|   |           |            |            |                    |              |           | Kireçtaşı-dolomit   |
| MESOZOYİK   | TRİYAS    | ERKEN-ORTA | ÇİĞLİ      | Uzungeçit          | 110-220      |           | Alacalı renkli kumtaşı-şeyl ar dalanması  |
|   |           |            |            | Uludere<br>Yoncalı |              |           | Kumlu kireçtaşı<br>Killi kireçtaşı-dolomit-marn<br>Sarımsı ve alacalı renkli marn<br>Biyoklastik kireçtaşı  |
| PALEOZOYİK  | PERMIYEN  | GEÇ        | TANIN      | Gomanibrik         | 650          |           | Açık kahve ve koyu gri renkli kireçtaşı ve açık gri-krem renkli dolomit ve ender dolomitik marn   |
|   |           |            |            |                    |              |           | Gri renkli kumtaşı-şeyl ar dalanması  |
|   |           |            |            |                    |              |           | Açık kahverengli yer yer petrol sızıntıları içeren dolomit ve dolomitik marn<br>Gri fosilli kireçtaşı   |
| PALEOZOYİK  | DEVONİYEN | ORTA       | DIYARBAKIR | Kaş                | 60           |           | Kömür bantlı sarımsı renkli kumtaşı-gri şeyl ar dalanması   |
|   |           |            |            | Hazro              | 110          |           | Yeşil-kahverengi çamurtaşı<br>Gri-yeşil renkli şeyl arakatlı beyaz-krem renkli kumtaşı<br>Gri-yeşil renkli dolomit, kumlu dolomit ve dolomitik marn |
| SİLURİYEN-DEVONİYEN-ERKEN DEVONİYEN-GEÇ SİLURİYEN |           |            |            | Dadaş              | 460          |           | Sarımsı kahverengi kumtaşı ve kumlu kireçtaşı arakatlı grimsi yeşil çamurtaşı   |
|   |           |            |            |                    |              |           | Gri kumtaşı ve sarı kireçtaşı arakatlı kahverengimsi yeşil ve gri renkli şeyl   |

Şekil 13. Hazro Antiklinali görünür otokton istifinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Bozkaya ve diğ., 2009b).

## 4. MİNERALOGİ-PETROGRAFI

### 4.1. Mineraloji

#### 4.1.1. İstanbul-Zonguldak Birliği

İstanbul-Zonguldak Birliği kayaçlarının mineralojik özellikleri Bozkaya ve diğ. (2012a, b; 2014) İstanbul-Zonguldak Birliği kayaçları başlıca fillosilikat/kil, kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, hematit ve götit içermektedir. Kil minerallerini illit, klorit, kaolinit ve karışık tabakalı klorit-vermikülit (C-V), klorit-smektit (C-S) ve illit-klorit (I-C) oluşturmaktadır. Kuvars, feldispat ve kil mineralleri hemen hemen her seviyede gözlenmekte, kalsit ve dolomitler Silüriyen-Devoniyen yaşlı birimlerde artmaktadır. İllitler tüm seviyelerde gözlenmekte ve en bol kil bileşenini temsil etmektedir. Klorit ve kloritli aratabakalı kil mineralleri (C-S, C-V ve I-C) artan feldispat miktarı ile birlikte Ordoviziyen ve Karbonifer yaşlı birimlerde artmaktadır. Ordoviziyen'in alt seviyelerinde klorit ve I-C, üst seviyelerinde C-S egemendir. İstanbul ve Zonguldak birliklerinin eşdeğer seviyeleri göz önünde bulundurulduğunda, İstanbul Birliği'nde C-V'nin yaygın olması, Zonguldak Birliğinde Devoniyen'den itibaren kaolinit gözlenmesi önemli farklılıklardır.

İllit KI verileri geniş bir aralık sunmakta olup, İstanbul ve Zonguldak birliklerine göre farklılıklar bulunmaktadır. İstanbul Birliği'nin Ordoviziyen-Alt Silüriyen kesimi epizon-düşük ankizon, Üst Silüriyen-Karbonifer kesimi ise düşük ankizon-yüksek diyajenez derecesine sahip olup, Karbonifer'den Ordoviziyen'e doğru tedrici olarak artan diyajenez/metamorfizma derecesi sergilemektedir. Zonguldak Birliği'nin Ordoviziyen-Silüriyen kesimi benzer biçimde düşük ankimetamorfik-yüksek diyajenetik, Devoniyen kesimi ise düşük diyajenetik olup, İstanbul Birliği'ne göre daha düşük diyajenez/çok düşük dereceli metamorfizma derecesine sahiptir. Zonguldak Birliği'nde Devoniyen'den Ordoviziyen'e doğru tedrici bir artıştan ziyade, Silüriyen ile Devoniyen sınırında KI verilerinde ani değişim gözlenmektedir. İstanbul-Zonguldak Birliği illitleri geniş b hücre mesafesi aralığına sahip olup, Ordoviziyen-Silüriyen kesimi daha yüksek, buna karşın Devoniyen-Karbonifer kesimi daha düşük değerler sunmaktadır. Artan diyajenez-metamorfizma derecesiyle artan b hücre mesafesi verileri, Silüriyen ve daha yaşlı birimlerin Devoniyen-Karbonifer yaşlı birimlerden daha yüksek basınç koşullarına maruz kaldığını işaret etmektedir. Zonguldak Birliği istifinde KI değerlerine benzer biçimde, Silüriyen'den Devoniyen'e geçişte b hücre mesafesi değerleri aniden azalması dikkat çekicidir. İllit politipleri 2M1, 2M1 + 1Md ve 2M1 + 1M + 1Md birlikteliklerine sahiptir. Genel olarak, artan diyajenez/metamorfizma derecesiyle birlikte 1Md oranı azalmakta, 2M1 artmaktadır. Zonguldak Birliğinde Ordoviziyen ve Devoniyen'in alt seviyelerinde 1M, diğer seviyelerde 2M1 + 1Md birlikteliği gözlenmektedir.

#### 4.1.2. Doğu Toros Otoktonu

Geyikdağı Birliği doğu uzantısını temsil eden Doğu Toros Otoktonu Paleozoyik-Alt Mesozoyik istifine mineralojik incelemeler proje yürütücüsü tarafından daha önce ayrıntılı biçimde yayınlanmıştır (Bozkaya ve Yalçın, 1998; Bozkaya ve diğ, 2002; Bozkaya ve Yalçın, 2004). Karbonat mineralleri başlıca kalsit ile temsil olunmakta ve Şafaktepe, Ziyarettepe ve Yiğiltepe formasyonlarında bol miktarda gözlenmektedir. Kalsitlere Değirmentaş, Şafaktepe ve Ziyarettepe formasyonlarında dolomitler de eşlik etmektedir. Kuvars, feldispat ve fillosilikat miktarı Permiyen'den İnfra-Kambriyen'e doğru artmakta ve karbonat minerallerinin az olduğu Seydişehir ve Gümüşali formasyonlarında maksimum düzeye ulaşmaktadır. Kuvars Halityayla Formasyonu'nda, feldispat ise Emirgazi Formasyonu'nda artmaktadır. Fillosilikat mineralleri Emirgazi, Armutludere ve Gümüşali formasyonlarında daha bol bulunmaktadır. Fillosilikat mineral parajenezleri Emirgazi ve Değirmentaş formasyonlarında illit + klorit \* C-V, Seydişehir, Şort Tepe, Halit Yaylası formasyonlarında illit + klorit + C-V, Ayıtepesi Formasyonu'nda illit +I-S +C-S \* klorit \* C-V, Şafaktepe Formasyonu'nda illit + klorit + smektit + I-S + C-S \* C-V şeklindedir. C-V aratabakalıları Halityayla, C-S aratabakalıları ise Ayıtepesi, Şafaktepe formasyonları için karakteristiktir. Gümüşali Formasyonu'ndan itibaren kaolinit ortaya çıkmakta ve I-S karışık tabakalılarının miktarı da artmaktadır. Ziyarettepe ve Yiğiltepe formasyonlarında tümüyle, Katarası Formasyonu'nun büyük bir bölümünde illit+I-S+kaolinit parajenezi bulunmaktadır.

İllit KI incelemeleri çeşitli oranlarda I-S aratabakalıları içermeleri nedeniyle Alt Devoniyen'den (Ayıtepesi Formasyonu) daha genç formasyonlarda yapılmamıştır. Formasyonlara ait KI verilerine göre, yaşlıdan gence doğru ; Emirgazi Formasyonu epizon, Seydişehir Formasyonu düşük dereceli epizon-en yüksek dereceli diyajenez; Halityayla Formasyonu ankizon-yüksek dereceli diyajenez; Puşçutepe Şeyli düşük dereceli ankizon; Yukarıyayla Formasyonu yüksek dereceli diyajenez, Ayıtepesi Formasyonu ise yüksek-düşük dereceli diyajenez bölgeleri içerisinde kümelenmektedir. İllit b hücre mesafesi değerleri yaşlı birimlere doğru artmaktadır. Buna göre İnfra-Kambriyen-Kambriyen ve Ordovisiyen yaşlı birimler orta basınç fasiyesi (Sassi ve Scolari, 1974; Guidotti ve Sassi, 1986) bölgesinde, Silüriyen yaşlı birimler ise düşük-orta basınç fasiyesi sınırına yakın bölgede yer almaktadır. İllitler 2M1 + 1Md, 2M1 + 1M + 1Md politipi ile temsil olunmakta, 2M1 oranı diyajenetik Gümüşali Formasyonu'ndan anki-epimetamorfik Seydişehir formasyonu alt seviyelerine doğru artmakta, epimetamorfik Emirgazi formasyonunda bütünüyle 2M1 politipi gözlenmektedir. 1M politipi bütünüyle Kambriyen yaşlı Feke formasyonu ile sınırlıdır.

### 4.1.3. GD Anadolu Otoktonu

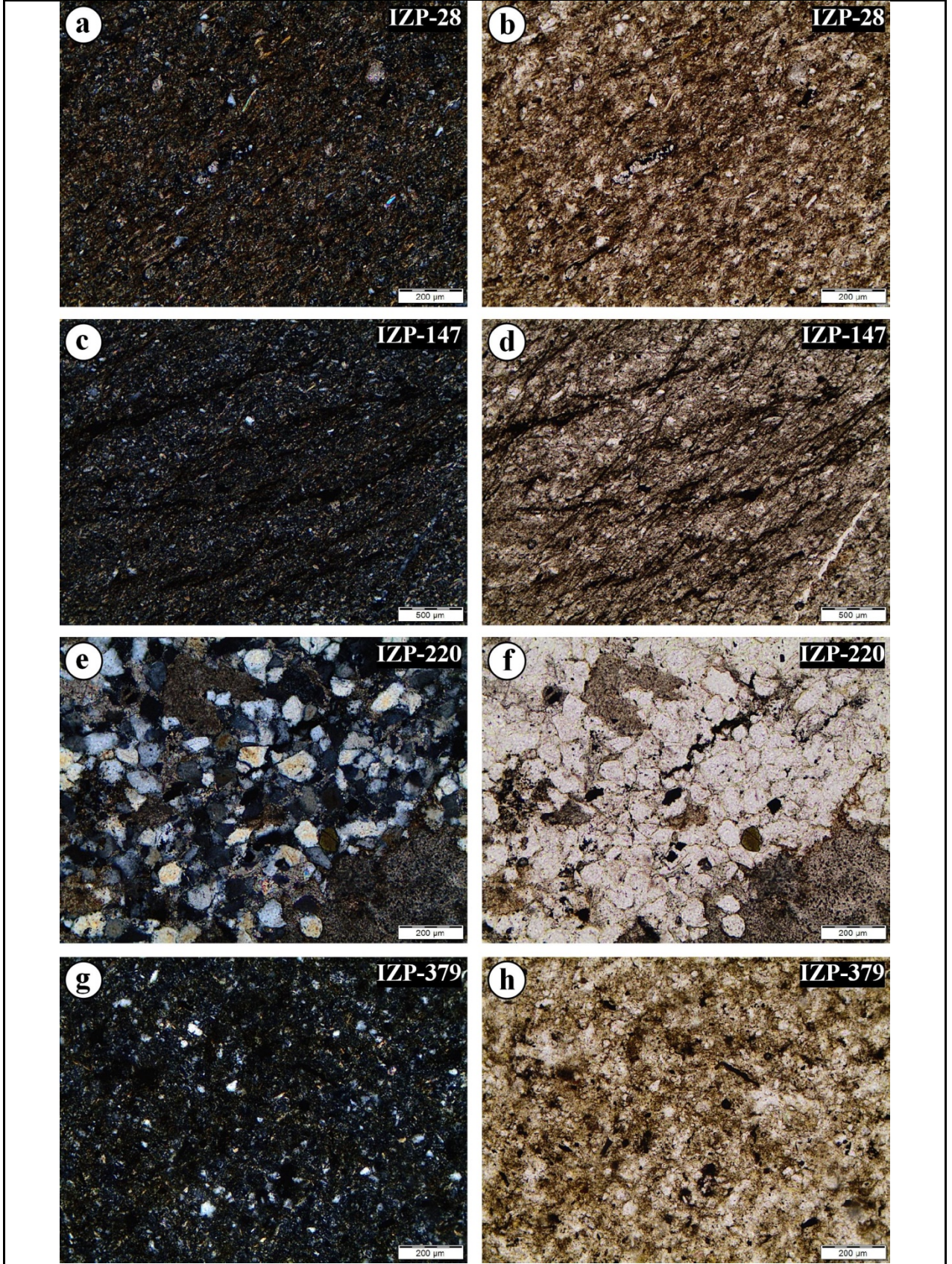
Diyarbakır-Hazro bölgesi Paleozoyik-Alt Mesozoyik istifinin mineralojik verileri daha önceki çalışmalarda ayrıntılı olarak sunulmuştur (Bozkaya ve diğ., 2009b; 2011). İstifteki tüm kayaç ve kil fraksiyonunu oluşturan minerallerin düşey yöndeki kronostratigrafik dağılımlarına göre; sedimanter istif başlıca kalsit, dolomit, kuvars, feldispat, götit ve fillosilikat (kaolinit, I-S, illit, glokonit) mineralleri içermekte, bunlara ender olarak jips, jarosit, hematit ve gipsit eşlik etmektedir. Silüriyen-Devoniyen'de kuvars ve feldispat, Devoniyen, Üst Permiyen ve Triyas'ta ise özellikle dolomit artmaktadır. Götit Üst Permiyen (Gomaniibrik) ve Triyas'ta (Çığlı), hematit ve gipsit Devoniyen'de (Dadaş), jarosit Devoniyen ve Üst Permiyen'de (Hazro ve Kaş), jips ise Triyas'ta (Çığlı) saptanmıştır. Kil minerallerinden kaolinit Silüriyen-Devoniyen ve Üst Permiyen'de (Dadaş, Kaş ve Gomaniibrik), I-S Alt Devoniyen (Hazro) ve Triyas'ta daha bol, glokonit ise bütünüyle Triyas'ta bulunmaktadır. Kil minerallerinin dağılımı litolojik farklılıklara daha çok bağımlı gözükmektedir. Nitekim, diyajenetik minerallerden kaolinit kırıntılı litolojilerin olduğu seviyelerde, I-S ise karbonatlı kayaç seviyelerinde daha bol gözlenmektedir. Örneklerin smektit içermemesi ve I-S'lerin yüksek illit içeriğine sahip olması (% 80-95), az da olsa illitlerin de gözlenmesi geç diyajenetik olgunlaşma derecesiyle uyusmaktadır (Bozkaya ve diğ., 2009b).

## 4.2. Petrografi

### 4.2.1. İstanbul-Zonguldak Birliği

İstanbul ve Zonguldak Birliklerini oluşturan Paleozoyik birimler başlıca şeyl, silttaş, kumtaş, kireçtaş ve dolomit ile bunların çok düşük dereceli metamorfik eşdeğerlerinden oluşmaktadır. Fillosilikat mineralleri orta- ve iri taneli levhalar biçiminde detritik kökenli ve gözenekte ince-taneli otijenik olarak gözlenmektedir. Ordoviziyen-Silüriyen ve Karbonifer'deki arkozik ve litarenitik kumtaşlarında kloritleşmiş biyotit, klorit ve feldispat, Devoniyen'in kuvars arenitlerinde ise ince-taneli beyaz mika (serizit) yaygındır. Litarenitik kumtaşlarında, Ordoviziyen'de metamorfik ve plütonik, Karbonifer'de volkanik kayaç parçacıkları artmaktadır. Zonguldak Birliği'nin Devoniyen yaşlı kumtaşlarında otijenik kaolinler de gözlenmiştir. Yaşlı birimlere doğru ilksel tabakalanma düzlemlerine yaklaşık dik konumlu sleyt klivajları ortaya çıkmakta, Ordoviziyen'in ince-taneli metaklastiklerinde daha da belirginleşmektedir (Bozkaya ve diğ., 2012a, b). İstanbul Birliği Ordoviziyen metaklastiklerinde detritik mika ve kloritlere yer yer klorit-mika istifleri eşlik etmektedir. Organik madde seviyeleri tabakalanma düzlemlerine paralel yönelim sunan, yer yer sleyt dilinimlerinden etkilenmiş 50-200 µm kalınlığa ve 500 µm'yi aşan uzunluğa sahip mercerler halinde gözlenmektedir (Şekil 14).





Şekil 14. İstanbul-Zonguldak Birliği kayaların da tabakalanma düzlemlerine paralel opak görünümlü organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Metaşeyl (Karadere Formasyonu), (c-d) Metaşeyl (Fındıklı Formasyonu), (e-f) Siltli şeyl (Yılanlı Formasyonu), (g-h) Şeyl (Trakya Formasyonu).



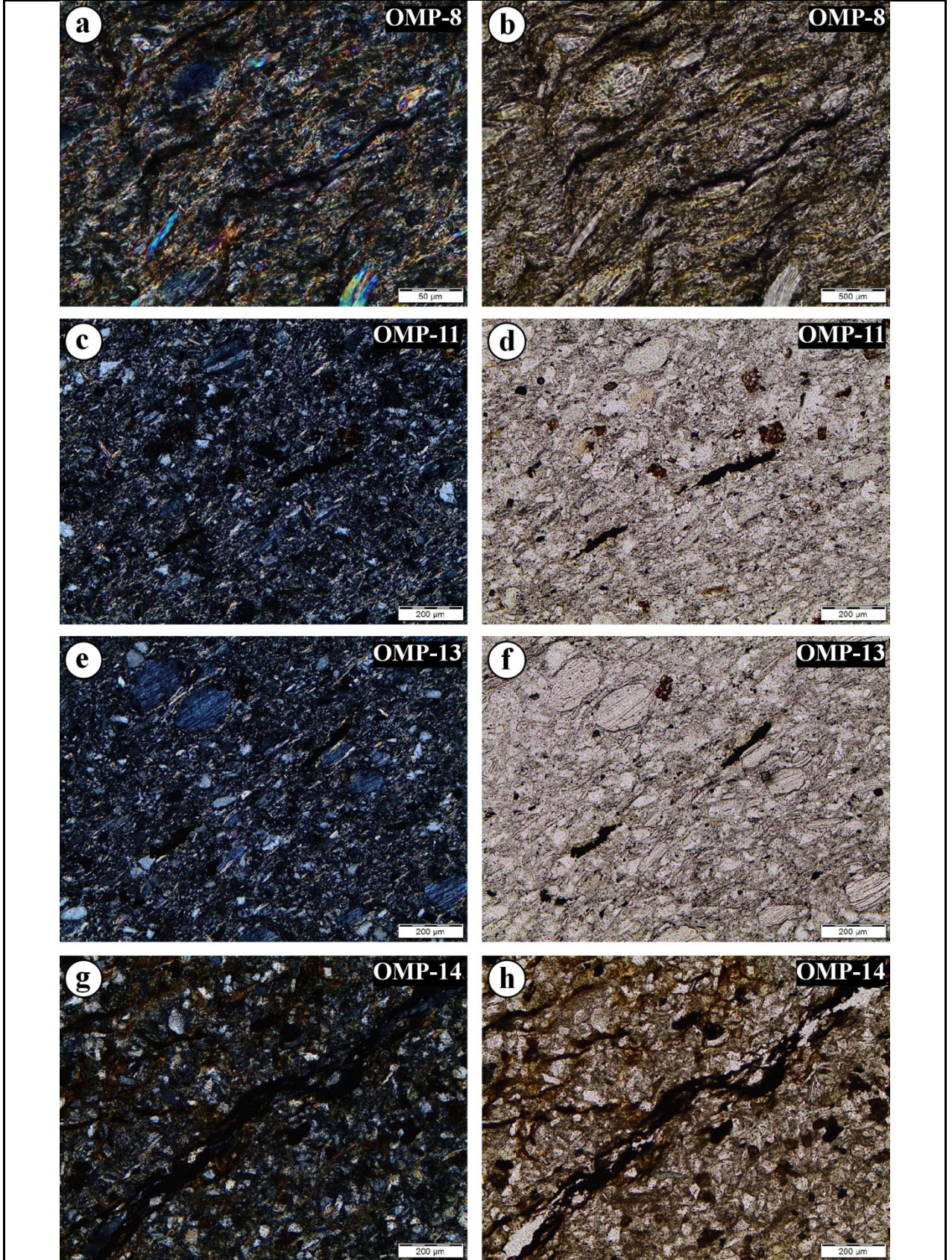
#### 4.2.2. Doğu Toros Otoktonu

İstifin İfrakambriyen-Alt Ordoviziyen yaşlı alt kesimlerinde (Emirgazi, Değirmentaş ve Seydişehir Formasyonu'nun alt kesimi) yer alan sleytler ilksel sedimanter dokuyu önemli ölçüde kaybetmiş olup, belirgin bir sleyt dilinimi sergilemektedir (Şekil 15a-d). Sleytler, kil matriksten itibaren neomineralizasyon ve rekristalizasyon süreçleriyle oluşan serizit ve kloritler ile rekristalize veya gözenek dolgusu kuvarlar içermektedir (Bozkaya ve Yalçın, 1998; Bozkaya ve diğ., 2002). Meta-silttaşları sleytlere göre ilksel sedimanter dokularını kısmen korumuş olup, genellikle tabakalanma düzlemine paralel yönlendirmeleri daha belirgin iken, dilinim daha zayıf gelişmiştir. Gözenek dolgusu şeklindeki neoforme kuvarların yanı sıra, serizit ve kloritten oluşan matriks ile girift sınır ilişkileri sunan detritik kuvarlar içermektedir. Emirgazi Formasyonu'ndan Seydişehir Formasyonu'nun orta kesimlerine kadar gözlenen klorit-mika istifleri klorit bakımından olup, uzun eksenleri şistozite düzlemleri ile kesilmeleri nedeniyle aniden kütleleşmiş bir görünüm sunmaktadır (Şekil 15 a-f). Klorit-mika istiflerinin uzun eksenleri ile istiflerdeki fillosilikatların {001} düzlemleri birbirlerine ve tabakalanma düzlemine yaklaşık paralel konumdadır. Bununla birlikte eğer de olsa uzun eksenleri tabakalanma düzlemleriyle 15-20° arasında açı yapan istifler de gözlenmiştir. Seydişehir Formasyonunun alt seviyelerindeki epimetamorfik klorit-sleytlerin yerini istifin orta kesimlerine doğru ankimetamorfik sleytler ve metasilttaşları almaktadır (Şekil 15 e-h). Orta kesimlerdeki meta-kumtaşlarında ilksel doku ortaya çıkmakta, üste doğru belirginleşmektedir. Şort Tepe Formasyonu ile Halıyayla Formasyonu'ndaki kayaçlar büyük ölçüde ilksel sedimanter dokularını korumuş olup düşük dereceli ankizon ve ileri diyajenez temsil etmektedir. Silüriyen ve daha genç birimlerdeki litolojiler büyük ölçüde diyajenetik dokuya (mikrolaminalanma, mikroderecelenme v.b.) sahiptir (Şekil 16). İncelenen örnekler demiroksit-hidroksit (hematit ve götit) ve demir sülfür (framboyidal pirit) mineralleri de içermektedir (Şekil 17).

