



**Ayhan Havzası'nın (Orta Anadolu) Litolojik Haritalaması ve Jeolojik Çıkarımlar:  
Bir Uzaktan Algılama ve Arazi Çalışması Entegrasyonu**  
*Lithological Mapping of the Ayhan Basin (Central Anatolia) and Geological Implications: An  
Integration of Remote Sensing and Field Surveys*

**Ayten Koç** 

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tuşba 65080 Van, Türkiye*

• Geliş/Received: 11.04.2021 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 08.07.2021 • Kabul/Accepted: 09.07.2021  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 06.08.2021 • Baskı/Printed: 25.08.2021

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Afrika ve Avrasya plakalarının Kretase'den bu yana devam eden yakınsamalı hareketine bağlı olarak Doğu Akdeniz'de gelişen dalma-batma zonlarının anlaşılmasında, anahtar alanlardan biri olan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK); metamorfik kayalar, ofiyolitleri ve magmatik sokulumları ile Türkiye'de görülen en büyük metamorfik kompleksdir.

Çalışma alanı olarak belirlenen Ayhan Havzası, OAKK üzerinde gelişmiş ve havza dolgusu Paleosen'den Kuvaterner'e kadar aşıl uyumsuzluklar ile kesintiye uğramış sıyrılmaya üstü (supra-detachment) gelişen bir havzadır ve havzanın Paleosen'den günümüze kadar bölgeyi etkileyen tektonik mekanizmalara ait tüm jeolojik kayıtları içermesi beklenmektedir. Ayhan Havzası'nın yapısal unsurları ile iyi tanımlanmış bir litoloji haritasının oluşturulması, Ayhan Havzası'nın jeolojik evrimini anlamak ve ayrıca OAKK'ı deforme eden tetik mekanizmalarının konumsal ve zamansal etkilerinin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Bu amaçla, çizgiselliklerin ve farklı yansıma değerlerine sahip litolojik birimlerin belirlenmesinde, yaygın bir uygulamaya sahip olan optik uydu görüntüleri (Landsat TM ve ASTER) işleme teknikleri (pankromatik keskinleştirme, yeniden örnekleme, temel bileşenler analizi, dekorelasyon germe ve bant kombinasyonu) kullanılmıştır. Sonrasında ise arazi doğrulaması yapılarak havzanın litostratigrafisi ve detaylı jeoloji haritası oluşturulmuştur.

Arazi gözlemleri ve uzaktan algılama çalışmaları ile yeniden düzenlenen stratigrafi ve jeoloji haritası değerlendirildiğinde, Ayhan Havzası Lütisen öncesi karasal çökeller ile başlayan, Eosen'de denizel çökeller ile devam eden ve sonrasında ise yine karasal depolanma ile son bulan bir depolanma sistemine sahiptir. Deformasyon süreçleri, Anadolu Kristalen Kompleksi'nin (OAKK) oluşumunda etkin olan tetik mekanizmaları çerçevesinde değerlendirildiğinde ise OAKK'nın kuzeyi ve güneyi arasında farklılıklar bulunmaktadır. Buna göre, OAKK'nın kuzeyinde ve güneyinde bulunan dalma-batma zonlarının etki alanlarının sınırı Çiçekdağ ve Ayhan Havzaları arasında bir konumda bulunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** ASTER, Ayhan Havzası, Kırşehir Bloğu, Landsat TM, Orta Anadolu, Uzaktan Algılama.

**Abstract:** The Central Anatolian Crystalline Complex (CACC), consisting of metamorphic rocks, ophiolites, and magmatic intrusions, is the largest metamorphic complex in Turkey. It is also one of the key areas for reconstruction of the subduction zones, accommodating the Africa-Europe convergence since the Cretaceous in the Eastern Mediterranean.

*The Ayhan Basin, chosen as the study area, is a supra-detachment basin that developed on the CACC. It has basin infill with an age ranging from Paleocene to Quaternary, interrupted by angular unconformities, and*

*is expected to contain the whole geological record of tectonic mechanisms which have affected the region from Paleocene to Recent times. Producing a well-defined lithological map showing the structural elements of the basin is very important to understand the geological evolution of the Ayhan Basin and also to determine the spatial and temporal effects of the triggering mechanisms which deform the CACC. For this purpose, optical satellite image (Landsat TM and ASTER) processing techniques (pan-sharpening, resampling, principal component analysis, decorrelation stretching, and band combination), which have a widespread application, were used in determination of the lineaments and lithological units, having different reflectance values. After this, detailed lithostratigraphy and geological mapping of the Ayhan Basin were created by field verification.*

*Considering the reconstructed stratigraphy and the geological map of the Ayhan Basin based on field observation and remotely sensed data, it has a depositional system that starts with continental deposits before Lutetian, then continues with marine sediments during the Eocene, and again ends with continental deposits. When the deformation processes are evaluated based on the trigger mechanisms of the Central Anatolian Crystalline Complex's (CACC) evolution, the northern and southern part of the CACC show clearly different processes. Accordingly, the boundary of the impact zone of the subduction zones in the north and south of the CACC is located between the Çiçekdağ and Ayhan basins.*

**Keywords:** ASTER, Ayhan Basin, Central Anatolia, Kırşehir Block, Landsat TM, Remote Sensing.