#### 4.2.3. GD Anadolu Otoktonu

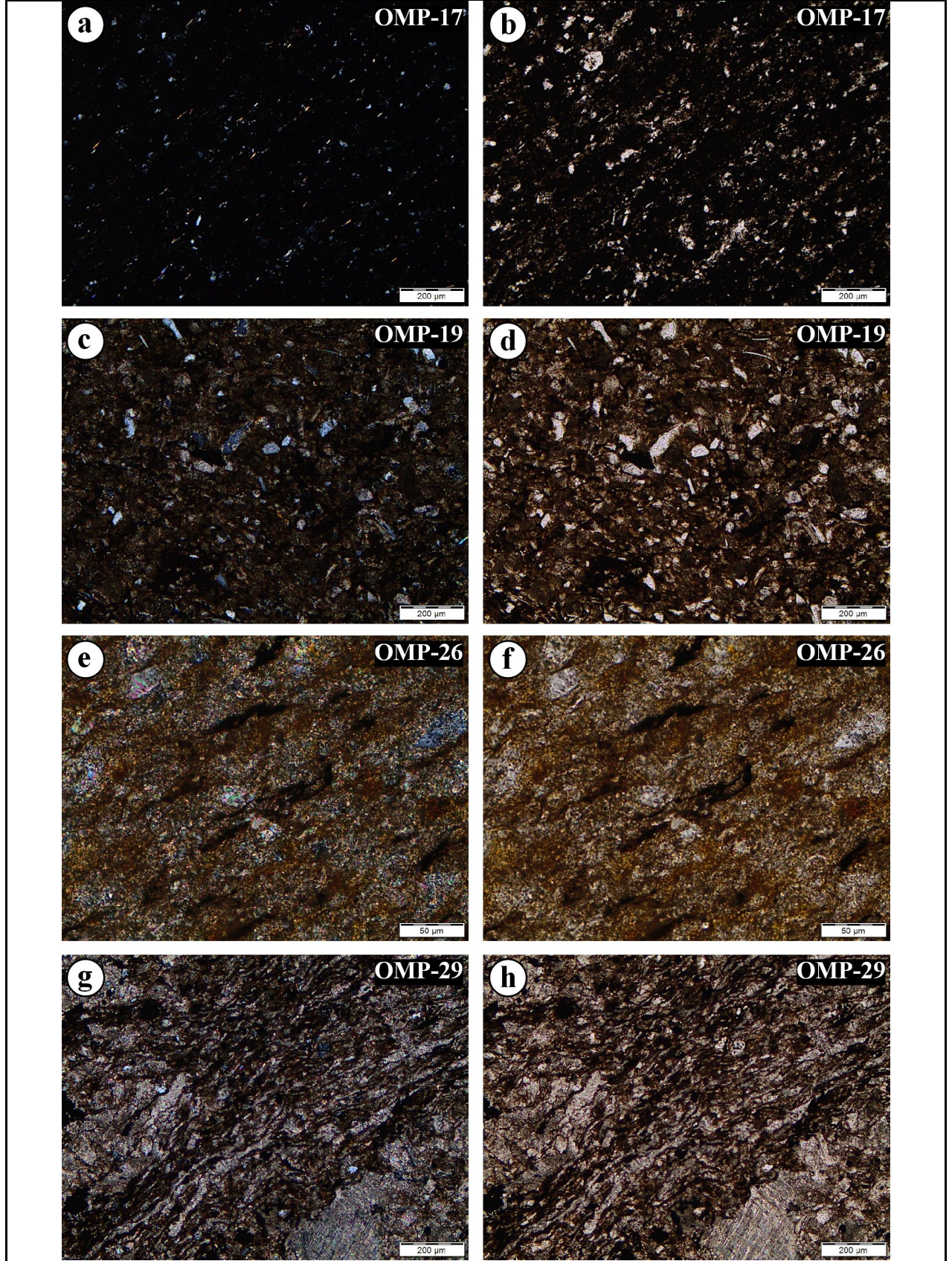
Dadaş Formasyonu mikrolaminalanma ve mikroyönelme sunan şeyller kırıntılı dokuyu korumuş olup tümüyle serizitik matriksten oluşmakta, klastik taneler (özellikle kuvarlar) matriks ile keskin ve eğer olarak girift ilişki sunmaktadır (Bozkaya ve diğ., 2009). Hazro ve Kaş formasyonları klastik kayaçları herhangi bir tane yönlendirme göstermemekte, orta-kötü boylanmalı, köşeli-az yuvarlaklaşmış bileşenlerden oluşmaktadır. Matriksteki kil minerallerinin serizitleşmemesi, tane sınırlarının keskin olması ve matriksle girift sınır ilişkisi göstermemesi bunların düşük diyajenez derecesine sahip olduğunu göstermektedir. Glokonit içeren Gomanibrik ve Çıgılı grubu dolomitleri sparitik, kireçtaşları mikritik bağlayıcı olup, düşük diyajenez yansıtır biçimde herhangi bir breşik ve stilolitik doku sergilememektedir.





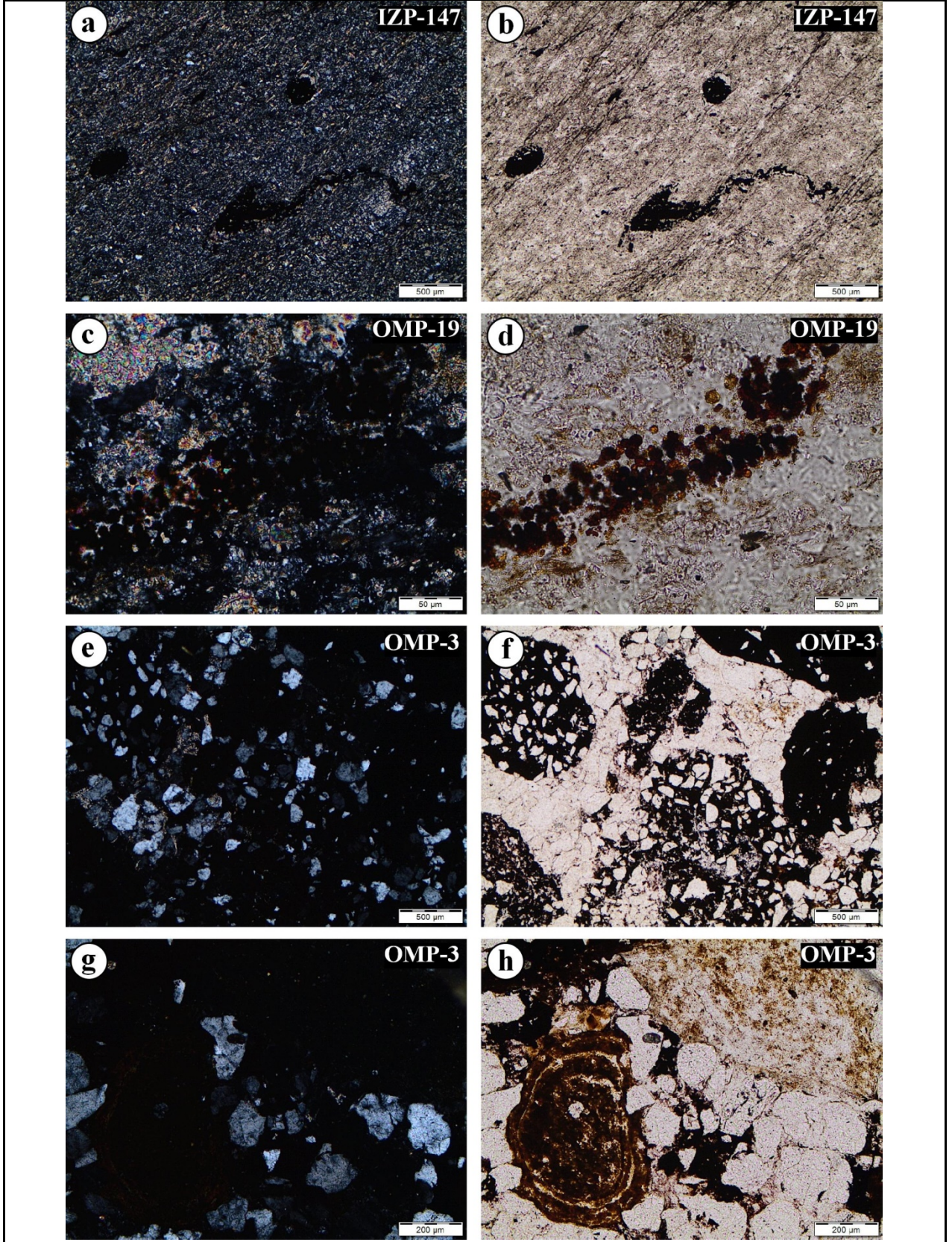
Şekil 15. Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen-Silüriyen kayaçlarında tabakalanma düzlemlerine paralel organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Sleyt (Seydişehir Formasyonu), (c-f) Metasiltaşı (Seydişehir Formasyonu), (g-h) Siltaşı (Puşcu Tepe Formasyonu).





Şekil 16. Doğu Toros Otoktonu kayaçlarında Silüriyen-Devoniyen kayaçlarında tabakalanma düzlemlerine paralel organik madde seviyeleri (sol çift nikol, sağ tek nikol). (a-b) Şeyl (Puşçu Tepe Formasyonu), (c-d) Siltli şeyl (Ayıtepesi Formasyonu), (e-f) Kalkşeyl (Gümüşali Formasyonu), (g-h) Kireçtaşı (Şafaktepe Formasyonu).





Şekil 17. Organik maddeli örneklerde demir mineralleri (sol: çift nikol, sağ: tek nikol). (a-b) Metaşeyli örneğinde framboyidal pirit toplulukları (Fındıklı Formasyonu, Zonguldak Birliği), (c-d) Siltli şeyli örneğinde pirit ve götit toplulukları (Ayıtepesi Formasyonu), (e-h) Karbonatlı kumtaşı örneğinde hematit ve götitler (Ziyarettepe Formasyonu).

## 5. ORGANİK MADDE YANSIMASI

### 5.1. İstanbul-Zonguldak Birliği

İstanbul ve Zonguldak birliklerinin farklı yaş, mineralojik bileşim ve diyajenez derecelerine sahip (Çizelge 2) organik madde içeren örneklerin organik petrografik incelemelerine göre; Ordoviziyen (Karadere Formasyonu) ve Silüriyen (Fındıklı Formasyonu) örnekleri yaygın biçimde graptolit, bitüminit ve alginit, ender olarak inertinit ve fusinit türü maseraller içermektedir. Devoniyen-Karbonifer yaşlı Fındıklı Formasyonunda ise graptolit hariç diğer tüm maseraller gözlenmiştir. Hemen hemen tüm örnekler pirit içermekte olup, piritlerin oksitlenme veya bozunma derecesi organik madde yansımalarının kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiş, aşırı bozunmuş örneklerin yansıma değerleri kullanılmamıştır. Graptolitler çoğunlukla tanımlanamayan organik madde türünde, az sayıdaki örnekte belirgin bir morfoloji sergilemektedir. Bitüminitler çoğunlukla taze, yer yer dalgalı konumdadır. Devoniyen Yılanlı formasyonuna ait organik madde içeren örnekte, bolluk sırasına göre vitrinit, alginit ve bitüminit belirlenmiştir. Örneklerin organik petrografik özelliklerine ait genel karakteristikleri her bir çizelgenin altında verilmiştir (Çizelge 3-10).

Karadere formasyonu şeyl örneğinden (IZP-28) elde edilen bitüminit ve graptolit yansıma değerleri (Bak Çizelge 3; Şekil 18); örneğin yüksek diyajenetik KI (0.79  $\Delta^{\circ}2\theta$ ) verileriyle uyumlu gözükmeyle birlikte, piritlerin çoğunlukla oksitlenmiş olması ve bitümlerin dalgalı, bozunmuş ve/veya oksitlenmiş olması, yansıma değerlerinin kullanılabilirliğini şüpheli duruma getirmiştir. Bu nedenle, organik madde yansıma değerleri istifin diyajenez/metamorfizma derecesi açısından değerlendirilme dışı tutulmuştur.

Çizelge 2. Organik madde yansımaları incelemeleri yapılan örneklerin mineralojik özellikleri (Bozkaya ve diğ., 2012a ve b)

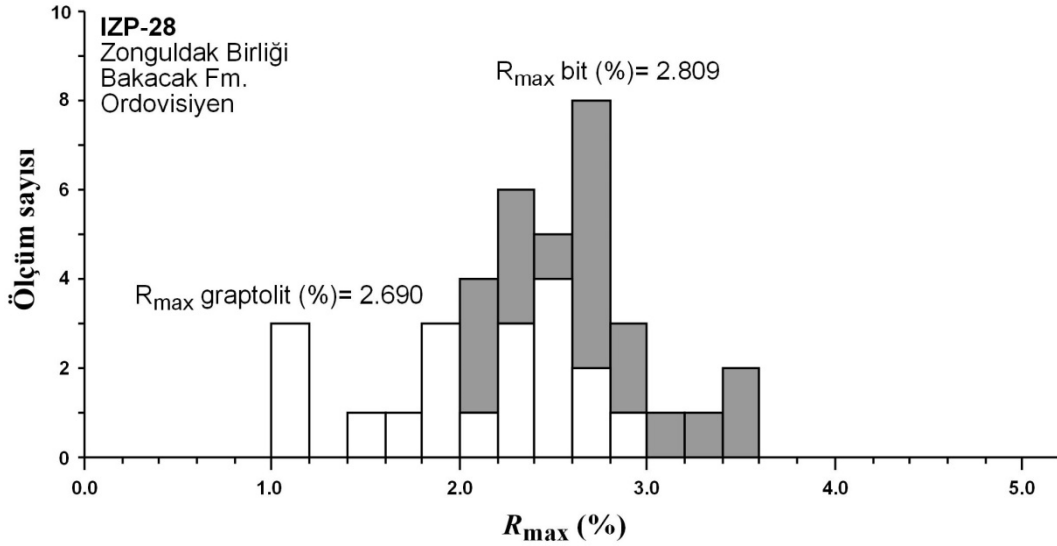
| Örnek             | Formasyon | Yaş         | Ka | Ku | Fel | Kil | I  | C  | C-V | C-S | I-C | I <sub>2</sub> /I <sub>1</sub> | KI   |
|-------------------|-----------|-------------|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|--------------------------------|------|
| Zonguldak Birliği |           |             |    |    |     |     |    |    |     |     |     |                                |      |
| IZP-28            | Karadere  | Ordoviziyen | 13 | 34 | 16  | 37  | 83 | 7  |     |     | 10  | 0.52                           | 0.79 |
| IZP-147           | Fındıklı  | Silüriyen   |    | 32 | 12  | 56  | 70 | 30 |     |     |     | 0.63                           | 0.45 |
| IZP-148           | Fındıklı  | Silüriyen   | 6  | 32 | 13  | 49  | 60 | 40 |     |     |     | 0.81                           | 0.63 |
| IZP-150           | Fındıklı  | Silüriyen   | 6  | 23 | 22  | 49  | 65 | 35 |     |     |     | 0.73                           | 0.52 |
| IZP-220           | Yılanlı   | Devoniyen   | 6  | 40 | 7   | 47  | 76 | 7  |     |     | K17 | 0.60                           | 1.44 |
| İstanbul Birliği  |           |             |    |    |     |     |    |    |     |     |     |                                |      |
| IZP-375           | Trakya    | Karbonifer  |    | 30 | 16  | 53  | 24 | 8  | 26  | 29  | 13  | 0.59                           | 0.79 |
| IZP-379           | Trakya    | Karbonifer  |    | 27 | 12  | 61  | 26 | 6  | 21  | 30  | 17  | 0.77                           | 0.67 |

Ka=Kalsit, Ku=Kuvars, Fel=Feldispat, I=İllit, C=Klorit, C-V=Klorit-Vermikülit, C-S=Klorit-Smektit, I-C=İllit-Klorit. İtalik değerler örneğin eşdeğer seviyesindeki diğer örnekten alınan değerleri yansıtmaktadır.

Çizelge 3. Zonguldak Birliği Ordoviziyen yaşlı Karadere Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-28) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max}-R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|-------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 19)</b> |           |           |                   |            |
| Minimum                   | 2.165     | 1.043     | 0.134             | 1.228      |
| Maksimum                  | 3.421     | 2.920     | 2.333             | 3.061      |
| Ortalama                  | 2.690     | 2.111     | 0.682             | 2.452      |
| Standart sapma            | 0.416     | 0.572     | 0.618             | 0.471      |
| <b>Bitüminit (n = 16)</b> |           |           |                   |            |
| Minimum                   | 2.066     | 1.077     | 0.134             | 1.932      |
| Maksimum                  | 3.421     | 2.920     | 2.333             | 3.061      |
| Ortalama                  | 2.809     | 2.165     | 0.754             | 2.542      |
| Standart sapma            | 0.415     | 0.544     | 0.651             | 0.376      |

Piritler çoğunlukla oksitlenmiş veya bozunmuştur. Bitüminitler dalgalı olup, bozunmuş veya oksitlenmiştir. Graptolitler tanımlanamayan organik madde türünde olup, belirgin bir morfoloji sunmamaktadır.



Şekil 18. Zonguldak Birliği Ordoviziyen yaşlı Karadere formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-28) graptolit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

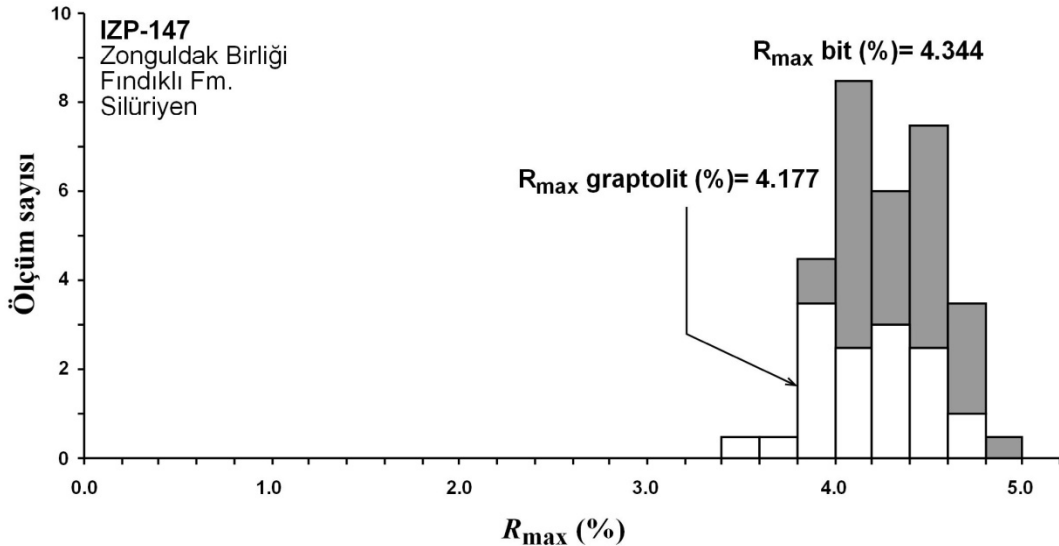
Hendek bölgesi Çamdağ kuzeyinde Kurudere köyü civarından alınan Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait metaşeyl örneklerinde (IZP-147, 148, 150) ölçülen graptolit ve bitüminit ortalama  $R_{max}$  (%) yansıma değerleri birbirine yakın olup (Çizelge 4-6 ve Şekil 19-21) antrasitik evreyi yansıtmaktadır. Yansıma verileri ankizonal Kl değerleri (Çizelge 2) ve sleyt klivaj gelişimiyle karakteristik dokusal özellikler (bak Şekil 14) ile uyumludur. Yüksek çift yansıma değerleri formasyonun önemli ölçüde tektonik deformasyon (basınç) etkisinde kaldığına işaret etmektedir. Nitekim İstanbul ve Zonguldak birliklerinde Ordoviziyen-Silüriyen yaşlı birimlerin Devoniyen ve daha genç birimlere göre daha yüksek  $b$  hücre mesafesi değerlerine sahip olması (Bozkaya ve diğ., 2012a ve b) bu görüşü destekler niteliktedir.



Çizelge 4. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli siltli şeyl örneğinin (IZP-147) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 27)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.525     | 2.198     | 0.125               | 3.254      |
| Maksimum                  | 4.665     | 3.820     | 2.336               | 4.954      |
| Ortalama                  | 4.177     | 3.044     | 1.240               | 3.664      |
| Standart sapma            | 0.284     | 0.587     | 0.572               | 0.365      |
| <b>Bitüminit (n = 35)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.911     | 2.198     | 0.125               | 3.173      |
| Maksimum                  | 4.820     | 3.920     | 2.336               | 4.954      |
| Ortalama                  | 4.344     | 3.031     | 1.182               | 3.622      |
| Standart sapma            | 0.241     | 0.564     | 0.574               | 0.356      |

Piritler orijinal taze dokusunu çoğunlukla korumuş, bazı kesimlerde az da olsa oksitlenmiştir. Bitüminitler çoğunlukla taze, ender olarak dalgalı olup, az miktarda bozunmuş veya oksitlenmiştir. Graptolitler tanımlanamayan organik madde türünde olup, belirgin bir morfoloji sunmamaktadır.

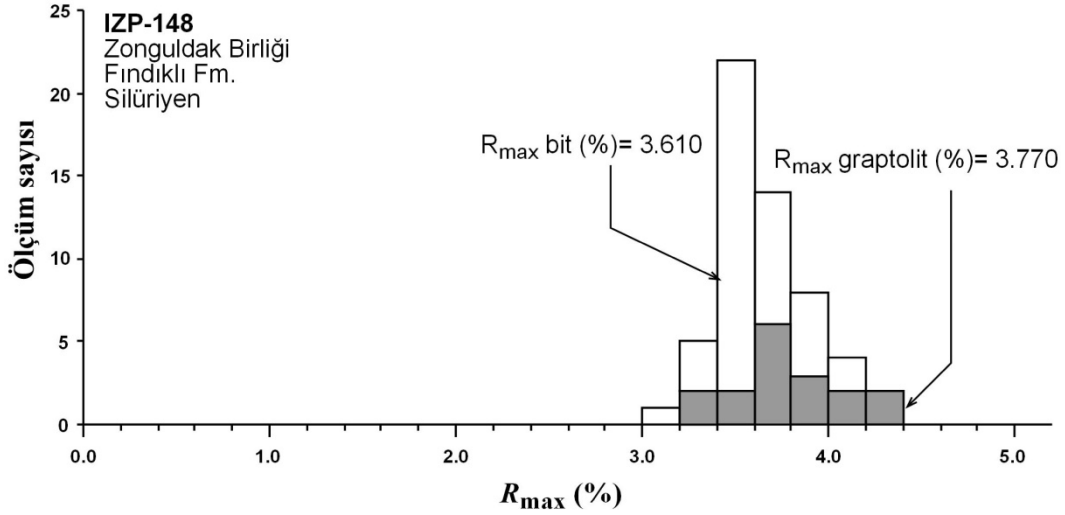


Şekil 19. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-147) graptolit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

Çizelge 5. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-148) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 18)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.292     | 1.746     | 0.036               | 3.021      |
| Maksimum                  | 4.358     | 4.171     | 2.612               | 4.189      |
| Ortalama                  | 3.770     | 3.004     | 0.755               | 3.381      |
| Standart sapma            | 0.307     | 0.592     | 0.713               | 0.311      |
| <b>Bitüminit (n = 38)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.092     | 1.746     | 0.036               | 3.021      |
| Maksimum                  | 4.122     | 4.171     | 2.612               | 4.189      |
| Ortalama                  | 3.610     | 3.068     | 0.624               | 3.380      |
| Standart sapma            | 0.212     | 0.441     | 0.540               | 0.239      |

Piritler mükemmel derecede korunmuş, doğal dokusunu yansıtmaktadır. Organik madde içeriği düştüktür (< %5). Graptolit enderdir. Bitüminitler taze (bozunmamış) olup, az da olsa inertinit ve füzinitle de saptanmıştır

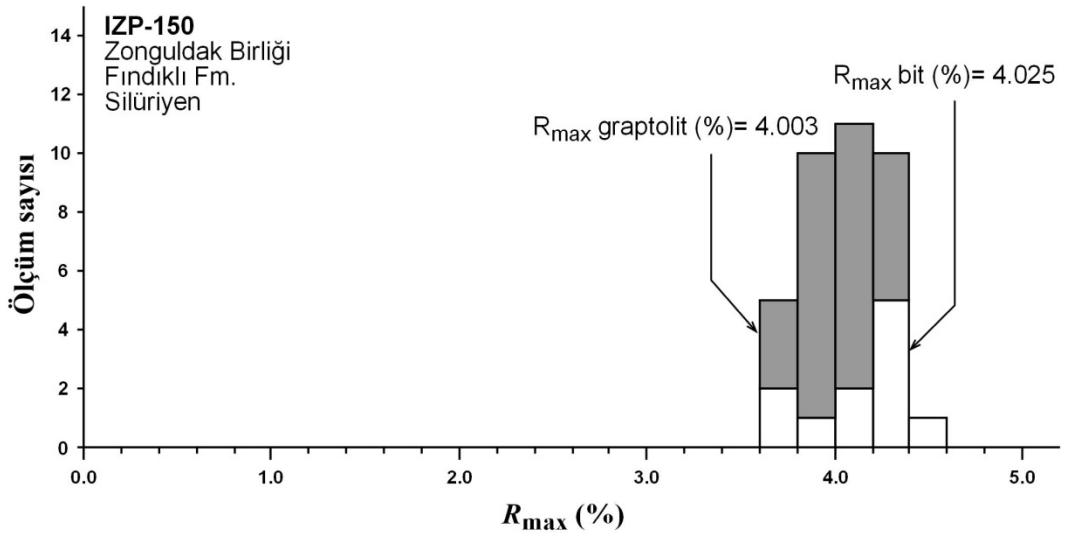


Şekil 20. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-148) graptolit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

Çizelge 6. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli siltli şeyl örneğinin (IZP-150) graptolit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 26)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.702     | 1.316     | 0.121               | 2.902      |
| Maksimum                  | 4.294     | 4.129     | 3.172               | 4.190      |
| Ortalama                  | 4.003     | 2.925     | 1.208               | 3.529      |
| Standart sapma            | 0.166     | 0.686     | 0.775               | 0.327      |
| <b>Bitüminit (n = 11)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 3.736     | 1.316     | 0.346               | 3.719      |
| Maksimum                  | 4.362     | 3.528     | 3.172               | 2.902      |
| Ortalama                  | 4.025     | 2.578     | 1.368               | 3.353      |
| Standart sapma            | 0.312     | 0.541     | 0.640               | 0.339      |

Piritler yaygın olup, mükemmel derecede korunmuştur. Organik madde içeriği düşüktür (< %5). Alginit yaygın olup, toplam organik madde içeriğinin yaklaşık % 80'ini oluşturmaktadır. Ölçümler graptolit (~ % 10) ve bitüminit (< % 1) üzerinde gerçekleştirilmiştir. İnertinitler (~ % 10), bazıları detritik taşınmayı yansıtır biçimde yuvarlaklaşmıştır



Şekil 21. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-150) graptolit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

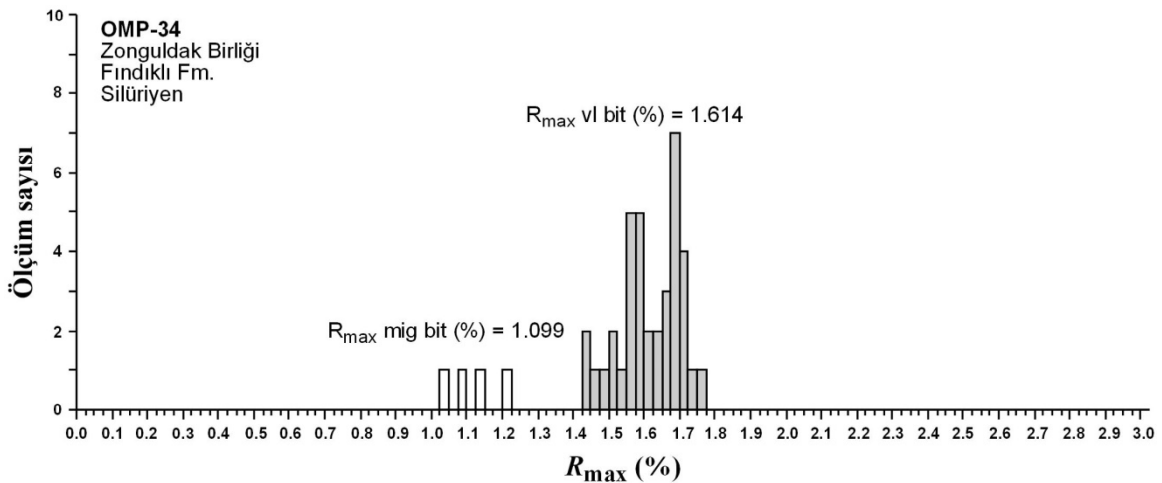
Bartın bölgesi Eflani-Safranbolu arasındaki Çatak köyü civarından alınan Silüriyen Fındıklı Formasyonuna ait silttaşı örneğindeki migrabitüm ve vitrinit benzeri bitüm üzerinde ölçülen yansıma değerleri (Çizelge 7; Şekil 22) Çamdağ bölgesindekilerden daha düşük olup, orta uçuculu bitümlü kömür evresine karşılık gelmektedir. Organik madde yansıma verileri illit yüksek dereceli diyajenezi işaret eden KI verileri ile de uyumludur. Çift yansıma değerleri düşük olup, Çamdağ bölgesindekilerden daha düşük deformasyon etkisini işaret etmektedir.

Devoniyen-Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait örneklerden Bartın kuzeybatısından alınan örnekte (IZP-220) ölçülen vitrinit yansıma değerleri yüksek uçuculu bitümlü kömür evresini yansıtmaktadır (Çizelge 8, Şekil 23). Formasyonun Zonguldak güneyi Gökgöl tüneli yol yarmasındaki yüzleklerinden alınan karbonatlı kumtaşı ve kireçtaşı örneklerinde (OMP-31 ve 33; bakınız Şekil 5, 7 ve 8) gerçekleştirilen vitrinit yansıma ölçümleri (Çizelge 9-10, Şekil 24-25) sırasıyla yüksek uçuculu ve orta uçuculu bitümlü kömür derecesine sahiptir.

Çizelge 7. Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait silttaşı örneğinin (OMP-34) migra bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Migra bitüminit (n = 5)</b>              |           |           |                     |            |
| Minimum                                     | 1.027     | 0.950     | 0.017               | 0.989      |
| Maksimum                                    | 1.212     | 1.096     | 0.116               | 1.154      |
| Ortalama                                    | 1.099     | 1.037     | 0.063               | 1.068      |
| Standart sapma                              | 0.076     | 0.057     | 0.037               | 0.065      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 110)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                     | 1.427     | 1.238     | 0.004               | 1.414      |
| Maksimum                                    | 1.762     | 1.732     | 0.279               | 1.736      |
| Ortalama                                    | 1.614     | 1.508     | 0.103               | 1.561      |
| Standart sapma                              | 0.087     | 0.103     | 0.074               | 0.086      |

Piritler oldukça taze, bitümler çoğunlukla oksitlenmiş (decomposed), migrabitüm ve vitrinit benzeri bitüm enderdir.

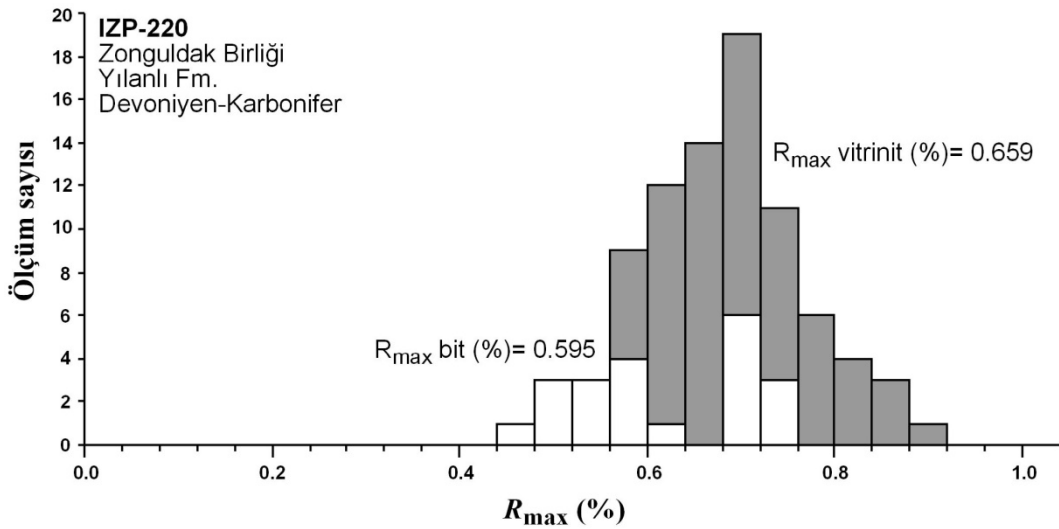


Şekil 22. Zonguldak Birliği Silüriyen yaşlı Fındıklı Formasyonuna ait organik maddeli silttaşı örneğinin (OMP-34) migra bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

Çizelge 8. Zonguldak Birliği Devoniyen yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-220) vitrinit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

| $R_{random}$              |       |
|---------------------------|-------|
| <b>Vitrinit (n = 65)</b>  |       |
| Minimum                   | 0.527 |
| Maksimum                  | 0.848 |
| Ortalama                  | 0.659 |
| Standart sapma            | 0.081 |
| <b>Bitüminit (n = 11)</b> |       |
| Minimum                   | 0.471 |
| Maksimum                  | 0.693 |
| Ortalama                  | 0.595 |
| Standart sapma            | 0.078 |

Piritler yaygın olup, orijinal dokusunu korumuştur. Organik madde yaygındır (vitrinit > alginit > bitüminit). Füsinit ve inertinitler de az miktarda belirlenmiştir.



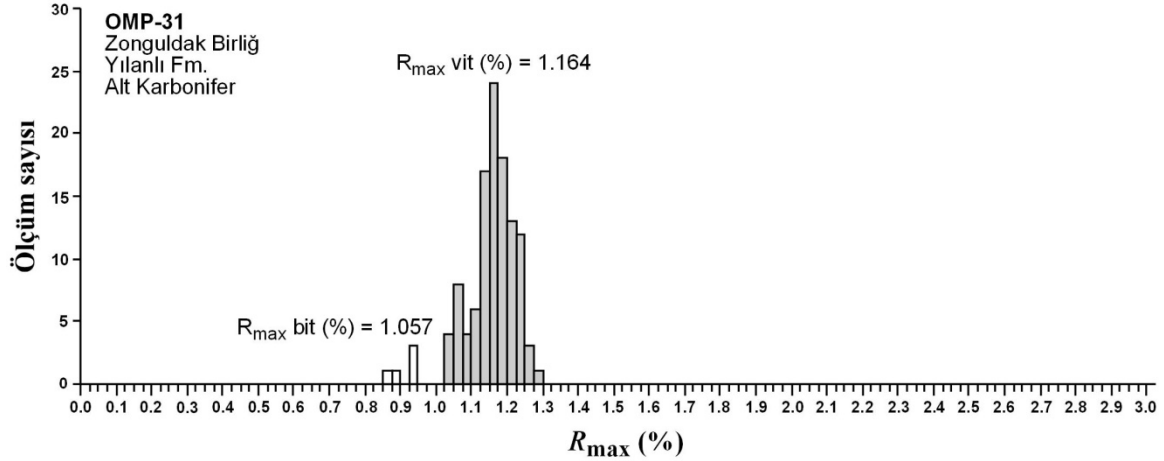
Şekil 23. Zonguldak Birliği Devoniyen yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (IZP-220) vitrinit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

Çizelge 9. Zonguldak Birliği Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonuna ait karbonatlı kumtaşı örneğinin (OMP-31) bitüminit ve vitrinit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 5)</b>  |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 0.852     | 0.791     | 0.040               | 0.832      |
| Maksimum                  | 0.946     | 0.859     | 0.134               | 0.903      |
| Ortalama                  | 0.912     | 0.822     | 0.090               | 0.867      |
| Standart sapma            | 0.040     | 0.028     | 0.034               | 0.030      |
| <b>Vitrinit (n = 110)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 1.036     | 0.980     | 0.004               | 1.012      |
| Maksimum                  | 1.285     | 1.233     | 0.177               | 1.244      |
| Ortalama                  | 1.164     | 1.097     | 0.067               | 1.131      |
| Standart sapma            | 0.056     | 0.056     | 0.047               | 0.051      |

Piritler bozunmamış, örnek bütünüyle ağaçsı/odunsu vitrinitten oluşmakta, ender bitüm gözlenmekte



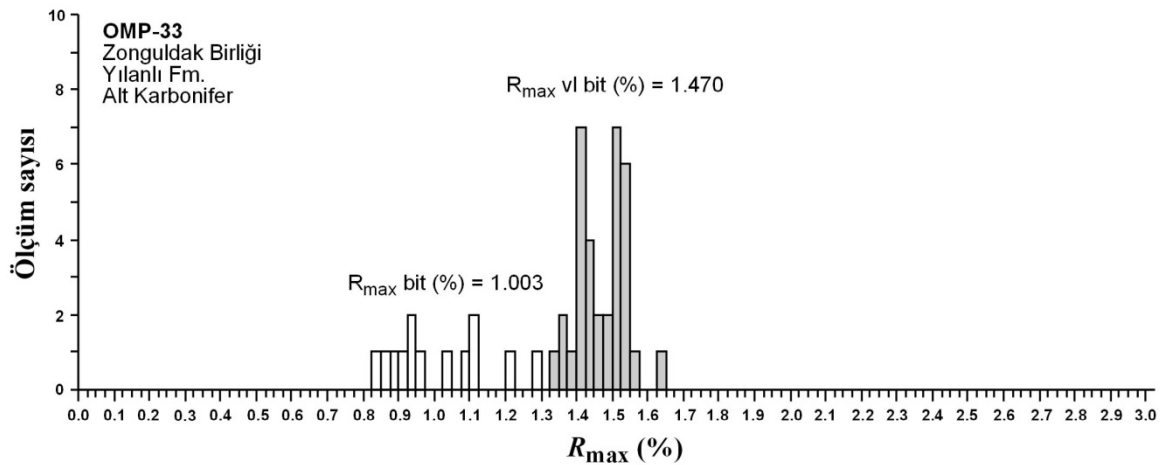


Şekil 24. Zonguldak Birliği Üst Devonyen-Alt Karbonifer yaşı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli karbonatlı kumtaşı örneğinin (OMP-31) vitrinit ve bitüminit  $R_{\max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı

Çizelge 10. Zonguldak Birliği Üst Devonyen-Alt Karbonifer yaşı Yılanlı Formasyonuna ait kireçtaşı örneğinin (OMP-33) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|  | $R_{\max}$ | $R_{\min}$ | $R_{\max} - R_{\min}$ | $R_{\text{mean}}$ |
|--|------------|------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Bitüminit (n = 12)</b>                  |            |            |                       |                   |
| Minimum                                    | 0.849      | 0.827      | 0.009                 | 0.842             |
| Maksimum                                   | 1.275      | 1.249      | 0.142                 | 1.262             |
| Ortalama                                   | 1.003      | 0.960      | 0.043                 | 0.982             |
| Standart sapma                             | 0.140      | 0.142      | 0.039                 | 0.140             |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 36)</b> |            |            |                       |                   |
| Minimum                                    | 1.344      | 1.189      | 0.000                 | 1.290             |
| Maksimum                                   | 1.641      | 1.512      | 0.319                 | 1.536             |
| Ortalama                                   | 1.476      | 1.371      | 0.105                 | 1.424             |
| Standart sapma                             | 0.068      | 0.087      | 0.088                 | 0.064             |

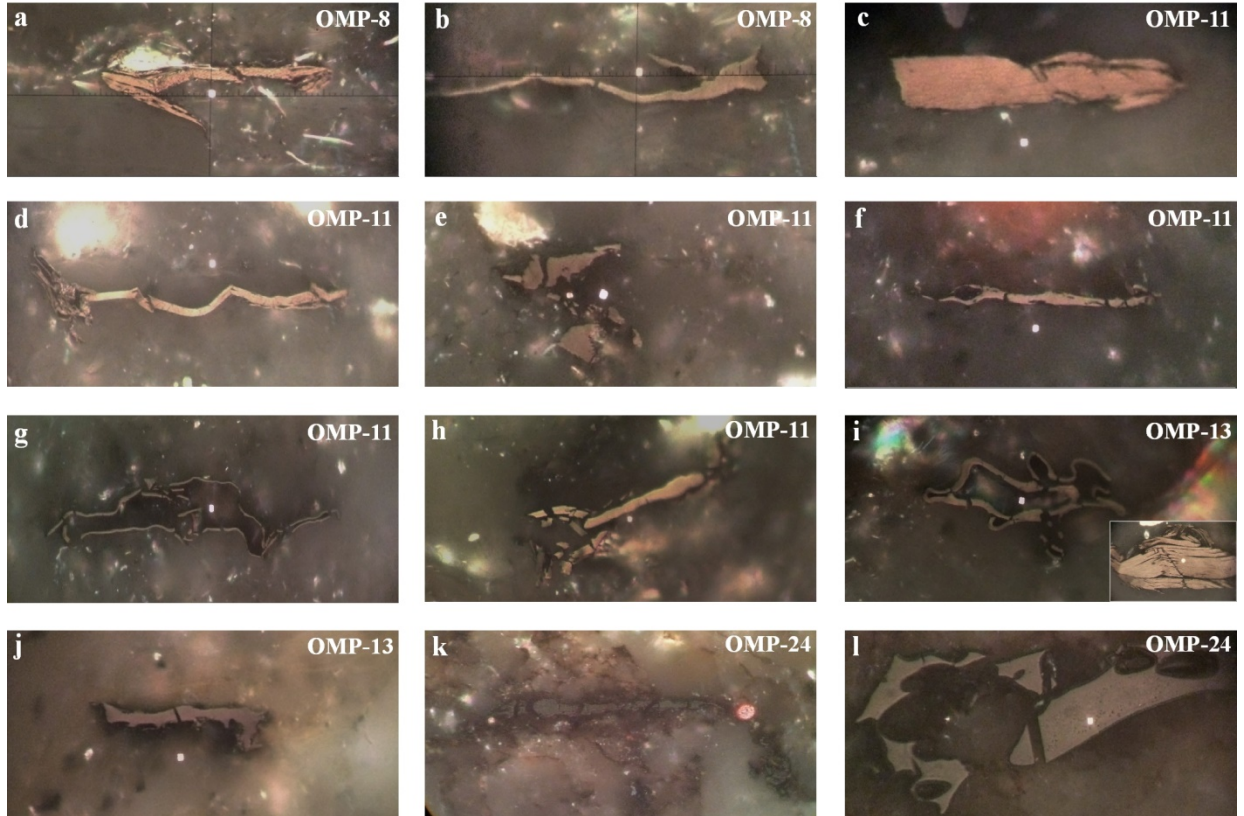
Piritler bozunmamış, bitümler çoğunlukla bozunmuş (decomposed), fusinitler yaygın, alginit ender



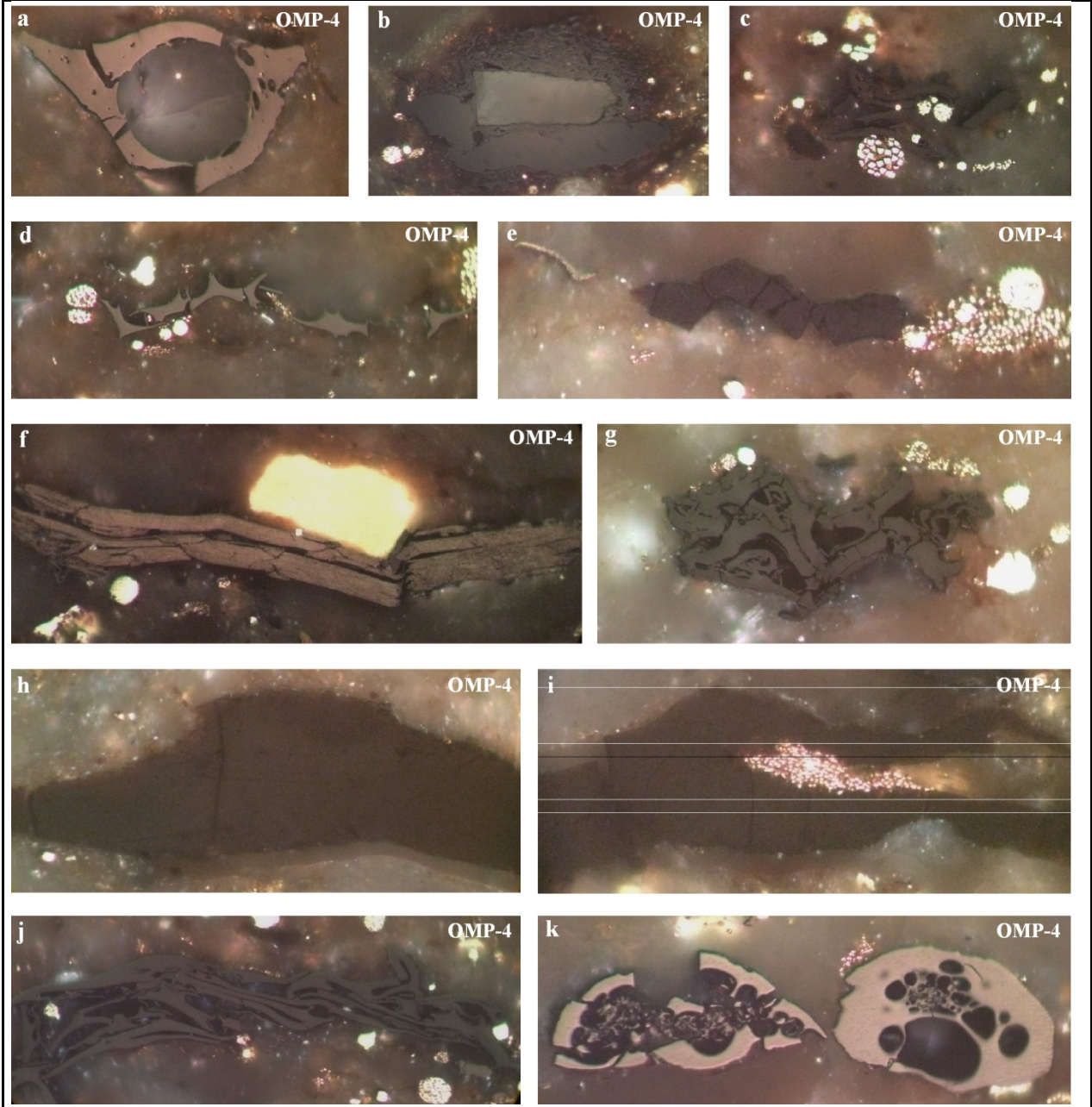
Şekil 25. Zonguldak Birliği Üst Devonyen-Alt Karbonifer yaşı Yılanlı Formasyonuna ait organik maddeli karbonatlı kumtaşı örneğinin (OMP-33) vitrinit benzeri bitüminit ve bitüminit  $R_{\max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

## 5.2. Doğu Toros Otoktonu

Doğu Toros Otoktonu Paleozoyik istifinin farklı yaş, mineralojik bileşim ve diyajenez derecelerine sahip organik maddeli örneklerin petrografik incelemeleri, bunların mevcut örneklerdeki yerli bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, vitrinit, graptolit, alginit ve fusinit gibi maserallerin yanı sıra daha yüksek yansıma değerlerine sahip detritik grafitleşmiş organik maddelerin olduğunu göstermiştir (Şekil 26-28). Graptolitler çoğunlukla belirgin bir morfoloji sergilememekte, bitümler çoğunlukla masif kütleler, taşınmış herhangi bir morfoloji sunmayan kütleler (migra bitüm), yer yer vitrinit benzeri görünümlü çubuksu oluşumlar halinde gözlenmektedir. Bitümler çoğunlukla taze, yer yer dalgalı ve bozunmuş (decomposed) durumdadır. Alginitler yer yer yaygın olup, tipik alg morfolojileri sunmaktadır. Piritler özşekilli ve çoğunlukla framboyidal topluluklar halinde hemen hemen tüm örneklerde gözlenmektedir (Şekil 29). Piritlerin taze veya oksitlenmiş veya bozunmuş olması organik madde yansımasının kullanılabilirliği açısından önemli bir parametre olup, bu çalışmada da dikkate alınmıştır.



Şekil 26. Seydişehir (OMP-8-13) ve Şafaktepe Formasyonu (OMP-24) örneklerinin parlatılmış kesitlerinde belirlenen organik madde türleri. (a) Grafitleşmiş ve zigzag kıvrımlı detritik grafitleşmiş vitrinit benzeri organik madde, (b) Graptolit, (c) İri detritik vitrinit benzeri organik madde, (d) İnce, bükülmüş ve grafitleşmiş vitrinit benzeri organik madde, (e) Bitüm, (f) Vitrinit benzeri bitüminit, (g) Alginit, (h) Vitrinit benzeri bitüminit, (i) Alginit ve detritik organik madde, (j) Vitrinit benzeri bitüminit, (k) Bozuşmuş/oksidlenmiş (decomposed) bitüm, (l) İntertitik bitüminit.



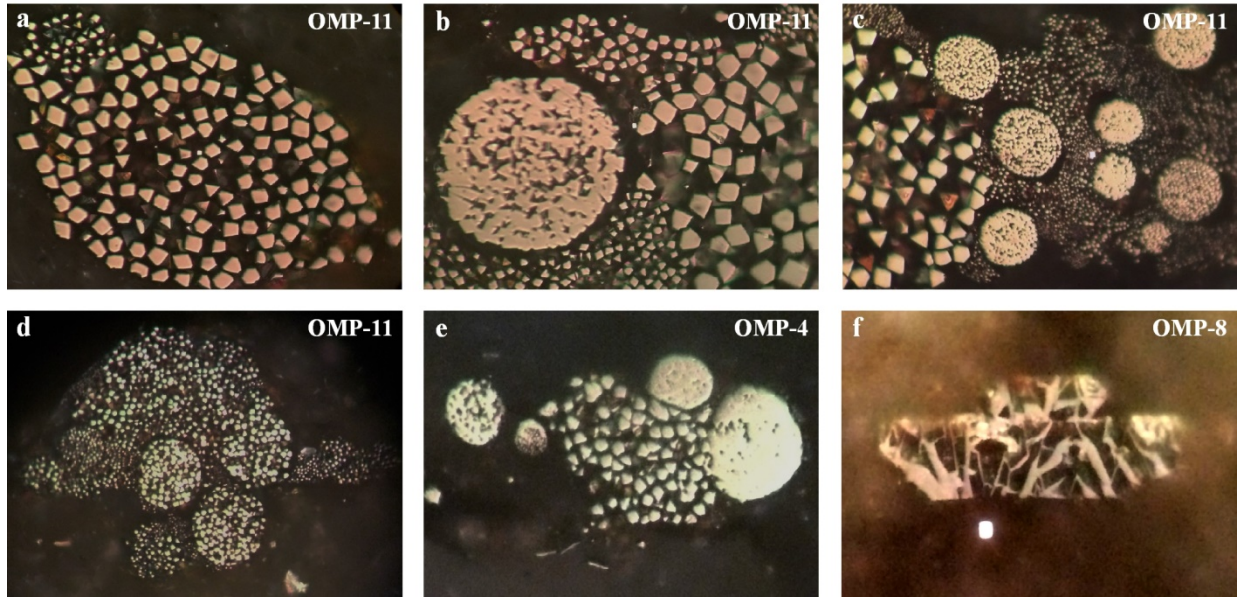
Şekil 27. Ziyarettepe Formasyonu dolomit örneğinin parlatılmış kesitinde yansıma ölçümleri yapılan organik madde türleri. (a) İnert fusinit ve bitüm dolgusu, (b) Bitüm, inert bitüm ve bozmuş/oksitlenmiş bitüm birlikteliği, (c) Vitrinit benzeri bitüminit ve framboyidal piritler, (d) Alginit görünümlü bitüm ve framboyidal piritler, (e) İri bitüm ve taze framboyidal piritler, (f) İri, bükülmüş, grafitleşmiş vitrinit benzeri detritik organik madde, (g) Alginit görünümlü bitüm topluluğu, (h-i) İri masif bitüm ve framboyidal piritler, (j) Alginit topluluğu, (k) İnert fusinit ve bitüm dolguları.

Seydişehir Formasyonu 1000 m kalınlığa ulaşan bir istif sunmakta olup, düşey yöndeki organik olgunlaşma verilerinin belirlenmesi amacıyla tüm istifi temsil edecek biçimde sistematik örnek alımı yapılmıştır (bak Şekil 9). Alt seviyeleri temsil eden örneklerde (OMP-8 ve OMP-9) ölçülen graptolit ve vitrinit benzeri bitüminitler çok yüksek çift-yansımalı antrasit-metaantrasit sınırına yakın kömürleşme derecesini yansıtmaktadır (Çizelge 11-12, Şekil 30-31).





Şekil 28. Doğu Toros Otoktonu Yığıltepe Formasyonu (OMP-1), İstanbul-Zonguldak Birliği Yılanlı Formasyonu (OMP-33) ve Fındıklı Formasyonu (OMP-34) parlatılmış kesit örneklerinde belirlenen organik madde türleri. (a) Vitrenit benzeri bitüm ve taze (oksidlenmemiş) piritler, (b-c) İri masif bitümler, (d) Bükülmüş, grafitleşmiş detritik organik madde, inertinit ve framboyidal piritler, (e) Alginit ve framboyidal piritler, (f-g) Bozunmuş/oksidlenmiş (decomposed) bitüm, (h-j) Migrabitüm ve taze piritler, (k) Bozunmuş/oksidlenmiş (decomposed) migrabitüm ve taze piritler.

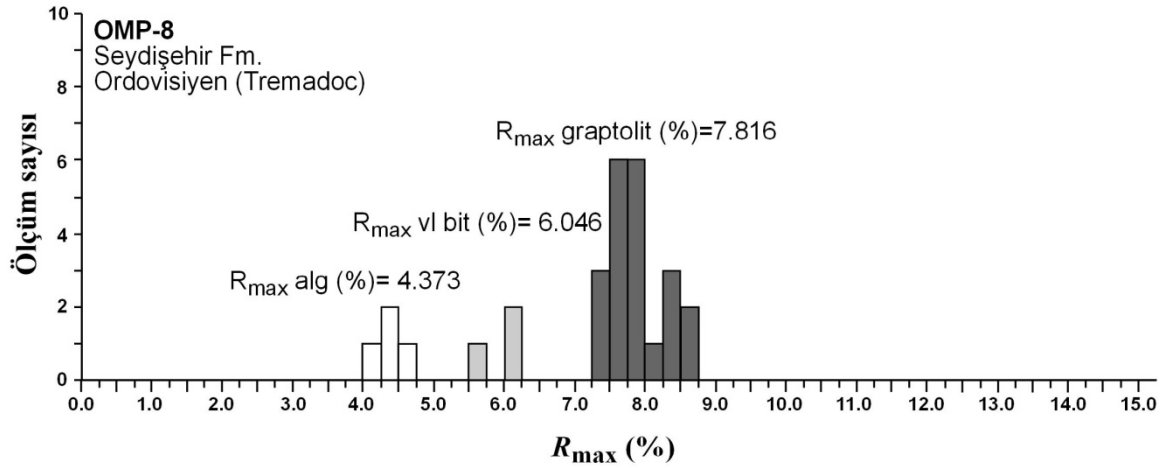


Şekil 29. Parlatılmış bloklarda demirsülfür ve demiroksit minerallerinin görünümü. (a-e) Seydişehir (OMP-8 ve OMP-11) ve Ziyarettepe (OMP-4) formasyonlarında belirlenen iyi korunmuş, taze (oksidlenmemiş) özşekilli ve framboyidal pirit toplulukları, (h) Mineral dilinim ve çatlaklarında gelişen hematitler.

Çizelge 11. Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen (Tremadosiyen) yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-8) graptolit, vitrinit benzeri bitüminit, alginit ve detritik grafitleşmiş organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 23)</b>                 |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 7.087     | 1.693     | 5.290               | 4.399      |
| Maksimum                                  | 9.077     | 2.112     | 7.122               | 5.516      |
| Ortalama                                  | 7.871     | 1.857     | 6.014               | 4.864      |
| Standart sapma                            | 0.474     | 0.122     | 0.461               | 0.258      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 3)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 5.743     | 1.589     | 3.893               | 3.797      |
| Maksimum                                  | 6.215     | 1.850     | 4.626               | 3.946      |
| Ortalama                                  | 6.046     | 1.717     | 4.329               | 3.881      |
| Standart sapma                            | 0.263     | 0.131     | 0.386               | 0.077      |
| <b>Alginit (n = 4)</b>                    |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 4.085     | 1.763     | 1.885               | 3.143      |
| Maksimum                                  | 4.661     | 2.426     | 2.898               | 3.448      |
| Ortalama                                  | 4.373     | 2.191     | 2.182               | 3.282      |
| Standart sapma                            | 0.248     | 0.301     | 0.482               | 0.134      |
| <b>Detritik organik madde (n = 27)</b>    |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 5.970     | 1.763     | 2.356               | 4.137      |
| Maksimum                                  | 9.252     | 3.614     | 7.349               | 5.778      |
| Ortalama                                  | 8.174     | 2.087     | 6.087               | 5.131      |
| Standart sapma                            | 0.822     | 0.397     | 1.062               | 0.367      |

Piritler taze (oksidlenmemiş), graptolit ve detritik organik madde yaygın, Detritik organik maddeler önemli ölçüde deformasyona uğramış ve grafitleşmiştir.



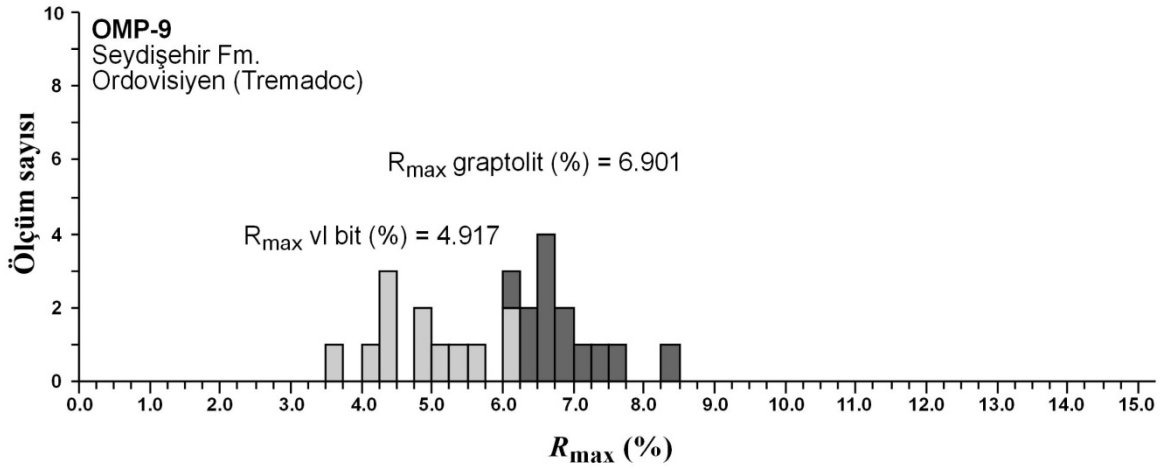
Şekil 30. Seydişehir Formasyonuna ait sleyt örneğinin (OMP-8) graptolit, vitrinit benzeri bitüminit ve alginit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Çizelge 12. Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit, vitrinit benzeri organik madde ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|  | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|--|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Graptolit (n = 13)</b>                      |           |           |                     |            |
| Minimum  | 6.092     | 1.746     | 3.875               | 4.155      |
| Maksimum                                       | 8.309     | 2.322     | 6.459               | 5.080      |
| Ortalama                                       | 6.901     | 2.213     | 4.835               | 4.483      |
| Standart sapma                                 | 0.601     | 0.600     | 0.754               | 0.246      |
| <b>Vitrinit benzeri organik madde (n = 12)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum  | 3.631     | 1.815     | 0.244               | 3.090      |
| Maksimum                                       | 6.983     | 4.085     | 4.818               | 4.574      |
| Ortalama                                       | 4.917     | 2.403     | 2.354               | 3.740      |
| Standart sapma                                 | 0.795     | 0.558     | 1.261               | 0.431      |
| <b>Detritik organik madde (n = 23)</b>         |           |           |                     |            |
| Minimum  | 6.930     | 1.519     | 0.297               | 4.478      |
| Maksimum                                       | 12.848    | 11.853    | 7.908               | 12.307     |
| Ortalama                                       | 9.170     | 3.518     | 5.425               | 6.344      |
| Standart sapma                                 | 1.473     | 3.504     | 2.485               | 2.387      |

Örnek filiş benzeri çökel ürünü görünümlü, Pirittler oldukça taze, graptolit ve detritik organik madde yaygın, detritik graptolitlerin büyük bir kısmı grafitleşmiştir.

Seydişehir Formasyonunun Tremadoc seviyesini temsil eden OMP-8 ve OMP-9 nolu her iki örnekte çift-yansıma değerleri çok yüksek olup (Çizelge 11, 12), formasyonun alt seviyelerinin yaygın deformasyon etkisinde kaldığını göstermektedir. Formasyonun orta seviyelerini temsil eden metasilttaşı (OMP-11) ve sleyt örnekleri antrasit kömürleşme evresini yansıtan bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit yansıması değerleri sunmaktadır (Çizelge 13, 14; Şekil 33, 34). Organik madde yansıması anizotropisi (çift yansıma) değerleri yüksek olmakla birlikte, alt seviyelerdekilerden biraz daha düşüktür. Vitrinit benzeri bitüminit yansıma değerleri bitüminit yansıması değerlerinden biraz daha yüksek olup, antrasitik evrede vitrinit yansıması yerine kullanılabilir (Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012; Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016).

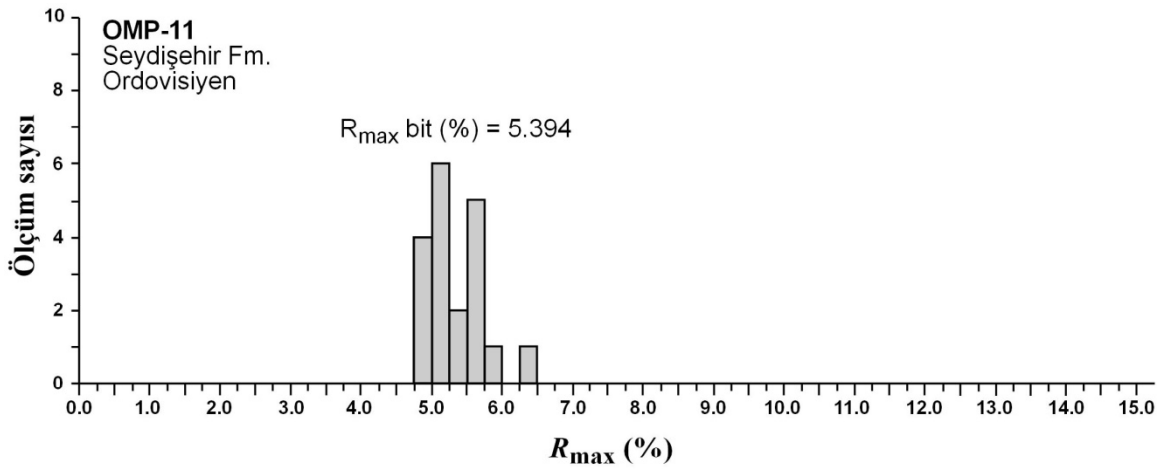


Şekil 31. Seydişehir Formasyonuna ait sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit ve vitrinit benzeri bitüminit  $R_{\max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Çizelge 13. Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-9) graptolit, vitrinit benzeri organik madde ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|  | $R_{\max}$ | $R_{\min}$ | $R_{\max} - R_{\min}$ | $R_{\text{mean}}$ |
|--|------------|------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Bitüminit (n = 20)</b>              |            |            |                       |                   |
| Minimum                                | 4.837      | 1.705      | 0.644                 | 3.705             |
| Maksimum                               | 6.333      | 4.541      | 4.628                 | 5.159             |
| Ortalama                               | 5.394      | 3.204      | 2.190                 | 4.299             |
| Standart sapma                         | 0.397      | 0.770      | 0.936                 | 0.396             |
| <b>Detritik organik madde (n = 14)</b> |            |            |                       |                   |
| Minimum                                | 6.148      | 1.839      | 3.836                 | 4.230             |
| Maksimum                               | 8.863      | 2.662      | 7.024                 | 5.491             |
| Ortalama                               | 7.721      | 2.169      | 5.552                 | 4.945             |
| Standart sapma                         | 0.838      | 0.245      | 0.894                 | 0.425             |

Framboyidal piritler oldukça taze, detritik organik madde yaygındır.



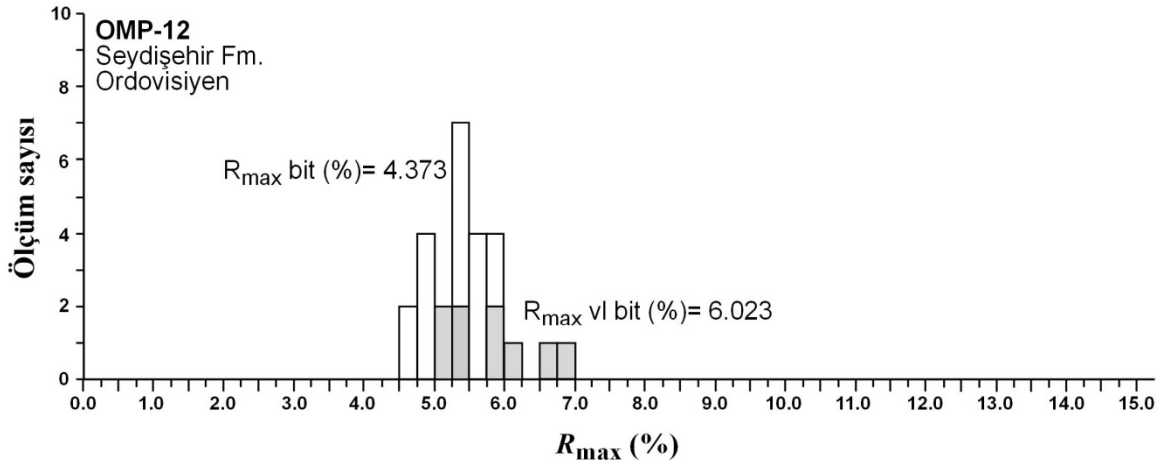
Şekil 32. Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-11) bitüminit  $R_{\max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.



Çizelge 14. Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-12) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 19)</b>                 |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 4.501     | 2.165     | 0.035               | 3.692      |
| Maksimum                                  | 5.796     | 4.571     | 3.439               | 4.913      |
| Ortalama                                  | 5.249     | 3.339     | 1.909               | 4.294      |
| Standart sapma                            | 0.404     | 0.835     | 1.131               | 0.332      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 7)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 5.360     | 1.822     | 0.701               | 4.050      |
| Maksimum                                  | 6.866     | 4.659     | 5.044               | 5.010      |
| Ortalama                                  | 6.023     | 2.871     | 3.152               | 4.447      |
| Standart sapma                            | 0.563     | 1.121     | 1.596               | 0.386      |
| <b>Detritik organik madde (n = 23)</b>    |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 6.511     | 1.798     | 0.541               | 4.181      |
| Maksimum                                  | 9.427     | 8.153     | 7.489               | 8.659      |
| Ortalama                                  | 8.093     | 2.503     | 5.590               | 5.298      |
| Standart sapma                            | 0.811     | 1.683     | 1.731               | 0.998      |

Piritler taze, bazı kesimlerde çok az oksitlenmiş, alginit az, organik madde içeriği düşük-orta miktarda.



Şekil 33. Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-12) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

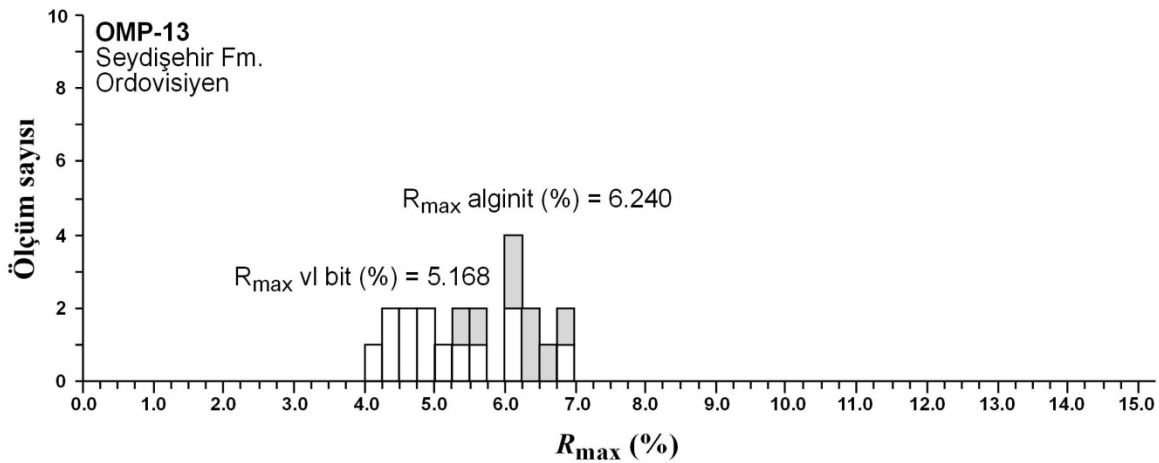
Seydişehir Formasyonunun üst seviyelerini temsil eden metasilttaşı örneğinin (OMP-13) vitrinit benzeri bitüminit yansıma değerleri (Çizelge 15; Şekil 35) antrasitik kömürleşme evresini yansıtmaktadır. Ortalama organik madde yansıma ve çift yansıma değerleri orta seviyelerdekilerden biraz daha düşüktür. Örnekten elde edilen kömürleşme derecesi (rank), ankimetamorfik illit  $KI_{CIS}$  verisiyle de ( $0.41 \Delta^2\theta$ ) uyumludur. Detritik organik madde yansıma değerleri metaantrasitik-grafitik dereceyi temsil etmekte, birimin metasedimanter bir kaynaktan malzeme aldığına işaret etmektedir.



Çizelge 15. Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonuna ait organik maddeli sleyt örneğinin (OMP-13) bitüminit/vitrinit benzeri bitüminit, alginit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit (n = 12)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum   | 4.210     | 1.896     | 0.295               | 3.384      |
| Maksimum  | 6.838     | 3.915     | 4.889               | 4.515      |
| Ortalama  | 5.168     | 2.926     | 2.242               | 4.047      |
| Standart sapma  | 0.869     | 0.688     | 1.330               | 0.415      |
| <b>Alginit (n = 8)</b>                                  |           |           |                     |            |
| Minimum   | 5.481     | 2.210     | 0.710               | 4.359      |
| Maksimum  | 6.907     | 4.997     | 4.697               | 5.490      |
| Ortalama  | 6.240     | 3.341     | 2.899               | 4.790      |
| Standart sapma  | 0.468     | 1.108     | 1.488               | 0.412      |
| <b>Detritik organik madde (n = 20)</b>                  |           |           |                     |            |
| Minimum   | 7.046     | 2.244     | 4.802               | 4.645      |
| Maksimum  | 10.335    | 2.366     | 7.969               | 6.351      |
| Ortalama  | 8.329     | 2.083     | 6.246               | 5.206      |
| Standart sapma  | 0.905     | 0.227     | 0.924               | 0.471      |

Piritler kısmen oksitlenmiş, bazı seviyelerde taze, bitümler çoğunlukla homojen yer yer bozmuş, alginit ender.



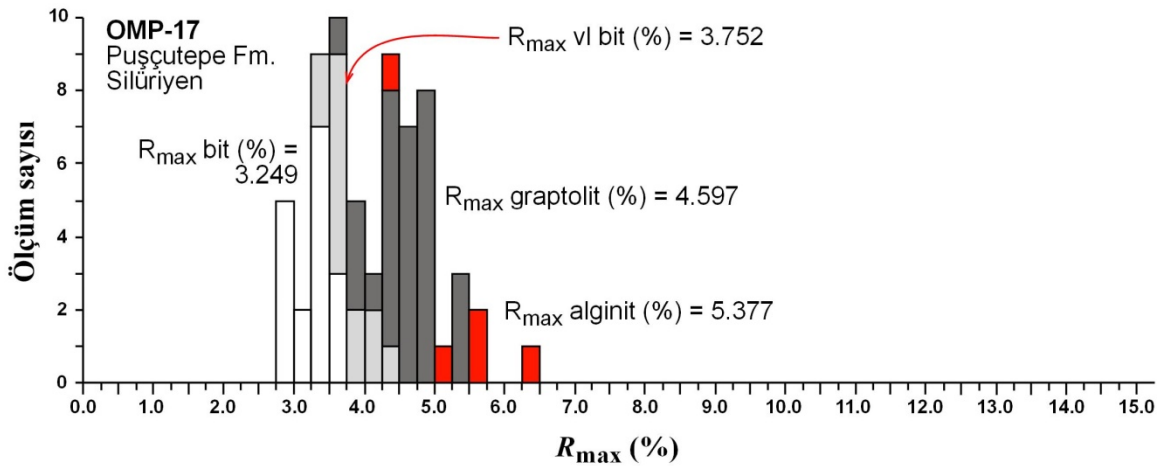
Şekil 34. Seydişehir Formasyonu orta seviyelerine ait sleyt örneğinin (OMP-13) vitrinit benzeri bitüminit ve alginit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Silüriyen Puşçutepe Formasyonuna ait koyu gri-siyah renkli organik madde bakımından zengin graptolitli siltli şetl örneğinde gerçekleştirilen organik madde yansıma ölçümleri Çizelge 16 ve Şekil 36'da verilmiştir. Bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit yansıma değerleri düşük antrasit evresine karşılık gelmekte olup, düşük ankimetamorfik  $KI_{CIS}$  verisiyle de ( $0.48 \Delta^{2\theta}$ ) uyumludur. Graptolit yansıma değerleri yüksek olup, kayacın diyajenez/metamorfizma derecesinden daha yüksek olgunlaşma evresini işaret etmektedir. Bu durum organik olgunlaşma veya kömürleşme derecesinin belirlenmesinde graptolit yansıması verilerinin kullanımının sağlıklı olmadığını düşündürmektedir. Çift yansıma değerleri Seydişehir Formasyonuna göre daha düşük olup, görece olarak daha düşük deformasyon etkisini işaret etmektedir.

Çizelge 16. Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptoliti siltli şeyl örneğinin (OMP-17) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit, alginit ve detritik organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|  | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|--|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 17)</b>                  |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 2.803     | 2.514     | 0.011               | 2.772      |
| Maksimum                                   | 3.605     | 3.435     | 0.925               | 3.503      |
| Ortalama                                   | 3.249     | 2.970     | 0.280               | 3.109      |
| Standart sapma                             | 0.269     | 0.271     | 0.249               | 0.239      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 13)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 3.299     | 1.746     | 0.323               | 2.732      |
| Maksimum                                   | 4.434     | 2.976     | 2.060               | 3.474      |
| Ortalama                                   | 3.752     | 2.482     | 1.270               | 3.117      |
| Standart sapma                             | 0.331     | 0.399     | 0.629               | 0.189      |
| <b>Graptolit (n = 30)</b>                  |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 3.701     | 1.322     | 0.680               | 2.907      |
| Maksimum                                   | 5.271     | 3.231     | 3.860               | 3.707      |
| Ortalama                                   | 4.597     | 1.933     | 2.664               | 3.265      |
| Standart sapma                             | 0.402     | 0.391     | 0.692               | 0.194      |
| <b>Alginit (n = 5)</b>                     |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 4.259     | 1.554     | 2.426               | 3.046      |
| Maksimum                                   | 6.353     | 2.925     | 4.754               | 4.302      |
| Ortalama                                   | 5.377     | 1.917     | 3.460               | 3.647      |
| Standart sapma                             | 0.775     | 0.573     | 0.921               | 0.502      |
| <b>Detritik organik madde (n = 3)</b>      |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 6.410     | 1.205     | 4.557               | 4.132      |
| Maksimum                                   | 14.751    | 1.853     | 13.546              | 7.978      |
| Ortalama                                   | 9.713     | 1.502     | 8.211               | 5.608      |
| Standart sapma                             | 4.433     | 0.327     | 4.725               | 2.073      |

Piritler taze (bozunmamış), bitümler homojen, graptolitler belirgin vir morfoloji sunmamaktadır.



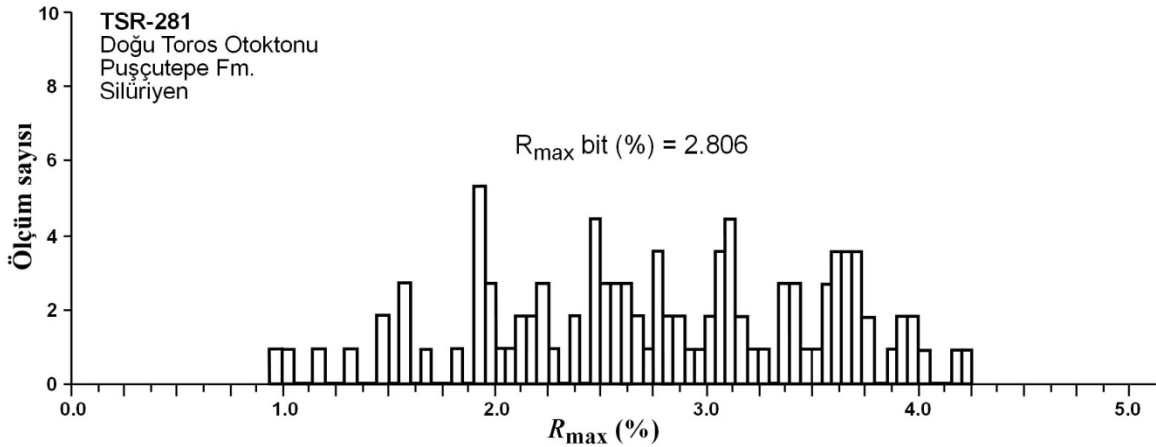
Şekil 35. Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptoliti siltli şeyl örneğinin (OMP-17) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit ve alginit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddece zengin şeyllerden organik madde türü ayrırt edilmeksizin ölçülen veriler (% R<sub>m</sub>; Bozkaya, 1995; Bozkaya ve diğ., 2002) Çizelge 17 ve Şekil 37 de verilmiştir. Ölçülen değerler geniş bir aralık sunmakta olup, muhtemelen bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, vitrinit ve graptolit yansımalarının tümünü temsil etmektedir. OMP-17 nolu örnek ile aynı seviyeyi temsil etmekle birlikte daha düşük yansıma verileri sunması, ölçümlerin R<sub>max</sub> olmaması ve çoğunluğunun bitümlere ait olmasından kaynaklanmaktadır.

Şafaktepe Formasyonu Halevik dere (OMP-24) ve Kaan geçidi (OMP28 ve 29) yüzleklerinden alınan örneklerin organik madde yansıması ölçüm sonuçları Çizelge 18-20 ve Şekil 38-39 da verilmiştir. OMP-24 nolu örnekte piritlerin oksitlenmiş olması, yansıma verilerinin şüpheli duruma getirmektedir. Nitekim OMP-24 nolu örnek, OMP-28 ve 29 nolu örneklerle göre daha düşük yansıma değerlerine sahip olup, bu farklılığın formasyonun diyajenez/metamorfizma derecesinden ziyade organik maddenin olası oksitlenmesiyle ilişkili gözükmektedir. Kömürleşme derecesinin belirlenmesinde öncelikle vitrinitler ve vitrinitlerin bulunmadığı örneklerde vitrinit benzeri bitüminitler dikkate alınmıştır. Piritlerin herhangi bir oksitlenme göstermediği OMP-28 ve 29 nolu bitümlü karbonat kayaçlarında ölçülen organik madde yansıması değerleri orta uçuculu bitümlü kömür evresine karşılık gelmektedir. Bitümlerin bir kısmı çatlak ve boşluklarda birikmiş şekilde (migrabitüm) gözlenmekte, genellikle homojen, ender olarak bozuşmuştur.

Çizelge 17. Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli silttaş örneğinin (TSR-281) organik madde yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

| % R <sub>random</sub>     |       |
|---------------------------|-------|
| <b>Vitrinit (n = 107)</b> |       |
| Minimum                   | 0.950 |
| Maksimum                  | 4.240 |
| Ortalama                  | 2.806 |
| Standart sapma            | 0.769 |



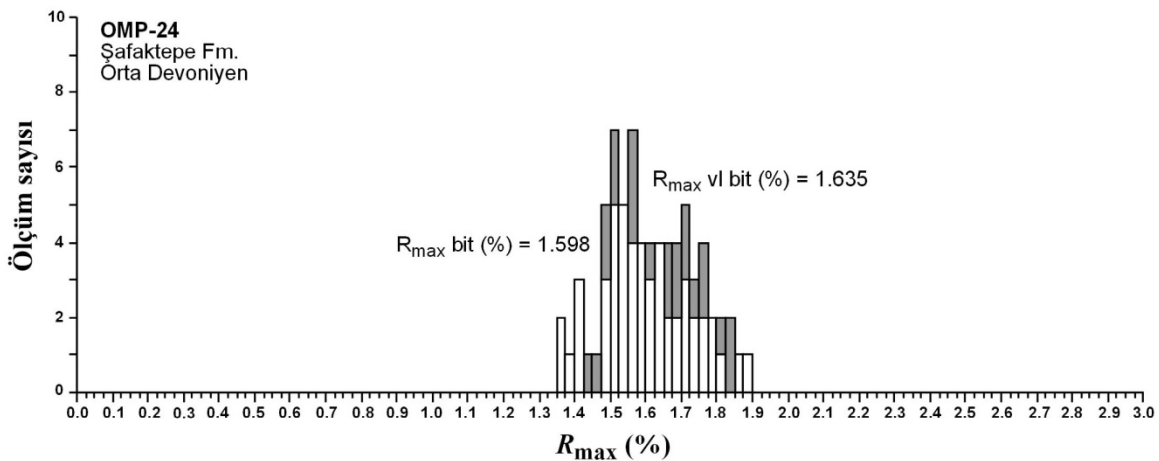
Şekil 36. Puşçutepe Formasyonuna ait organik maddeli graptolittli siltli şeyl örneğinin (TSR-281) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit, graptolit ve alginit R<sub>max</sub> (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Ziyarettepe Formasyonu karbonat kayaçları arasındaki organik maddece zengin arakatkılardan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen organik madde yansıma ölçümleri Çizelge 21-22 ve Şekil 40-41 de verilmiştir. Sarız Kısaçlı yol ayırımına yakın asfalt yol kenarından alınan OMP-4 nolu örnekte migrabitüm, bitüm ve vitrinit yansıma ölçümleri orta uçuculu bitümlü kömür derecesini yansıtmaktadır. Yansıma verileri yüksek dereceli diyajenetik evreyi işaret etmekte olup, kil mineral parajenezi (illit + I-S + kaolinit) ile de uyumludur. Proje yazarları tarafından aynı bölgeden daha önce alınan örneğe (TTB-525) ait yansıma değerleri (Bozkaya ve diğ., 2002) daha düşük olup, bitüminit ve vitrinit karışımı yansıma değerlerini yansıtmaktadır. Örnekte düşük yansıma değerlerine sahip liptinitlerin bulunması, sığ deniz ortamda karasal odunsu materyallerin yanı sıra denizel organik madde varlığına da işaret etmektedir.

Çizelge 18. Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait organik maddeli dolomitik kireçtaşı örneğinin (OMP-24) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ölçümlerinin istatistiksel dağılımı.

|  | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|--|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 40)</b>                  |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 1.361     | 1.278     | 0.013               | 1.324      |
| Maksimum                                   | 1.814     | 1.775     | 0.376               | 1.795      |
| Ortalama                                   | 1.585     | 1.463     | 0.123               | 1.524      |
| Standart sapma                             | 0.122     | 0.120     | 0.090               | 0.113      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 24)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                    | 1.447     | 1.205     | 0.022               | 1.389      |
| Maksimum                                   | 1.987     | 1.944     | 0.466               | 1.966      |
| Ortalama                                   | 1.666     | 1.490     | 0.176               | 1.578      |
| Standart sapma                             | 0.150     | 0.178     | 0.144               | 0.148      |

Piritler kısmen oksitlenmiş, bitüm ve füsinit yaygın, alg enderdir.



Şekil 37. Şafaktepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP-24) bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

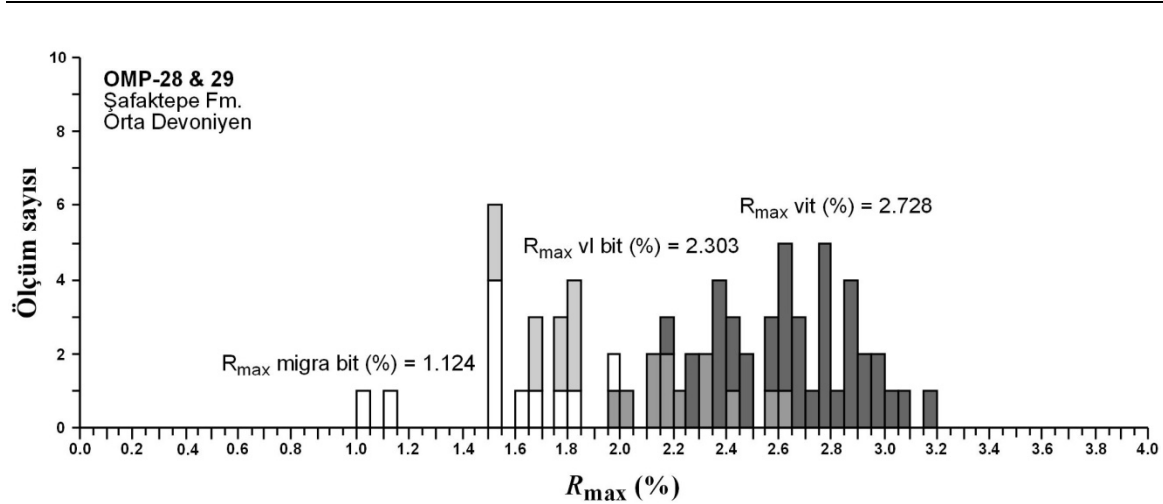


Çizelge 19. Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait dolomitik kireçtaşı örneğindeki (OMP-28) organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Migra bitüminit (n = 2)</b>            |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.070     | 0.993     | 0.077               | 1.032      |
| Maksimum                                  | 1.178     | 1.010     | 0.168               | 1.094      |
| Ortalama                                  | 1.124     | 1.002     | 0.123               | 1.063      |
| Standart sapma                            | 0.076     | 0.012     | 0.064               | 0.044      |
| <b>Bitüminit (n = 9)</b>                  |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.569     | 1.251     | 0.134               | 1.421      |
| Maksimum                                  | 2.003     | 1.607     | 0.636               | 1.753      |
| Ortalama                                  | 1.720     | 1.400     | 0.320               | 1.560      |
| Standart sapma                            | 0.156     | 0.102     | 0.154               | 0.107      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 9)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.569     | 1.109     | 0.237               | 1.354      |
| Maksimum                                  | 1.878     | 1.500     | 0.692               | 1.689      |
| Ortalama                                  | 1.760     | 1.338     | 0.422               | 1.549      |
| Standart sapma                            | 0.119     | 0.134     | 0.124               | 0.110      |
| <b>Alginit (n = 7)</b>                    |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.530     | 1.315     | 0.108               | 1.438      |
| Maksimum                                  | 2.351     | 1.775     | 0.735               | 2.063      |
| Ortalama                                  | 1.817     | 1.486     | 0.330               | 1.652      |
| Standart sapma                            | 0.305     | 0.160     | 0.244               | 0.211      |

Çizelge 20. Doğu Toros Otoktonu Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonuna ait dolomitik kireçtaşı örneğindeki (OMP-29) organik madde ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                           | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 13)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 2.041     | 1.930     | 0.052               | 1.986      |
| Maksimum                  | 2.699     | 2.484     | 0.666               | 2.553      |
| Ortalama                  | 2.331     | 2.145     | 0.186               | 2.238      |
| Standart sapma            | 0.222     | 0.185     | 0.173               | 0.185      |
| <b>Vitrinit (n = 37)</b>  |           |           |                     |            |
| Minimum                   | 2.218     | 1.573     | 0.151               | 2.005      |
| Maksimum                  | 3.202     | 2.849     | 1.371               | 2.925      |
| Ortalama                  | 2.730     | 2.049     | 0.680               | 2.390      |
| Standart sapma            | 0.250     | 0.268     | 0.317               | 0.205      |

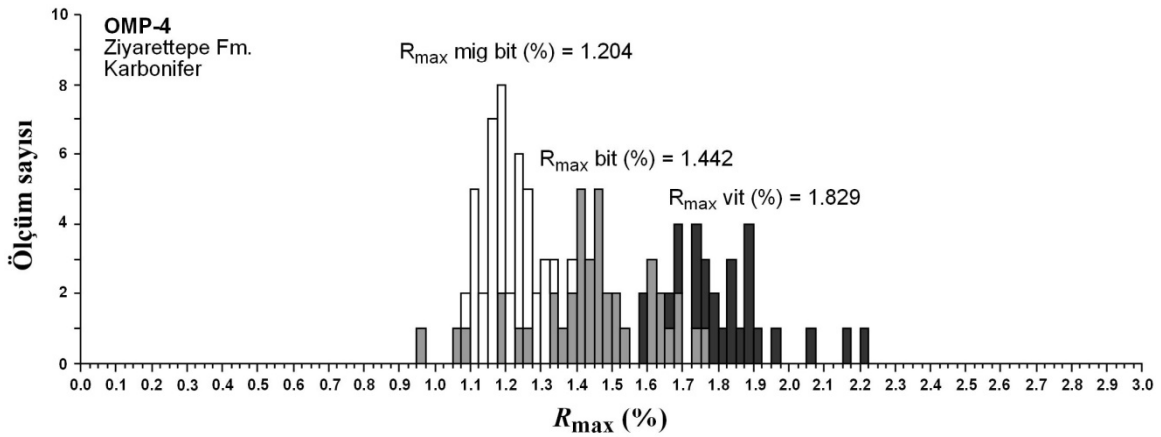


Şekil 38. Şafaktepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneklerinin (OMP-28 ve 29) migrabitüminit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Çizelge 21. Doğu Toros Otoktonu Karbonifer yaşlı Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP-4) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                                 | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---------------------------------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Migra bitüminit (n = 39)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                         | 1.087     | 0.950     | 0.000               | 1.047      |
| Maksimum                        | 1.384     | 1.341     | 1.193               | 1.363      |
| Ortalama                        | 1.204     | 1.139     | 0.065               | 1.172      |
| Standart sapma                  | 0.072     | 0.084     | 0.053               | 0.074      |
| <b>Bitüminit (n = 40)</b>       |           |           |                     |            |
| Minimum                         | 0.963     | 0.950     | 0.000               | 0.957      |
| Maksimum                        | 1.753     | 1.663     | 0.314               | 1.708      |
| Ortalama                        | 1.442     | 1.356     | 0.086               | 1.399      |
| Standart sapma                  | 0.182     | 0.161     | 0.065               | 0.169      |
| <b>Vitrinit (n = 26)</b>        |           |           |                     |            |
| Minimum                         | 1.590     | 1.478     | 0.013               | 1.552      |
| Maksimum                        | 2.213     | 2.157     | 0.357               | 2.185      |
| Ortalama                        | 1.829     | 1.709     | 0.119               | 1.769      |
| Standart sapma                  | 0.151     | 0.165     | 0.078               | 0.153      |

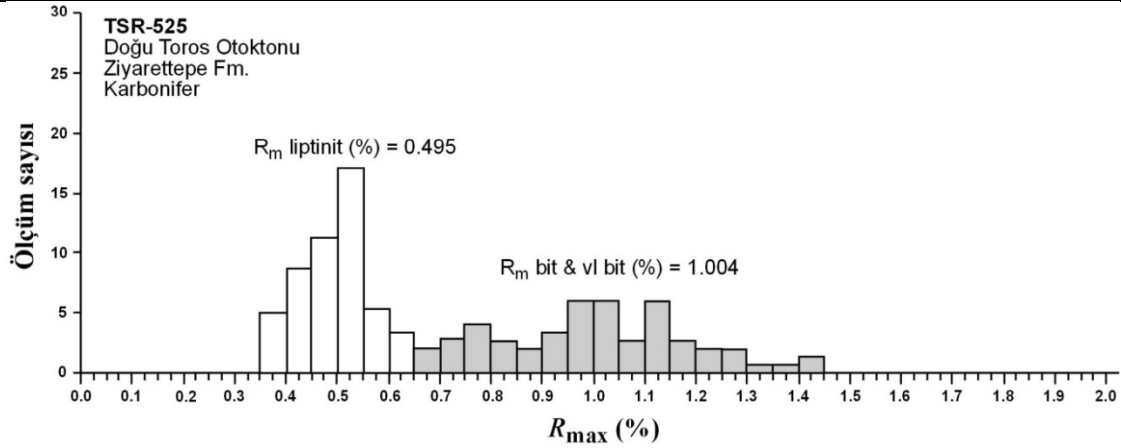
Piritler framboyidal biçimli ve oldukça taze, bitüminit (migrabitüminit, detritik, solid ve vitrinit benzeri bitüminit), inertinit yaygın, füsinit ender, detritik pre-grafitik organik madde yaygındır.



Şekil 39. Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü kireçtaşı örneğinin (OMP4) migrabitüminit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Çizelge 22. Doğu Toros Otoktonu Karbonifer yaşlı Ziyarettepe Formasyonuna ait organik maddeli şeyl örneğinin (TSR-525) liptinit ve bitüminit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|                          | $R_{random}$ |
|--------------------------|--------------|
| <b>Liptinit (n = 76)</b> |              |
| Minimum                  | 0.340        |
| Maksimum                 | 0.640        |
| Ortalama                 | 0.495        |
| Standart sapma           | 0.066        |
| <b>Vitrinit (n = 70)</b> |              |
| Minimum                  | 0.650        |
| Maksimum                 | 1.450        |
| Ortalama                 | 1.004        |
| Standart sapma           | 0.185        |



Şekil 40. Ziyarettepe Formasyonuna ait bitümlü organik maddeli şeyl örneğinin (TSR-525) liptinit, bitüminit ve vitrinit benzeri bitüminit  $R_m$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

Permian yaşlı Yiğiltepe Formasyonuna ait örnekte ölçülen bitüm, vitrinit benzeri bitüm ve vitrinit yansıma değerleri Çizelge 23 ve Şekil 41 de verilmiştir. Örnekte bazı bitümler yer yer oksitlenmiştir. Ender de olda fusinitler gözlenmiştir. Organik madde yansıma değerleri bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinite doğru artmaktadır. Formasyon ait kömürlü seviyelerde Akdağ (1992) tarafından iki adet kömür örneği üzerinde vitrinit yansıması ölçümleri yapılmış ve % 0.55-0.70 arasında random ortalama  $R_m$  değerleri elde edilmiştir. Ortalama vitrinit yansıma değerleri (%  $R_{max}$  = 1.332) dikkate alındığında; birim yüksek uçuculu ve orta uçuculu bitümlü kömür derecesi sınırına ( $1.30 \pm 0.15$ , Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016) yakın kömürleşme derecesini yansıtmaktadır. Ölçülen vitrinit yansıma değerleri Ziyarettepe Formasyonuna ait OMP-4 nolu örneğe göre; %  $R_{max}$  bitüm yansıma değerleri yaklaşık 0.20, vitrinit yansıma değerleri ise 0.50 daha düşüktür. Her iki örneğin alındığı nokta arasında birkaç metrelik fark olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu farkın kalınlık farkıyla ilişkili gömülme diyajenez derecesi farkından ziyade, iki birim arasındaki uyumsuzlukla ilişkili gözükmektedir.

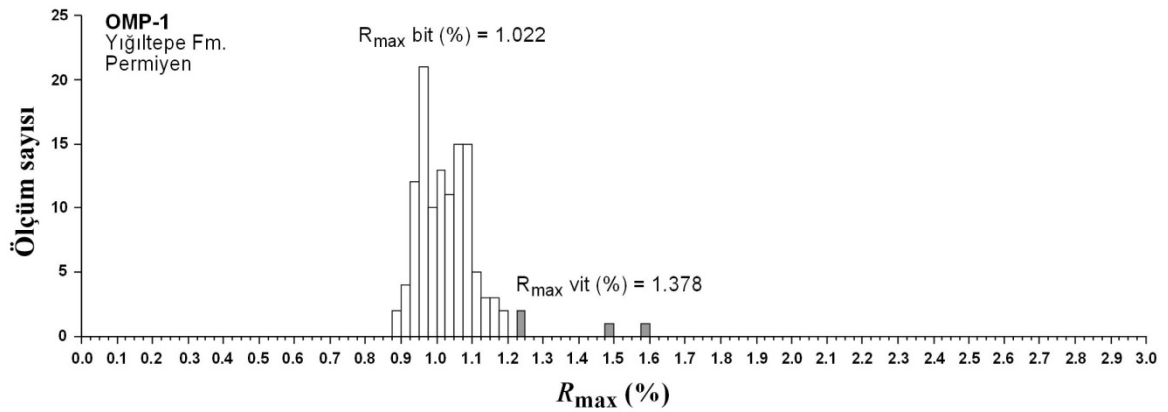
### 5.3. GD Anadolu Otoktonu

Dadaş Formasyonu'na ait şeyl ile Kaş Formasyonu'na ait kömür örneği üzerinde gerçekleştirilen organik petrografi incelemelerine göre maseraller başlıca vitrinit, tellinit ve inertinitlerle temsil edilmektedir (Bozkaya ve diğ., 2009b, 2011). Dadaş formasyonundaki vitrinitler jelleşmiş, diğer bir ifadeyle belirgin bir iç-yapı sunmayan ağaçsı-odunsu kalın ve ince bantlar halinde gözlenmekte, tellinitler bitki hücre yapısı sunmakta, inertinitler ise elek yapısı benzeri bitki hücre yapısının yanı sıra daha açık gri renklidir (Şekil 42). Vitrinit yansıma değerleri Dadaş Formasyonu için %  $R_m$  = 1.32-2.29 (ort. 1.75), Kaş Formasyonu için ise %  $R_m$  = 0.49-0.66 (ort. 0.55) ölçülmüştür (Şekil 43). Yansıma değerleri Kaş Formasyonunda yarı-bitümlü kömür, Dadaş Formasyonunda ise düşük uçuculu bitümlü kömürleşme derecesini (rank) yansıtmaktadır.

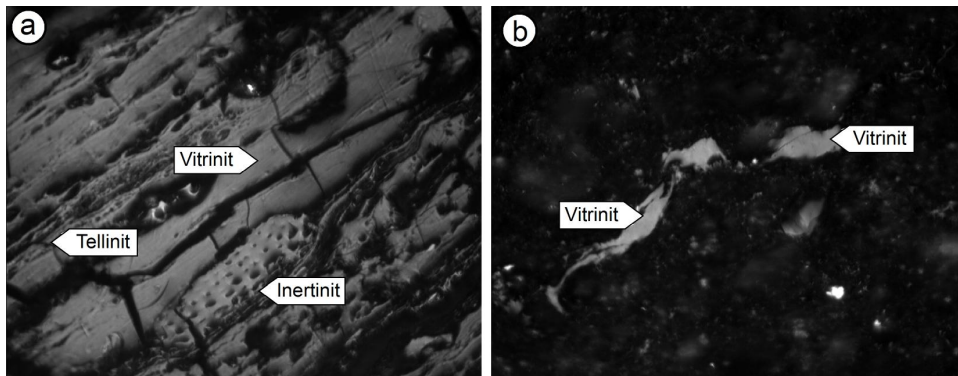
Çizelge 23. Doğu Toros Otoktonu Permiyen yaşlı Yiğiltepe Formasyonuna ait organik maddeli kireçtaşı örneğinin (OMP-1) bitüminit, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit yansıma ölçümlerinin istatistiksel dağılımı

|   | $R_{max}$ | $R_{min}$ | $R_{max} - R_{min}$ | $R_{mean}$ |
|---|-----------|-----------|---------------------|------------|
| <b>Bitüminit (n = 112)</b>                |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 0.892     | 0.823     | 0.047               | 0.858      |
| Maksimum                                  | 1.196     | 1.097     | 1.113               | 1.147      |
| Ortalama                                  | 1.023     | 0.956     | 0.066               | 0.989      |
| Standart sapma                            | 0.068     | 0.062     | 0.012               | 0.065      |
| <b>Vitrinit benzeri bitüminit (n = 3)</b> |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.012     | 0.892     | 0.012               | 0.952      |
| Maksimum                                  | 1.590     | 1.513     | 0.120               | 1.301      |
| Ortalama                                  | 1.244     | 1.168     | 0.076               | 1.206      |
| Standart sapma                            | 0.264     | 0.288     | 0.046               | 0.275      |
| <b>Vitrinit (n = 4)</b>                   |           |           |                     |            |
| Minimum                                   | 1.235     | 0.956     | 0.214               | 1.115      |
| Maksimum                                  | 1.483     | 1.063     | 0.527               | 1.220      |
| Ortalama                                  | 1.332     | 1.005     | 0.327               | 1.168      |
| Standart sapma                            | 0.133     | 0.054     | 0.174               | 0.052      |

Piritler framboyidal biçimli ve oldukça taze, bazı kesimlerde küçük çaplı alterasyon bölgeleri, bitüminit ve migrabitüminit bol, vitrinit benzeri bitüminit ve vitrinit az miktarda, inertinit ve oksitlenmiş bitüminitler enderdir.

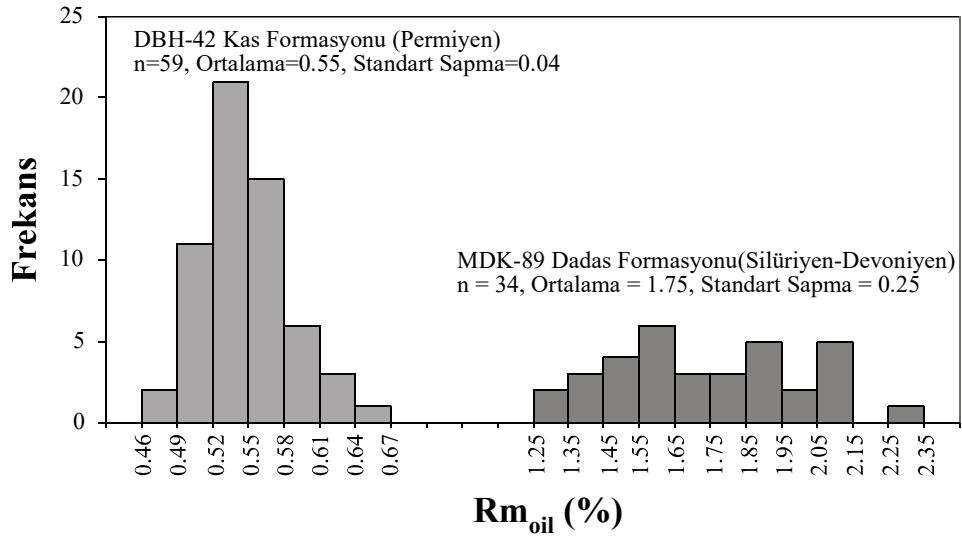


Şekil 41. Doğu Toros Otoktonu Permiyen yaşlı Yiğiltepe Formasyonuna ait organik maddeli dolomit örneğinin (OMP-1) vitrinit ve bitüminit  $R_{max}$  (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.



Şekil 42. a) Kaş Formasyonu'na ait kömür örneği (DBH-42) ve b) Dadaş Formasyonu'na ait şeyl örneğindeki (MDK-89) maserallerin mikroskop görüntüleri



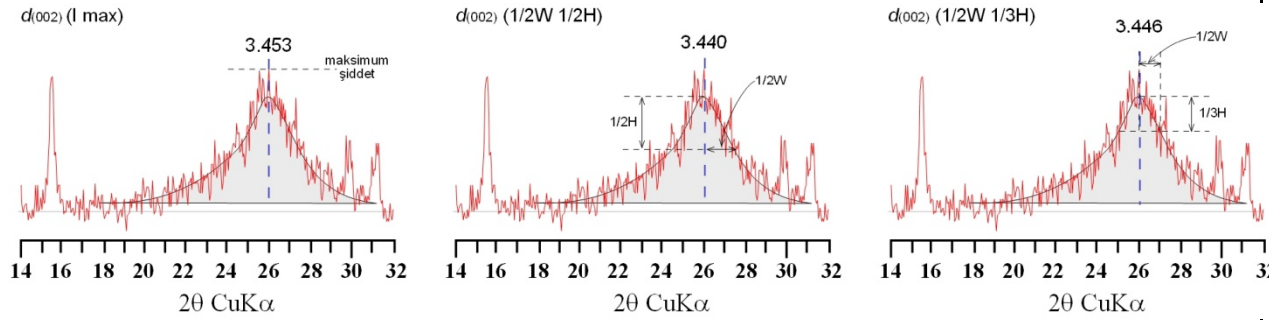


Şekil 43. GD Anadolu Otoktonu Permian yaşlı kömür (DBH-42) ve Silüriyen-Devoniyen yaşlı şeyl örneğinin (MDK-89) vitrinit Rm (%) yansıma ölçümlerinin dağılımı.

## 6. GRAFİTLEŞME DERECEŚİ

Grafitleşme derecesi grafitleşmiş karbonlu materyallerin XRD toz çekimlerinden elde edilen grafit  $d_{002}$  pik değerleri (Å) ve pik şeklini (şiddet, genişlik vb) esas alan bir parametredir. Meta-antrasit-grafit aralığındaki karbonlu materyallerin grafitleşme derecesi ile ilgili XRD toz karakteristikleri çok düşük dereceli metamorfizma çalışmalarında bazı araştırmacılarca kullanılmıştır (Landis, 1971; Itaya, 1981; Tagiri, 1981; Pesquera ve Velasco, 1988; Barranechea ve diğ., 1992; Rodas ve diğ., 2000).

Organik maddece zengin ankizonal 11 örnek üzerinde grafitlerin  $d(002)$  Å değerlerinin yanı sıra  $d(002)$  piklerinin yüksekliği ve yarı yükseklikteki genişliğinin oranı (H/W), kristalit büyüklüğü ( $L_c(002)$  Å) ve grafitleşme derecesi (GD) belirlenmiştir (Şekil 44; Çizelge 24). Kristalit büyüklüğü  $L_c = 91 / \beta$  (Tagiri, 1981), grafitleşme derecesi  $GD = [(d(002) - 3.70) / \log(L_c(002) / 1000)] \times 100$ ,  $\beta$  ise  $d(002)$  pikinin yarı yükseklikteki genişliği ( $\Delta^{\circ}2\theta$ ) ile ifade edilmektedir (Tagiri, 1981; Pesquera ve Velasco, 1988).



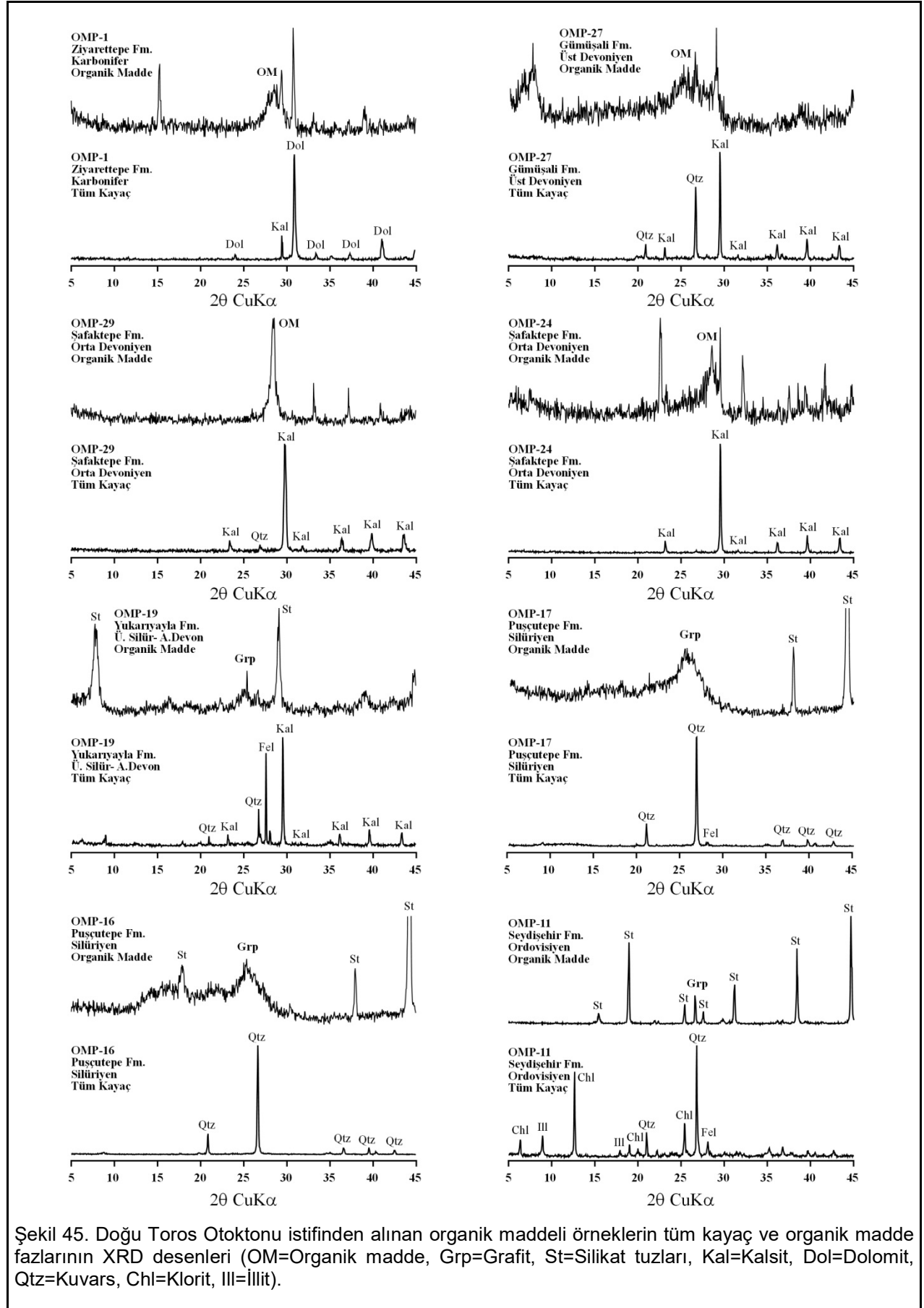
Şekil 44. Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait örneğin (TTB-281) grafit  $d_{(002)}$  pikinin farklı parametrelere göre ölçülen Å değerleri.

Çizelge 24. Doğu Toros Otoktonu Silüriyen yaşlı Puşçutepe ve Yukarıyayla formasyonlarına ait organik maddece zengin örneklerden zenginleştirilen organik maddelerin grafit  $d_{002}$  piklerine ait ölçüm sonuçları

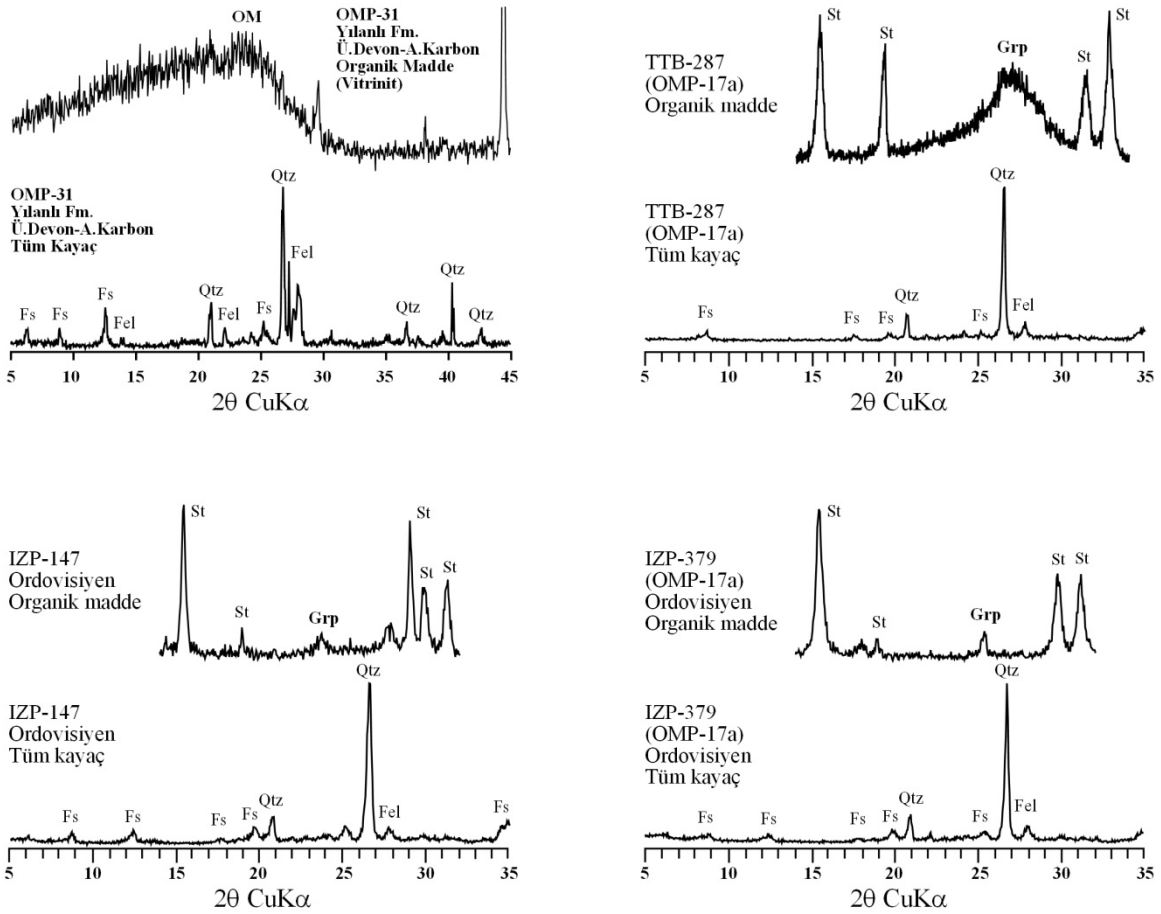
| Örnek No  | $d(002)$ Å<br>(I max.) | $c_o$ Å | $d(002)$ Å<br>(1/2W 1/2H) | $d(002)$ Å<br>(1/2W 1/3H) | H/W (002)<br>(1/2H) | $L_c$ (002) Å | GD |
|-----------|------------------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|----|
| TTB-281   | 3.453                  | 6.906   | 3.440                     | 3.446                     | 1.5                 | 27            | 16 |
| TSM-982   | 3.435                  | 6.870   | 3.445                     | 3.477                     | 0.5                 | 30            | 20 |
| TTB-287   | 3.456                  | 6.912   | 3.450                     | 3.477                     | 1.3                 | 27            | 16 |
| TSM-986   | 3.450                  | 6.900   | 3.442                     | 3.442                     | 0.6                 | 29            | 16 |
| KS.1091-1 | 3.414                  | 6.828   | 3.414                     | 3.409                     | 0.4                 | 28            | 18 |
| KS.1091-2 | 3.440                  | 6.880   | 3.427                     | 3.431                     | 0.7                 | 30            | 17 |
| KS.1091-3 | 3.440                  | 6.880   | 3.417                     | 3.417                     | 0.5                 | 33            | 18 |
| KS.1091-5 | 3.431                  | 6.862   | 3.431                     | 3.431                     | 0.3                 | 28            | 17 |
| KS.1091-6 | 3.424                  | 6.848   | 3.424                     | 3.443                     | 0.3                 | 26            | 17 |
| OMP-16    | 3.491                  | 6.982   | 3.481                     | 3.488                     | 2.1                 | 28            | 14 |
| OMP-17    | 3.463                  | 6.926   | 3.472                     | 3.457                     | 2.5                 | 25            | 15 |

Doğu Toros Otoktonu ve İstanbul-Zonguldak Birliği Paleozoyik istiflerine ait örneklerden zenginleştirilen organik maddelerin XRD desenleri Şekil 45 ve 46 da verilmiştir. İstanbul-Zonguldak Birliği örnekleri düşük organik madde içermeleri nedeniyle küçük grafit pikleri vermekte, buna karşın organik madde bakımından zengin Doğu Toros Otoktonu Silüriyen örneklerinde grafit piki daha da belirginleşmektedir. Doğu Toros Otoktonu örneklerindeki grafitlere ait  $d_{002}$  pik şiddeti ve pik simetrisi gibi çeşitli kriterler (Landis, 1971, Barrenechea ve diğ., 1992) göz önüne alındığında, Silüriyen yaşlı Puşçutepe Formasyonuna ait örnekler (TTB-287, OMP-16 ve 17) iyi kristalin grafit-d1A tipinde, Yukarıyayla Formasyonuna ait örnek (OMP-19) daha düşük kristaliniteli grafit-d2 tipindedir (Şekil 45 ve 46). Benzer farklılık Tufanbeyli (TTB simgeli örnekler) ve Saimbeyli (TSM ve KS simgeli örnekler) bölgelerindeki aynı formasyondan alınan örneklerde de gözlenmiştir (Bozkaya ve Yalçın, 1998). Kristalit büyüklüğü ve grafitleşme derecesindeki değerlere önemli ölçüde yansımayan bu farklılık grafitleşmiş maddenin bölgedeki grafitlerin oluşumunda tümüyle sıcaklığın değil, basıncın daha önemli olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Örneğin Bonijoly ve diğerleri, 1982; Teichmüller, 1987). Grafitlerin kristalinite özelliklerine göre, formasyonun Tufanbeyli kesimi Saimbeyli'ye oranla daha fazla stres etkisinde kaldığı öne sürülmüştür (Bozkaya ve Yalçın, 1998). Grafit kristalinite değişimlerinin basınç dışında tane boyu ve kuvars içeriğinden de etkilenmektedir (Barrenechea ve diğerleri, 1992). Yazarlar iri taneli ve kuvars içeriği yüksek olan kayaçlardaki grafitlerin daha düşük kristaliniteli olabileceğini savunmuşlardır. Itaya (1981) grafit kristalinitesine hem basıncın hem de tane boyu ve kuvars içeriğinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Bölgedeki örneklerin kuvars içeriklerinde ise tam aksine daha iyi kristalin grafit içeren Tufanbeyli yöresindekilerin Saimbeyli yöresindekilere göre kuvarsa daha zengindir. Bu farklılık Saimbeyli bölgesindeki örneklerin daha fazla karbonat mineralleri içermelerinden kaynaklanmış gözükmektedir.

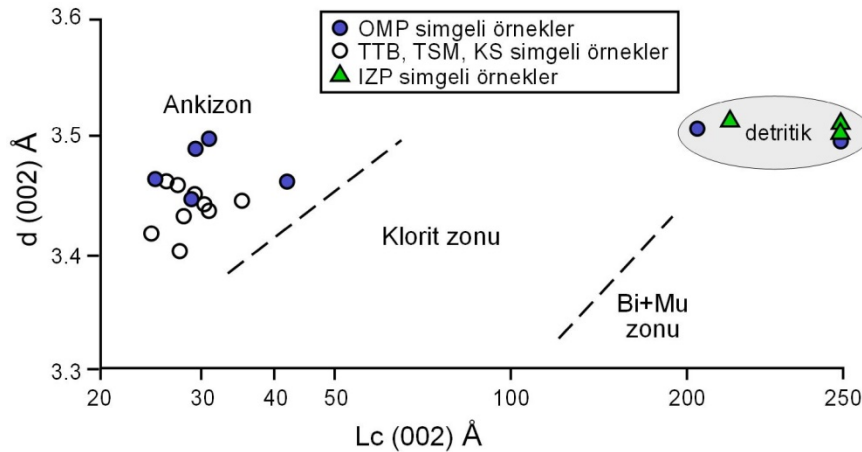
Grafitlerin  $d(002)$  Å ve  $L_c(002)$  Å değerleri ankizon ve klorit zonlarının ayırtlandığı diyagramda (Pesquera ve Velasco, 1988) detritik grafitler biyotit-muskovit ve klorit zonunda (metamorfik zonda), diğer örnekler tümüyle ankizon bölgesinde kümelenmiştir (Şekil 47). Ankizon bölgesine düşen örneklerdeki illit Kl verileri de ankizon derecesini yansıtmaktadır. Bazı örneklerde organik yanısma verileri Kl verilerine göre daha yüksek dereceleri işaret edebilmektedir. Bunun nedeni ortamdaki sıcaklık ve basınç değişimlerine karşı organik madde ve minerallerin göstermiş olduğu değişimlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Kisch, 1974; 1983; Teichmüller, 1987; Kübler ve diğerleri, 1979; Héroux ve diğerleri, 1979; Frey ve diğerleri, 1980). Örneğin, şiddetli fakat kısa süreli ısınmaya maruz kalan bölgelerde kömürleşme mineral dönüşümlerinden daha önce meydana gelebilmektedir (Frey, 1987).







Şekil 46. İstanbul-Zonguldak Birliği istifinden alınan organik maddeli örneklerin tüm kayaç ve organik madde fazlarının XRD desenleri (OM=Organik madde, Grp=Grafit, St=Silikat tuzları, Kal=Kalsit, Dol=Dolomit, Qtz=Kuars, Chl=Klorit, Ill=İllit).



Şekil 47. İstanbul-Zonguldak Birliği (IZP) ve Doğu Toros Otoktonu (OMP, TTB, TSM, KS) Paleozoyik istifine ait grafitlerin d(002) piki ve kristalit büyüklüğü arasındaki ilişkiler (TTB, TSM, KS simgeli örnekler Bozkaya, 1995 ve Bozkaya ve Yalçın, 1998'den alınmıştır).

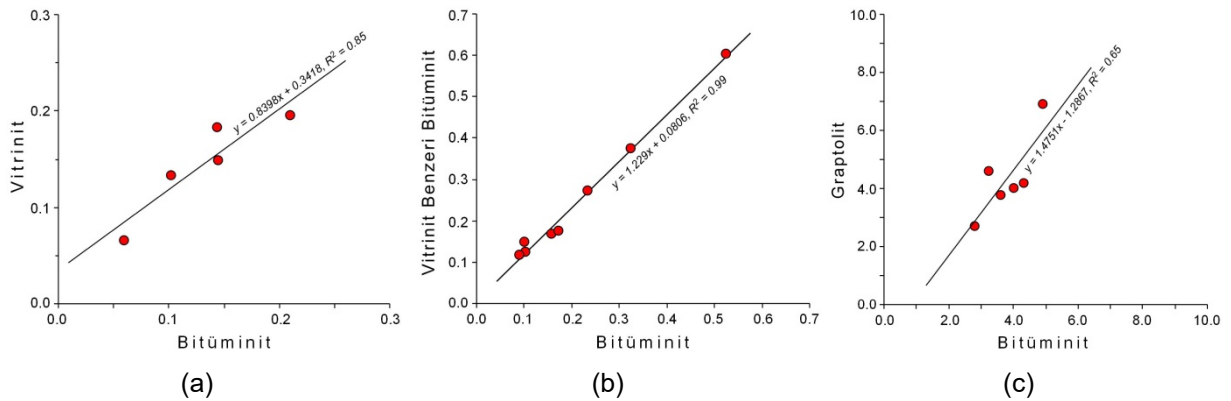
Organik madde XRD verilerine göre, düşük ranklı vitrinitik materyalleri grafitleşmiş organik maddeye göre daha yüksek d (Å) mesafesine sahiptir (Şekil 54).

## 7. TARTIŞMA VE YORUM

### 7.1. Yansıma Verilerinin Organik Madde Türlerine Göre Dağılımı

Organik olgunlaşma verisi olarak en önemli maseral türü vitrinit olmakla birlikte (Teichmüller, 1958, 1987, 1989; Taylor ve diğ., 1998), özellikle karbonat kayaçlarında bitüm daha yaygın olmakta, vitrinit ölçümleri çok sınırlı kalmaktadır. Diğer taraftan, Silüriyen yaşlı graptolitli şeylerde graptolit ön plana çıkmakta, vitrinit yansıması yerine kullanılabilirliği önem kazanmaktadır. Vitrinit yansıması yerine bitüminit veya vitrinit benzeri bitüminit yansımalarının kullanılacağı bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Örneğin: Ferreiro Mahlmann, 1994, 2001; Bozkaya ve diğ., 2002; Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012; Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016).

Proje kapsamında ölçülen vitrinit, bitüminit, vitrinit-benzeri bitüminit ve graptolit yansıma verilerinin değerlendirilmiş olup, korelasyon eşitlikleriyle birlikte Şekil 48’ de verilmiştir. Deneştirmede liptinit (alginit) ve detritik organik madde yansıma verileri değerlendirilmemiştir.



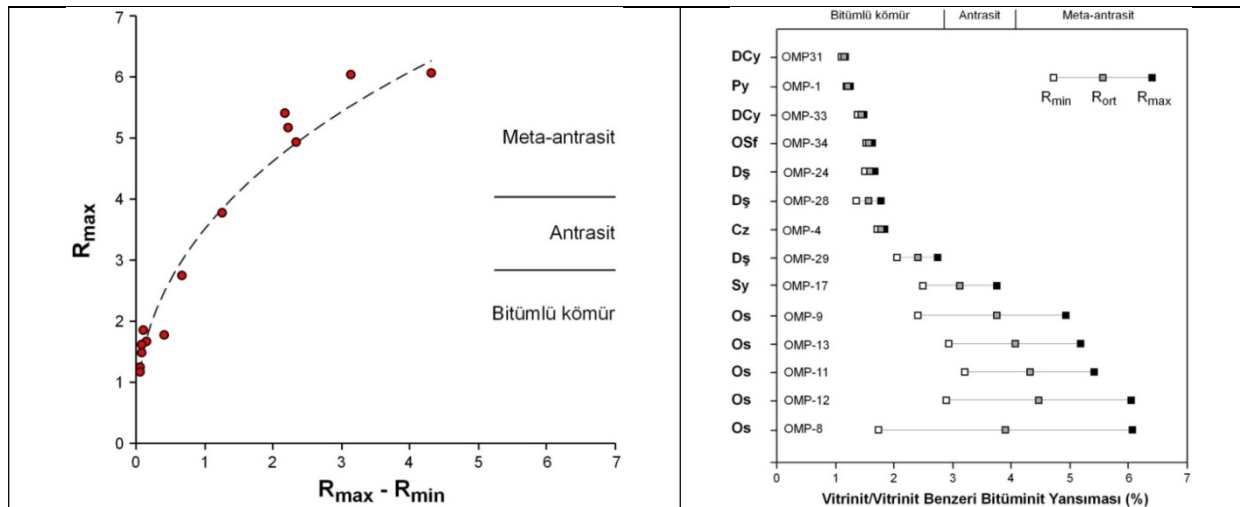
Şekil 48. Organik madde türlerine göre yansıma verilerinin korelasyonu. a) Vitrinit-bitüminit, b) Vitrinit benzeri bitüminit-bitüminit, c) Graptolit-bitüminit

Detritik organik madde yansıma değerleri çok yüksek olup (Bak Çizelge 11 ve 12), metaantrasit ve grafitik dereceleri yansıtmaktadır. Bu durum provenans bölgede yer alan metamorfik bir kaynaktan (Kadomiyen veya Pan Afrikan bir temelden) beslendiğini düşündürmektedir. İnfrakambriyen yaşlı Emirgazi Formasyonu örneklerinde ölçülen ortalama organik madde yansıması ölçüm değerleri (% Rm = 4.5-7.5, ortalama 6.13; Bozkaya ve diğ., 2002) metaantrasitik evreyi yansıtmakta olup, detritik organik madde yansımalarından daha düşük değerler sunmaktadır. Bu durum, Ordoviziyen-Permiyen istifinde gözlenen detritik organik madde kaynağının Emirgazi Formasyonundan daha yaşlı temel kayaçlardan türediğini işaret etmektedir.

## 7.2. Yansıma Anizotropisi (Çift Yansıma)

$R_{max}$  ve  $R_{min}$  değerlerine göre çift yansıma değerleri (veya vitrinit anizotropisi:  $R_{max} - R_{min}$ ) klastik kayalarındaki vitrinit partiküllerinin iki optik eksenli doğasından kaynaklanabileceği gibi, makaslama hareketlerinin çift yansıma değerlerini artırmasından da kaynaklanmaktadır (McCartney ve Ergun, 1967; Alpern ve Lemos de Sousa, 1970; Diessel ve diğerleri, 1978; Raben ve Gray, 1979a ve b; Teichmüller, 1987; Taylor ve diğ., 1998). Yazarlar mikroskopik ölçekteki makaslama hareketlerinin bile çift yansıma derecesini arttırdığını belirtmiştir.

İncelenen örneklerdeki çift yansıma değerleri artan  $R_{max}$  değerleriyle birlikte artmaktadır (Şekil 49a). Çift yansıma değerlerindeki artış Orta Devoniyen'de başlamakta, Silüriyen'den itibaren belirginleşmekte, Ordoviziyen'de maksimum düzeye ulaşmaktadır (Şekil 49b). Kömürleşme derecesi açısından; çift yansıma bitümlü kömür derecesi aşamasında son derece düşük değerler sunmakta, antrasit evresinde artmakta, meta-antrasit evresinde maksimum düzeye erişmektedir. Bu artış tedrici olarak artan diyajenez/gömülme metamorfizmasından ziyade tektonik hareketlerin Silüriyen ve öncesi birimlerde daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, Devoniyen ve daha genç birimlerin etkilenmediği Variskan-öncesi bir deformasyon evresini işaret etmektedir. Seydişehir Formasyonunun en alt seviyesini (Tremadoc) temsil eden OMP-8 nolu örneğin formasyonun orta ve üst seviyesini (Areginiyen) temsil eden diğer örneklerden daha yüksek çift yansıma değeri sunması da dikkat çekmektedir. Organik madde yansıması verilerinin işaret ettiği Tremadoc ve Areginiyen arasındaki olası bu hızlı değişim, jeolojik bir olaya işaret edebileceği vurgulanarak mineralojik verilerle de ortaya konulmuştur (Bozkaya ve diğ., 2002). Bu veriler jeolojik kayıtların ortaya çıkarılmasında inorganik parametreler kadar organik parametrelerin de kullanışlı olabileceğini göstermiştir.



(a)

(b)

Şekil 49. a) Çift yansıma değerlerinin artan  $R_{max}$  değerleriyle artışı, b) Vitrinit ve vitrinit benzeri bitüminitlerin minimum, maksimum ve ortalama yansıma değerlerinin birimlere göre dağılımları.

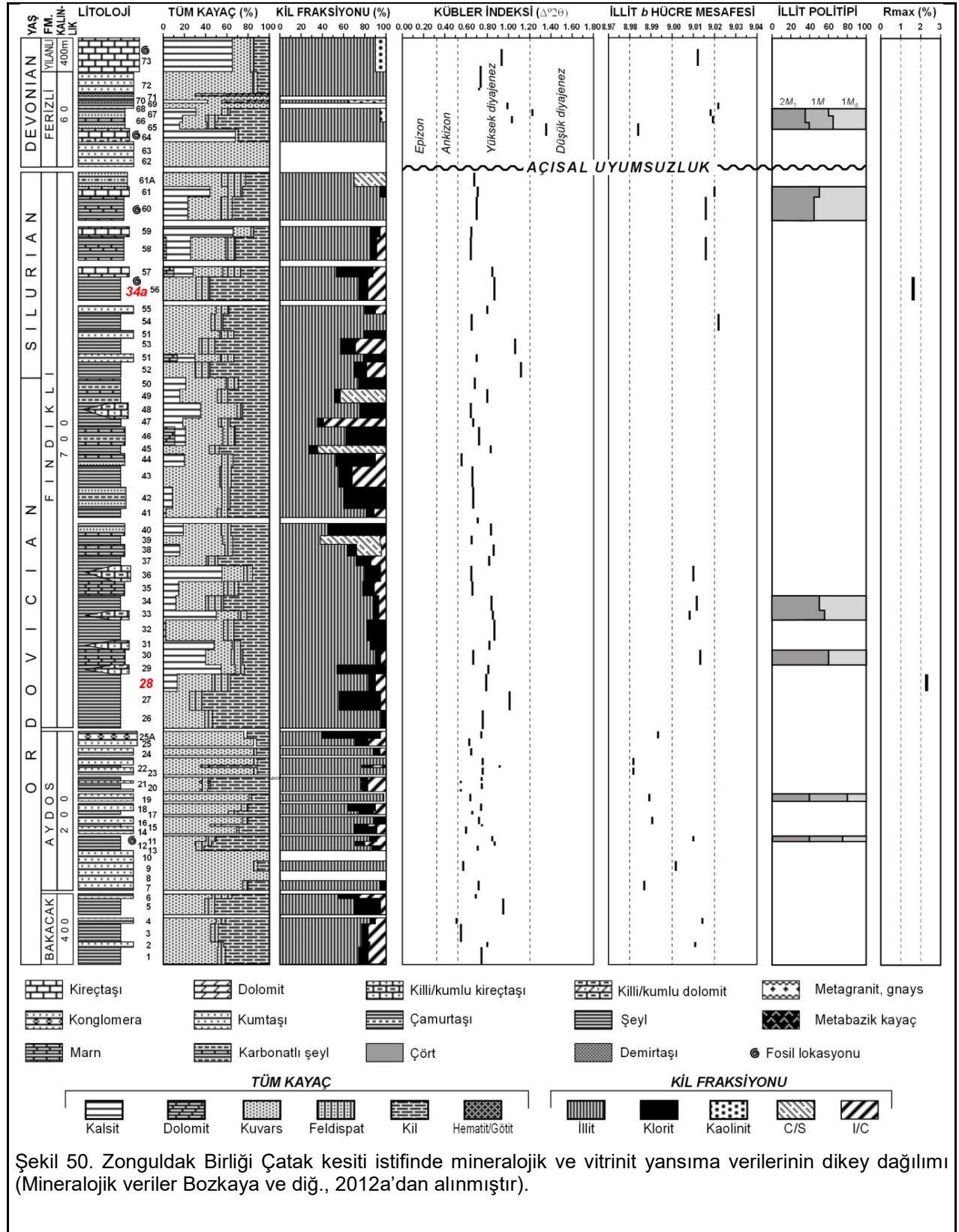
### 7.3. Organik Madde Yansıma Verilerinin Düşey Dağılımı

Ölçüm yapılan örneklerdeki organik madde yansıması değerleri İstanbul-Zonguldak Birliği, Doğu Toros Otoktonu örneklerin diyajenez/metamorfizma derecesine göre uyumlu biçimde düşey dağılıma sahiptir (Şekil 50-52). Organik madde yansıma değerleri ( $R_{max}$ , %) artan derinlikle birlikte artmaktadır. Bu artışın KI verilerinden daha belirgin olması dikkat çekicidir. Silüriyen yaşlı birimler  $R_{max}$  % 1.60 ile 4.34 arasında (orta uçuculu bitümlü kömür ile antrasitik kömürleşme derecesi), Devoniyen-Karbonifer yaşlı birimler ise  $R_{max}$  % 0.60 ile 1.48 arasında değişen değerler sunmaktadır. Silüriyen yaşlı birimlere ait organik madde yansıma değerlerinin geniş bir aralık sunması, farklı bölgelerde farklı diyajenez/metamorfizma derecesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Düşey yöndeki dağılım açısından Devoniyen yaşlı birimlerin Silüriyen yaşlı birimlerdekine göre düşük yansıma değerleri, birimin kalınlığıyla ilişkili jeotermal gradyanın neden olması beklenenden daha yüksek bir farklılık sunmaktadır. Bu durum, organik madde yansıması verilerinin de mineralojik verilere göre belirlenen Silüriyen-Devoniyen arasındaki uyumsuzluğa işaret eder nitelikte olduğunu göstermektedir.

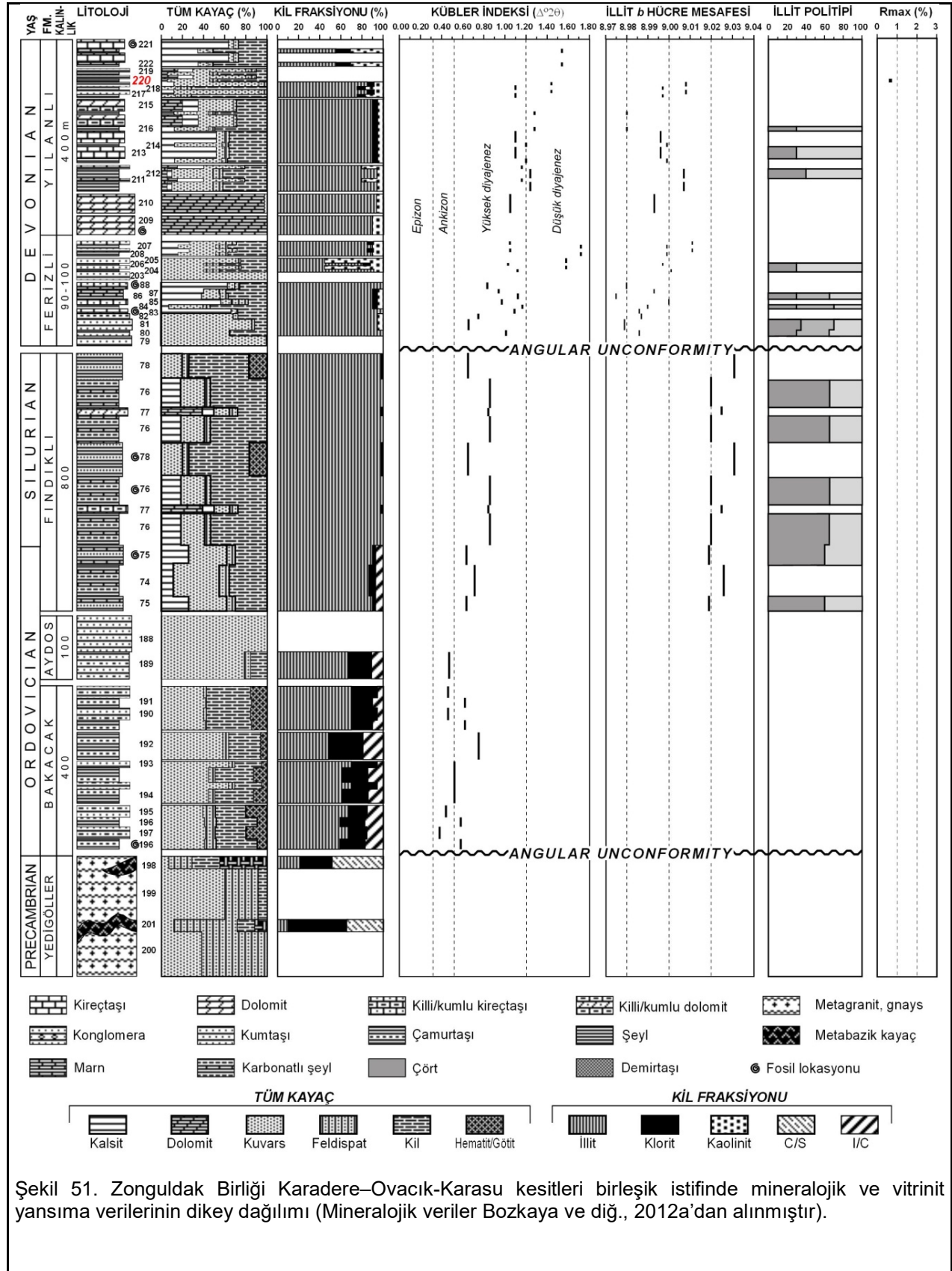
Doğu Toros Otoktonu istifini İnfakambriyen-Permiyen yaş aralığına sahip kalın bir sedimanter istif sunması bakımından organik madde yansıması verilerinin düşey dağılımıyla ilgili daha net bilgiler vermektedir (Şekil 53). İstif boyunca organik madde yansıma miktarları artan derinlik ve/veya diyajenez/metamorfizma derecesiyle birlikte artmaktadır. Organik madde yansıma verilerinin Doğu Toros Otoktonu istifindeki düşey dağılımı, Ordoviziyen'in Tremadosiyen ve Arenigiyen arasında, Ordoviziyen-Silüriyen arasında ve Karbonifer-Permiyen geçişinde ani düşüşler (değişim) sunmakta olup, mineralojik verilerdeki ani değişimlerle uyumludur. İstifte daha önce belirtilen olası düzensiz geçişlerin varlığı organik parametrelerde doğrulanmıştır.

Hazro Antiklinali boyunca yüzlek veren GD Anadolu Otoktonu istifinde iki birimde ölçülebilen vitrinit yansıması verileri Permiyen'den Silüriyen-Devoniyen yaşlı birimlere doğru artan kömürleşme derecesini işaret etmektedir (Şekil 54). İstifte Triyas'tan Silüriyen'e doğru diyajenez/metamorfizma artışı KI verilerine göre doğrudan izlenememekte, buna karşın organik madde yansıma verileri daha belirleyicidir. Diğer bir ifadeyle derinliğe bağlı diyajenez/metamorfizma derecesindeki değişimin belirlenmesinde organik madde yansıma verileri daha hassas veriler sunmaktadır.

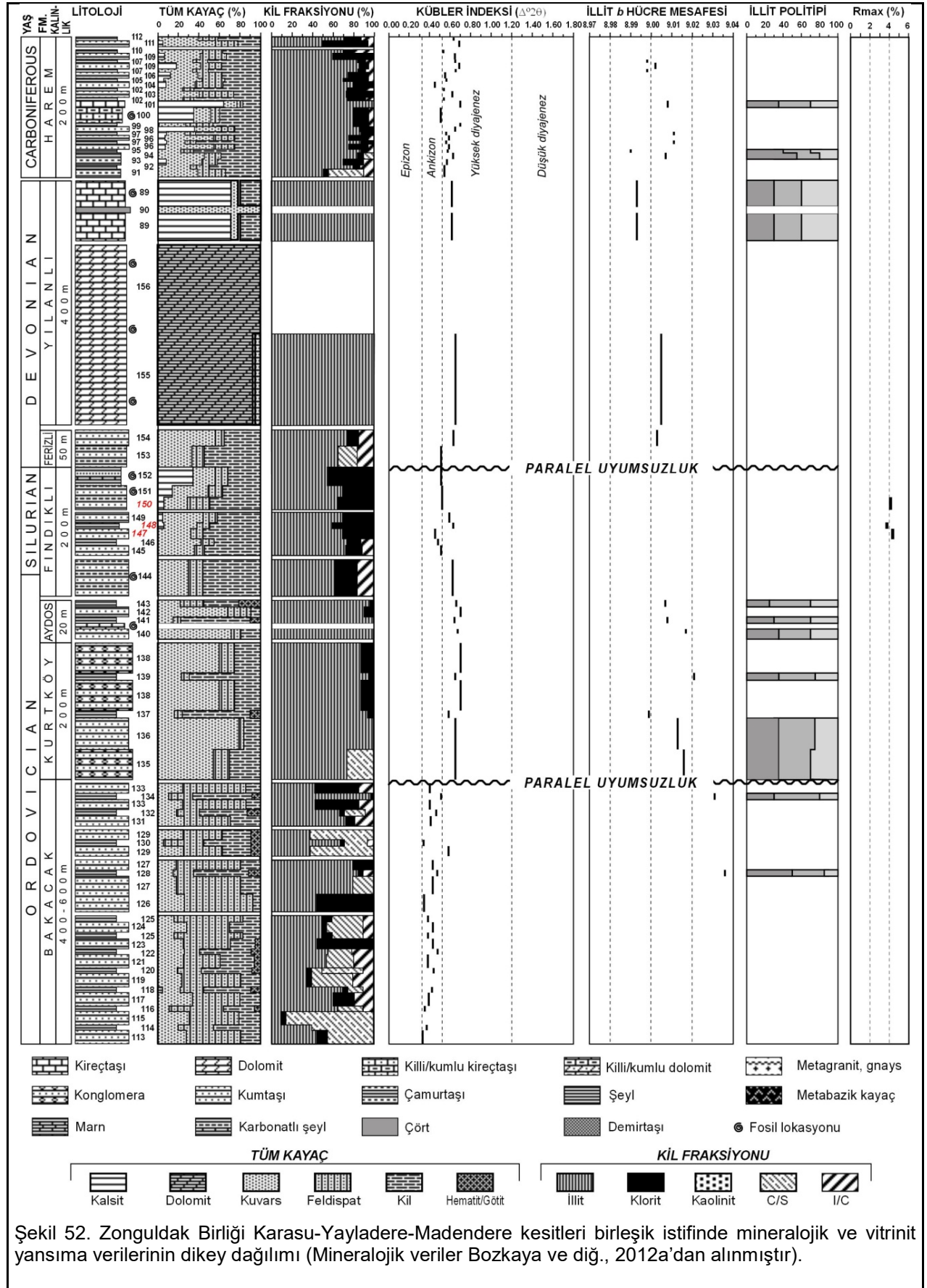




Şekil 50. Zonguldak Birliği Çatak kesiti istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).

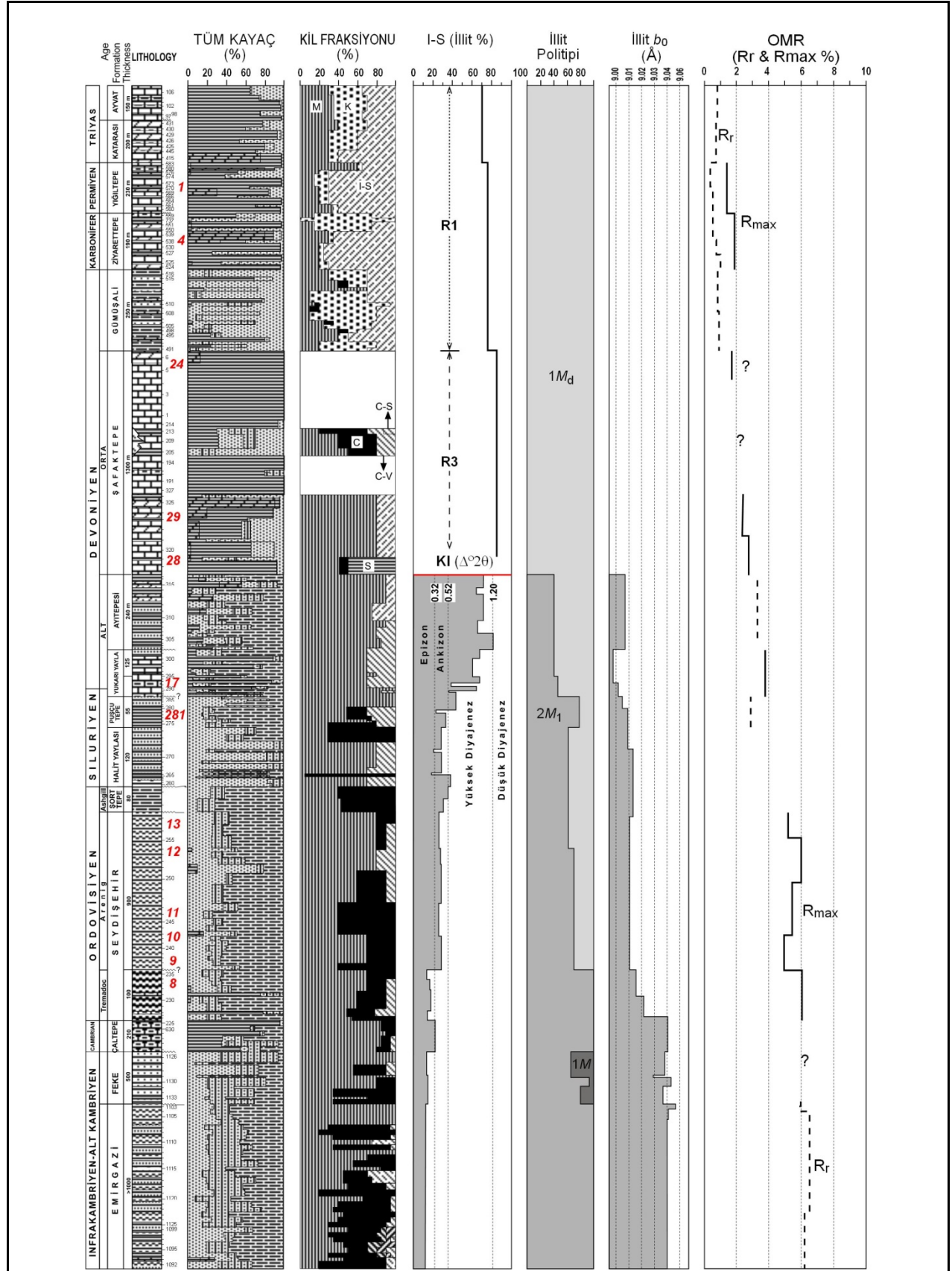


Şekil 51. Zonguldak Birliği Karadere–Ovacık-Karasu kesitleri birleşik istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).



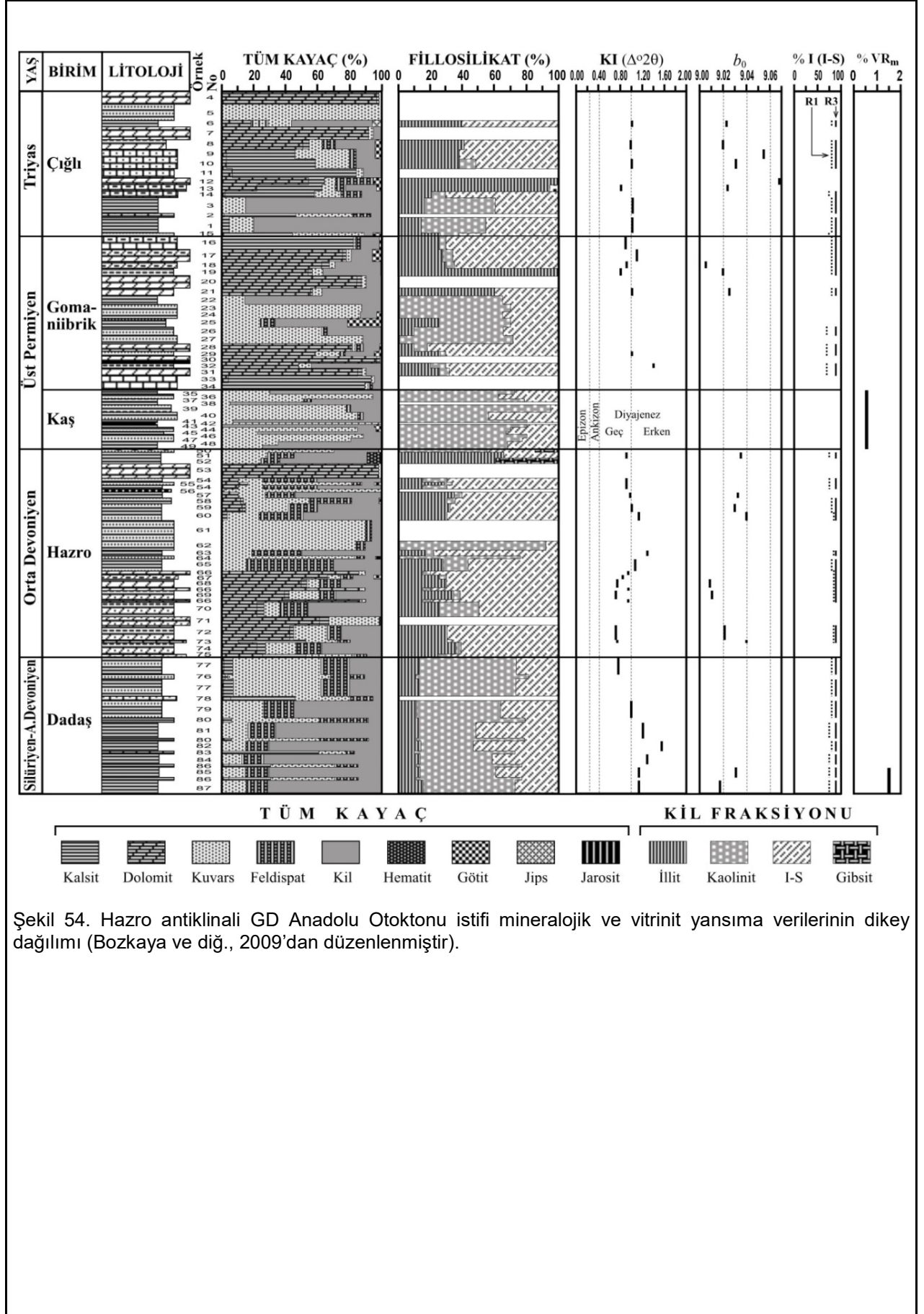
Şekil 52. Zonguldak Birliği Karasu-Yayladere-Madendere kesitleri birleşik istifinde mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2012a'dan alınmıştır).





Şekil 53. Doğu Toros Otoktonu istifi mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Mineralojik veriler Bozkaya ve diğ., 2002 ve Bozkaya ve Yalçın, 2004'ten düzenlenmiştir).

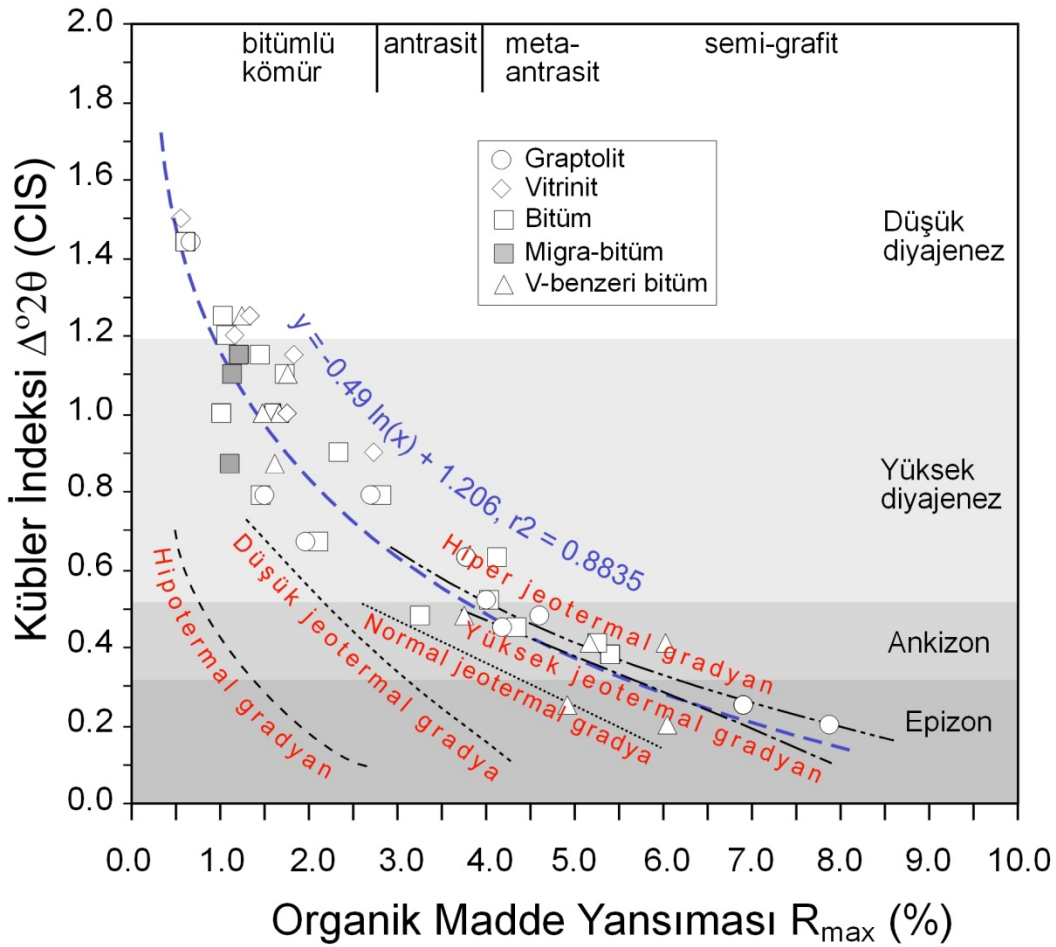




Şekil 54. Hazro antiklinali GD Anadolu Otoktonu istifi mineralojik ve vitrinit yansıma verilerinin dikey dağılımı (Bozkaya ve diğ., 2009'dan düzenlenmiştir).

#### 7.4. Organik Madde Yansımaya ve Kübler İndeksi Verilerinin Karşılaştırılması

Diyajenez - ankizon - epizon sınırlarına karşılık gelen organik madde yansımaya değerleri (% R<sub>m</sub> ve R<sub>max</sub>) Çizelge 1 ve Şekil 2' de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında ölçülen vitrinit, vitrinit-benzeri bitüm, bitüminit, migrabitüm ve graptolit R<sub>max</sub> verileri ile örneklerin KI verilerinin karşılaştırılması Şekil 55' de topluca verilmiştir. R<sub>max</sub> (%) değerlerine göre ankizonun alt ve üst sınırları yaklaşık % 3.7 ve 5.6 değerlerine karşılık gelmektedir. Bu değerler Ferreiro Mahlmann ve diğ. (2012) ile Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon (2016) tarafından önerilen 3.0 ve 6.0 değerlerine yakındır. Jeotermal gradyan açısından değerlendirildiğinde; yüksek diyajenez-ankizon ve epizonal değerler normal ve hiper jeotermal gradyan arasında dağılmakta çoğunlukla yüksek jeotermal gradyan yönelimini izlemektedir. Bu durum, organik madde olgunlaşmasının büyük ölçüde sıcaklık etkisiyle kontrol edildiğini veya eski orojenik kayıtların yüksek sıcaklık koşullarını yansıttığını göstermektedir.



Şekil 55. Ölçülen tüm örneklerdeki farklı maserallerin organik madde yansımaya R<sub>max</sub> (%) verileri ile Kübler İndeksi verilerinin korelasyonu (Jeotermal gradyan çizgileri Ferreiro Mahlmann ve diğ., 2012 ve Ferreiro Mahlmann ve Le Bayon, 2016'dan alınmıştır).

## 8. SONUÇLAR

İstanbul-Zonguldak Birliği Silüriyen-Karbonifer yaşı örneklerine ait organik madde (vitrinit, vitrinit benzeri bitüminit, bitüminit ve graptolit ) yansıma değerleri sırasıyla % Rmax 3.61-3.43 (antrasit) ve 0.659-1.614 (bitümlü kömür) olarak belirlenmiştir. Ortalama çift yansıma değerleri (Rmax-Rmin) Silüriyen için 0.624-1.368, Devoniyen için 0.067-0.105 olarak belirlenmiştir. Silüriyen ve Devoniyen yaşı birimler arasındaki organik madde yansıma farkları gömülme diyajenezi/metamorfizmasının neden olması beklenenden çok yüksek olup, Silüriyen ve Devoniyen arasında jeolojik bir olayın neden olduğu diyajenetik/metamorfik bir boşluğun (hiatus) olduğuna işaret etmektedir. Çift yansıma değerlerinin Silüriyen yaşı birimlerde belirgin biçimde yüksek olması, Devoniyen öncesi tektonizmanın daha etkin olduğunu düşündürmektedir. Organik madde yansıması verilere yansıyan bu farklılık mineralojik verilerdeki farklılıklarla da doğrulanmıştır (Bozkaya ve diğ., 2012b).

İstanbul-Zonguldak Birliği Paleozoyik istifi Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşı Yılanlı Formasyonuna ait ortalama vitrinit yansıma değerleri (% Rmax 0.659, 1.164 ve 1.614; Çizelge 7-9; Şekil 22-24), Üst Karbonifer (Westphalian) kömürlerine ait yansıma değerlerinden (% Rmax 0.58-1.04) biraz daha yüksektir. İnceleme alanının doğusunu ve istifin daha üst seviyelerini temsil eden Üst Karbonifer (Westphalian) yaşı Zonguldak Kömür Baseni (Amasra) kömürlerinin petrografik incelemelerinde bol vitrinit-grubu maserallerin bulunduğu ve yüksek uçuculu bitümlü kömür A-C vitrinit yansıma değerleri (% Rmax % 0.58-1.04) sunmaktadır (Karayığit, 1990; Karayığit ve diğ., 1998; Gürdal ve Yalçın, 2001). Yazarlar kömürleşmenin Hersiniyen orojeneziyle geliştiğini, bazı kesimlerde Alpin orojenezi (Geç Mesozoyik-Erken Tersiyer riftleşmesi) etkisinin olduğunu belirtmiştir. Zonguldak Gökgöl tüneli istifinden alınan kömürlü örneklerle ardalanmalı tefra (K-bentonit) seviyelerindeki aratabakalı illit-smektitlerin illitleşme K/Ar yaşları Erken Alpin (Erken Jura) dönemine karşılık gelmektedir (Bozkaya ve diğ., 2016).

Doğu Toros Otoktonu Ordoviziyen-Permiyen istifinden elde edilen vitrinit, vitrinit benzeri bitüminit ve bitüminit % Rmax yansıma değerleri artan kalınlık veya gömülmeyle birlikte yaşı birimlere doğru 1.023'den (yüksek uçuculu bitümlü kömür, düşük-dereceli diyajenez, ~100°C) 6.046'ya (antrasit-metantrasit, ankizon-epizon, ~350°C) kadar artış göstermektedir. Vitrinit yansıma-sıcaklık ilişkisine göre önerilen eşitliklerden (Barker, 1988; Barker ve Pawlewicz, 1994) hesaplanan sıcaklıklar Rmax % 1.023 için 137-150 °C, % 6.046 için ise 281-335 °C'dir. Çift yansıma değerleri Permiyen'de 0.066 olan çift yansıma değerleri Ordoviziyen'de 4.329'a ulaşmaktadır. Maksimum 3500 metre kalınlığa ulaşan Ordoviziyen-Permiyen istifinde, normal jeotermal gradyana (15-30 °C / 1000 m) bağlı sıcaklık artışı dikkate alındığında; Permiyen ile

Ordoviziyen'in alt seviyeleri arasındaki maksimum fark yaklaşık  $\sim 100$  °C beklenmelidir. Bu durumda belirlenen sıcaklık farklı normal jeotermal gradyana göre çok yüksektir.

Gömülme derinliğiyle birlikte beklenenden daha fazla sıcaklık artışı; açılmalı basandeki magmatik faaliyetlerle jeotermal gradyanın daha yüksek olması veya birbirini izleyen orojenik olayların izleri olarak değerlendirilebilir. Paleozoyik yaşlı kalın sedimanter istiflerdeki orojenik olayların etkisi, yaşlı birimleri etkileyen orojenezlerin genç birimlerdekinden daha yüksek olması durumunda, diğer bir ifadeyle sonraki dönemlerde etkin olan orojenezlerin daha düşük sıcaklık-basınç koşullarında gelişmesiyle belirlenebilmektedir (Örneğin: Bozkaya ve diğ., 2002; 2006; 2012a ve b, Ferreira Mahlmann ve diğ., 2012). Bu durumda, yaşlı birimlerdeki daha etkin olan orojenez izleri, jeotermal gradyana göre beklenenden daha yüksek diyajenez/metamorfizma derecesini yansıtmaktadır. Doğu Toros Otoktonu istifinde belirlenen organik madde yansıması verileri istifteki eski orojenez izlerinin yansımasıdır. Stratigrafik uyumsuzluklara yansıyan orojenez izleri yazarların daha önceki çalışmasında mineralojik verilerle de ortaya konulmuştur (Bozkaya ve diğ., 2002). Rmax değerlerindeki ani değişimlerle izlenebilen eski orojenik kayıtlar, özellikle çift yansıma değerlerindeki ani değişimlerle daha da belirginleşmektedir.

GD Anadolu Otoktonu Silüriyen-Triyas istifinde Silüriyen-Devoniyen ve Permiyen birimlere ait vitrinit yansıma değerleri (% Rm) sırasıyla 1.75 (düşük uçuculu bitümlü kömür) ve 0.55 (yarı-bitümlü kömür) olup, inorganik verilerle (illit Kübler İndeksi, politipi) belirlenemeyen diyajenez/metamorfizma derecesi farklılığının belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Organik madde yansıma verileri ile KI verilerinin karşılaştırılması göre diyajenez-ankizon ve ankizon-epizon sınırlarına karşılık gelen % Rmax verileri, sırasıyla % 3.7 ve 5.6 olarak belirlenmiş olup, Ferreira Mahlmann ve diğ. (2012) ve Ferreira Mahlmann ve Le Bayon (2016) tarafından önerilen  $3.0 \pm 0.15$  ve  $6.0 \pm 1.00$  sınırlarına yakındır.

Ankizon ve epizonal örneklerden zenginleştirilen organik madde üzerinde belirlenen grafitleşme derecesi, diğer bir organik olgunlaşma parametresi olup, organik madde yansıması ve inorganik verilerle uyumlu olup, organik madde yansıma ölçümü yapılması mümkün olmadığı durumlarda alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir gözükmektedir.

Sonuç olarak, sedimanter istiflerin diyajenez/metamorfizma ve/veya olgunlaşma tarihçesinin ortaya konulmasında organik madde yansıması ve grafitleşme derecesi gibi organik parametreler, şinorganik parametrelere benzer biçimde önemli veriler sunabilmektedir. İnorganik parametrelerin yetersiz olduğu bazı durumlarda organik olgunlaşma parametreleri daha da önem kazanmaktadır. Sedimanter havzaların jeolojik evrimlerinin belirlenmesindeki en ideal yaklaşım hem organik hem de inorganik parametrelerin birlikte kullanılması olup, bu çalışmada açık biçimde ortaya konulmuştur.

## 9. KAYNAKLAR

- Akdağ, Y., 1992. Karapınar (Sarız-Kayseri) kömür havzasının jeolojisi ve kömür petrografisi. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara.
- Alpern, B., Lemod de Sousa, M.J., 1970. Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite et de la fusinité des houilles. C.R. Acad. Sci. Paris, 271, 956-959.
- Barrenechea, J.F., Rodas, M., Arche, A., 1992. Relation between graphitization of organic matter and clay mineralogy, Silurian black shales in Central Spain. Mineralogical Magazine, 56, 477- 485.
- Barker, Ch.E., 1988. Geothermics of petroleum systems: Implications of the stabilization of kerogen thermal maturation after a geologically brief heating duration at peak temperature. In: L. Magoon, Editor, Petroleum Systems of the United States, U.S. Geol. Survey Bull. 1870, 26–29.
- Barker Ch. E., Pawlewicz, M. J., 1994. Calculation of Vitrinite Reflectance from Thermal Histories and Peak Temperatures A Comparison of Methods. In Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter; Mukhopadhyay, P., et al.; ACS Symposium Series, No: 570; American Chemical Society, Washington, DC.
- Bonijoly, M., Oberlin, M., Oberlin, A., 1982. A possible mechanism for natural graphite formation. International Journal of Coal Geology, 1, 283-312.
- Bozkaya, Ö., 1995. Doğu Toroslardaki (Sarız-Tufanbeyli-Saimbeyli yöreleri) sedimanter ve çok düşük dereceli metasedimanter kayaçların mineralojisi ve jeokimyası. Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bil. Enst., 334 s (yayınlanmamış).
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1996. Diyajenez-metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 49, 1-22.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1998. Doğu Toros Otoktonu Paleozoyik kayalarında sedimanter gömülme ile ilişkili diyajenez ve çok düşük dereceli metamorfizma. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 10, 1, 35-54.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2000. Very low-grade metamorphism of Upper Paleozoic-Lower Mesozoic sedimentary rocks related to sedimentary burial and thrusting in Central Taurus Belt, Konya, Turkey. International Geology Review, 42, 353-367.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2004. Diagenetic to low-grade metamorphic evolution of clay mineral assemblages in Palaeozoic to early Mesozoic rocks of the Eastern Taurides, Turkey. Clay Minerals, 39, 481-500.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 2005. Diagenesis and very low-grade metamorphism of the Antalya Unit: mineralogical evidence of Triassic rifting, Alanya-Gazipaşa, Central Taurus Belt, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 25, 109-119.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Göncüoğlu, M.C., 2002. Mineralogic and organic responses to the stratigraphic irregularities : An example from the Lower Paleozoic very low-grade metamorphic units of the Eastern Taurus Autochthon, Turkey. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 82, 355-373.
- Bozkaya, Ö., Gürsu, S., Göncüoğlu, M.C., 2006. Textural and mineralogical evidence for a Cadomian tectonothermal event in the eastern Mediterranean (Sandıklı-Afyon area, western Taurides, Turkey). Gondwana Research, 10, 301-315.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Kozlu, H., 2009a. Amanoslar bölgesi Paleozoyik kayaçlarının mineralojisi. H.Ü. Yerbilimleri, 30, 11-44.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Kozlu, H., 2009b. Hazro (Diyarbakır) bölgesi Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı sedimanter istifin mineralojisi. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 21, 1, 53-81.



- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Kozlu, H. (2011) Clay Mineralogy of the Paleozoic-Lower Mesozoic sedimentary sequence from the Northern Part of the Arabian Platform, Hazro (Diyarbakır), Southeast Anatolia. *Geologica Carpathica*, 62, 6, 489-500.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Göncüoğlu, M.C., 2012a. Mineralogic evidences of a mid-Paleozoic tectono-thermal event in the Zonguldak terrane, NW Turkey: implications for the dynamics of some Gondwana-derived terranes during the closure of the Rheic Ocean. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 49, 559-575.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Göncüoğlu, M.C., 2012b. Diagenetic and very low-grade metamorphic characteristics of the Paleozoic series of the Istanbul Terrane (NW Turkey). *Swiss Journal of Geosciences*, 105, 183-205.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Göncüoğlu, M.C., 2014. İstanbul-Zonguldak Birliğinin diyajenetik-çok düşük dereceli metamorfik karakteristikleri ve kökeni. İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu IV, 26-28 Aralık 2014, Genişletilmiş Bildiri Özetleri Kitabı, İstanbul, 173-183.
- Bozkaya, Ö., Günel-Türkmenoğlu, A., Göncüoğlu, M.C., Ünlüce, Ö., Yılmaz, İ.Ö., Schroeder, P.A, 2016. Illitization of Late Devonian-Early Carboniferous K-bentonites from Western Pontides, NW Turkey: Implications for their origin and age. *Applied Clay Sciences* (in press).
- Brindley, G.W., 1980. Quantitative X-ray mineral analysis of clays. In: *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*, G.W. Brindley and G. Brown (eds.), Mineralogical Society, London, pp. 411-438.
- Diessel, C.F.K., Brothers, R.N., Black, P.M., 1978. Coalification and graphitization in high-pressure schists in New Caledonia. *Contrib. Miner. Petrol.* 68, 63-78.
- Dunoyer de Segonzac, G., 1970. The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, 15, 281-346.
- Ferreiro Mahlmann. R., 1994. Zur Bestimmung von Diagenesehöhe und beginnender Metamorphose - Temperaturgeschichte und Tektogenese des Austroalpins und Süppenninikums in Vorarlberg und Mittelbünden. University of Frankfurt. *Frankfurter geowiss. Arb.. Serie C*, 14.498 pp.
- Ferreiro Mahlmann. R., 2001. Correlation of very low grade data to calibrate a thermal maturity model in a nappe tectonic setting. a case study from the Alps. *Tectonophysics* 334. 1-33.
- Ferreiro Mahlmann, R., Frey, M., 2012. Standardisation, calibration and correlation of the Kübler-index and the vitrinite/bituminite reflectance: an interlaboratory and field related study. *Swiss Journal of Geosciences*, 105, 153-170.
- Ferreiro Mahlmann, R., Bozkaya, Ö., Potel, S., Le Bayon, R., Nieto, F., 2012. The pioneer work of Bernard Kübler and Martin Frey in very low-grade metamorphic terranes: paleo-geothermal potential of variation in Kübler-Index/organic matter reflectance correlations. A review. *Swiss Journal of Geosciences*, 105, 121-152.
- Ferreiro Mahlmann, R., Le Bayon R., 2016. Vitrinite and vitrinite like solid bitumen reflectance in thermal maturity studies: Correlations from diagenesis to incipient metamorphism in different geodynamic settings. *International Journal of Coal Geology*, 157, 52-73.
- Frey M., 1987. Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. Pp. 17 in: *Low Temperature Metamorphism* (M. Frey, editor). Blackie, London.
- Frey, M., Teichmüller, M., Teichmüller, R., Mullis, J., Künzi, B., Breitschmid, A., Gruner, U., Schwizer, B., 1980. Very low-grade metamorphism in external parts of the Central Alps: Illite crystallinity, coal rank and fluid inclusion data. *Ecloga geol. Helv.* 73, 173 - 203.
- Gedik İ, Pehlivan S, Duru M, Timur E (2005). 1:50.000 Scaled Geological Maps and Explanations: Sheets Bursa G22a and Istanbul F22d. Ankara, Turkey: General Directorate of Mineral Research Exploration.
- Göncüoğlu, M. C. 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş. Alpin ve Alpin öncesi tektonik birliklerin

- jeodinamik evrimi. MTA. Genel Müdürlüğü Monografi Serisi, No: 5, 69s.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., Kozlu, H., 1997. General Characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey, *Annales Geologique de Pays Hellenique*, 37, Geol. Soc. Greece, 515-536.
- Guggenheim S., Bain D.C., Bergaya F., Brigatti, M.F., Drits A., Eberl D.D., Formoso, M.L.L., Galan E., Merriman R.J., Peacor, D.R., Stanjek H., Watanabe, T., 2002. Report of the AIPEA nomenclature committee for 2001: order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "Crystallinity Index". *Clay Minerals*, 37, 389-393.
- Guidotti, C.V., and Sassi, F.P., 1986. Classification and correlation of metamorphic facies series by means of muscovite data from low-grade metapelites. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 153, 363-380.
- Günay, Y., 1998. Güneydoğu Anadolunun Jeolojisi (Stratigrafi). TPAO Rapor No. 3939 (yayımlanmamış).
- Gürdal, G., Yalçın, M.N., 2001. Pore volume and surface area of the Carboniferous coals from the Zonguldak basin (NW Turkey) and their variations with rank and maceral composition. *International Journal of Coal Geology*, 48, 133-144.
- Héroux, Y., Chagnon, A., Bertrand, R., 1979. Compilation and correlation of major thermal maturation indicators. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 63, 2128 - 2144.
- Itaya, T., 1981. Carbonaceous material in pelitic schists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *Lithos* 14, 215 - 224.
- Karayiğit, A.İ., 1990. Zonguldak kömürlerinin petrolojik özellikleri. Türkiye 7. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 261-278.
- Karayiğit, A.İ., Gayer, R.A., Demirel, İ.H., 1998. Coal rank and petrography of Upper Carboniferous seams in the Amasra coalfield, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 36, 277-294.
- Kisch, H.J., 1974. Anthracite and meta - anthracite coal ranks associated with 'anchimetamorphism' and 'very - low - stage' metamorphism, I, II, III. *K. Ned. Akad. Wet., Amsterdam., Proc. Ser. B* 77 (2), 81 - 118.
- Kisch, H.J. 1980. Illite crystallinity and coal rank associated with lowest-grade metamorphism of the Tavayanne greywacke in the Helvetic zone of Swiss Alps. *Eclogae Geol. Helv.*, 73, 753-777.
- Kisch, H.J. 1983. Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks. Pp. 513-541 in: *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks*, 2 (G. Larsen & G.V. Chilingar, editors). Elsevier, Amsterdam.
- Kozlu, H., Göncüoğlu, M.C., 1997. Stratigraphy of the Infra-Cambrian rock-units in Eastern Taurides and their correlation with similar units in southern Turkey. In: *Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana*, Turkish Association of Petroleum Geologists, Special Publications, 3, 50-60.
- Kübler, B., 1968. Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bulletin-Centre de Recherches Pau-SNPA*, 2, 385-397.
- Kübler, B., Pittion, J. -L., Héroux, Y., Charollais, J., Weidmann, M., 1979. Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes préalpines, helvétiques et penniques. *Eclogae Geol. Helv.* 72, 347 - 373.
- Landis, C.A., 1971. Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* 30, 34 - 45.
- Luque, F.J., Rodas, M., 1999. Constraints on graphite crystallinity in some Spanish fluid-deposited occurrences from different geologic settings. *Mineralium Deposita*, 34(2), 215-219.
- Luque, F.J., Barrenechea, J.F., Rodas, M., 1993. Graphite geothermometry in low and high

- temperature regimes: two case studies. *Geological Magazine* 130, 501–511.
- McCartney, J.T., Ergun, S., 1967. Optical properties of coal and graphite. *Bur. Mines Bull.*, 641.
- Merriman, R.J., 2002. Contrasting clay mineral assemblages in British Lower Palaeozoic slate belts: the influence of geotectonic setting. *Clay Minerals*, 37, 207-219.
- Merriman, R.J., 2005. Clay minerals and sedimentary basin history. *European Journal of Mineralogy*, 17, 7-20.
- Merriman, R.J., Frey, M., 1999. Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks, In: Frey, M. and Robinson, D. (Eds.), *Low Grade Metamorphism*. Blackwell Science, Oxford, 61-107.
- Merriman, R.J., Peacor, D.R., 1999. Very low-grade metapelites: Mineralogy, microfabrics and measuring reaction progress, In: Frey, M. and Robinson, D. (Eds.), *Low Grade Metamorphism*. Blackwell Science, Oxford, 10-60.
- Metin, S., Ayhan, A., Papak, İ., 1987. Doğu Torosların batı kesiminin jeolojisi (GGD Türkiye). *MTA Dergisi*, 107, 1-12.
- Metin, S., Ayhan, A., Papak, İ., 1990. 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Elbistan-İ22 paftası. MTA Yayını, 15s.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. *TJK Bülteni*, 19, 1, 65-78.
- Özgül, N., 1984. Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides. In: *Geology of the Taurus Belt*, (Eds. O. Tekeli, M.C. Göncüoğlu), Int. Sym., 26-29 Sept., 1983, Ankara, Turkey, p. 77-90.
- Özgül, N., Metin, S., Göğer, İ., Baydar, O., 1973. Tufanbeyli dolayının Kambriyen-Tersiyer kayaları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 16, 1, 82-101.
- Pesquera, A., Velasco, F., 1988. Metamorphism of the Palaeozoic Cinco Villas massif (Basque Pyrenees) : Illite crystallinity and graphitization degree. *Mineralogical Magazine*, 52, 615-625.
- Raben, J.D., Gray, R.J., 1979a. The geology and petrology of anthracites and meta-anthracites in the Narragansett Basin, southeastern New England. In: *Carboniferous Basins of Southeastern New England. Field Trip Guide Book 5*, Cameron, B., 9th Int. Cong. Carbon. Strat. Geol. Amer. Inst. Falls Church, 93-108.
- Raben, J.D., Gray, R.J., 1979b. The nature of highly deformed anthracites and meta-anthracites in southeastern New England. 9th Int. Cong. Carbon. Strat. Geol., Abstracts, Urbana, Illinois, 169.
- Rodas, M., Luque, F.J., Barrenechea, J.F., Fernandez-Caliani, J.C., Miras, A., Fernandez-Rodriguez, C., 2000. Graphite occurrences in the low-pressure/high-temperature metamorphic belt of the Sierra de Aracena (southern Iberian Massif). *Mineralogical Magazine* 64, 801–814.
- Sassi, F.P., and Scolari, A., 1974. The b<sub>0</sub> value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 45, 143-152.
- Smith, G.C., Cook, A.C., 1980. Coalification paths of exinite, vitrinite and inertinite. *Fuel*, 59, 641-647.
- Suchy, V., Frey, M., Wolf, M., 1997. Vitrinite reflectance and shear-induced graphitization in orogenic belts: A case study from the Kandersteg area, Helvetic Alps, Switzerland. *International Journal of Coal Geology*, 34, 1-20.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tagiri, M., 1981. A measurement of the graphitizing - degree by the X-ray powder diffractometer. *Journal of the Japanese Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology* 76, 345 - 352.

Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., 1998. Organic Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Teichmüller M. 1958. Rekonstruktionen verschiedener Moor typen Hauptflözes der Niederrheinischen Braunkohlen. Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, 2, p. 599-612.

Teichmüller, M., 1987. Organic material and very low – grade metamorphism. In Low Temperature Metamorphism, Ed. M. Frey, 114 - 161.

Teichmüller, M., 1989. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. International Journal of Coal Geology 12, 1 – 87.

Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 2013. Güneydoğu Anadolu Otoktonu Mardin (Derik-Kızıltepe) yöresinde Prekambriyen-Erken Paleozoyik yaşlı kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 24, 1, 23-47.

Velde, B., Lanson, B., 1993. Comparison of I-S transformation and maturity of organic matter at elevated temperature. Clays Clay Miner. 41, 178-183.

Warr, L.N., Ferreiro Mahlmann, R., 2015. Recommendations for Kübler Index standardization. Clay Minerals, 50, 283-286.

Warr, L.N., Rice, A.H.N., 1994. Interlaboratory standartization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. Journal of Metamorphic Geology, 12, 141-152.

Wolf M., 1975: Relationship of illite crystallinity and coalification. Neu. Jb. Geol. Paläont. Abh., Mh., 437 447

Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 2002. Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon mineralojisi ve jeokimyası, deniz suyu-kayaç etkileşimine bir örnek. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi SeriA-Yerbilimleri, 19, 81-98.

Yılmaz, E., Duran, O. 1997, Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton ve allohton birimler stratigrafi adlama sözlüğü (Lexicon). TPAO Genel Müdürlüğü, Eğitim Yayınları No.31.

| <b>Proje Yürütücüsünün Adı Soyadı</b> | <b>İmzası</b> | <b>Tarih</b> |
|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Ömer BOZKAYA                          |               | 29.08.2016   |

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

|   |   |
|---|---|
| Proje Yürütücüsü:                       | Prof. Dr. ÖMER BOZKAYA  |
| Proje No:                               | 115Y420   |
| Proje Başlığı:                          | Paleozoyik Yaşlı Sedimanter İstiflerin Diyajenez/Metamorfizma Özelliklerinin Organik Madde Yansıması Ve Grafitleşme Derecesi Yöntemiyle Belirlenmesi  |
| Proje Türü:                             | 1002 - Hızlı Destek   |
| Proje Süresi:                           | 12  |
| Araştırmacılar:                         | MEHMET CEMAL GÖNCÜOĞLU  |
| Danışmanlar:                            |   |
| Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: | PAMUKKALE Ü.  |
| Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:  | 15/08/2015 - 15/08/2016   |
| Onaylanan Bütçe:                        | 28840.0   |
| Harcanan Bütçe:                         | 23517.75  |
| Öz:                                     | <p>Projede Paleozoyik yaşlı sedimanter kayaçların diyajenez/metamorfizma derecesinin organik petrografik yöntemlerle belirlenmesi ve dokusal-mineralojik verilerle denştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Türkiye'nin Paleozoyik sedimanter istifler içeren farklı tektonostratigrafik birliklerinden (İstanbul-Zonguldak Birliği, Toridler/Doğu Toros Otoktonu, GD Anadolu Otoktonu) alınan Ordovisiyen-Permiyen yaş aralığına sahip organik maddece zengin örnekler üzerinde organik petrografik (organik madde yansıması) ve X-ışınları kırınımı (XRD) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Organik madde (vitrinit, vitrinit benzeri bitüminit, bitüminit ve graptolit) yansıma değerleri; İstanbul-Zonguldak Birliği Silüriyen-Karbonifer istifi için bitümlü kömür-antrasit (% Rmax = 0.67-3.61); Doğu Toros Otoktonu Ordovisiyen-Permiyen istifi için yüksek uçuculu bitümlü kömür-antrasit/metaantrasit (% Rmax = 1.02-6.05), GD Anadolu Otoktonu Silüriyen-Permiyen istifi için yarı bitümlü kömür-düşük uçuculu bitümlü kömür (% Rm = 0.55-1.75) evrelerini yansıtmaktadır. Organik madde yansıma değerleri dokusal ve mineralojik verilere uyumlu biçimde artan sıcaklık ve basınçla birlikte yaşlı birimlere doğru artmaktadır. Organik madde yansıma verilerindeki ani değişimler, sedimanter istifteki daha önceki orojenik olayları da (diyajenetik/metamorfik boşluk) işaret etmektedir. Çift yansıma (Rmax-Rmin) değerleri antrasitik evreye sahip örneklerde artmakta, sleyt klivajlı örneklerde maksimuma ulaşmaktadır. Elde edilen bulgu ve sonuçlar; yaşlı ve kalın sedimanter havzaların jeolojik evriminin ortaya konulmasında organik petrografik çalışmaların inorganik parametreler kadar önemli olduğunu ve en sağlıklı yorumların inorganik ve organik verilerin birlikte kullanılmasıyla mümkün olabileceğini ortaya koymuştur.</p> |
| Anahtar Kelimeler:                      | Organik madde yansıması, vitrinit, bitüm, grafitleşme, kömürleşme derecesi (rank)   |
| Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:  | Hayır   |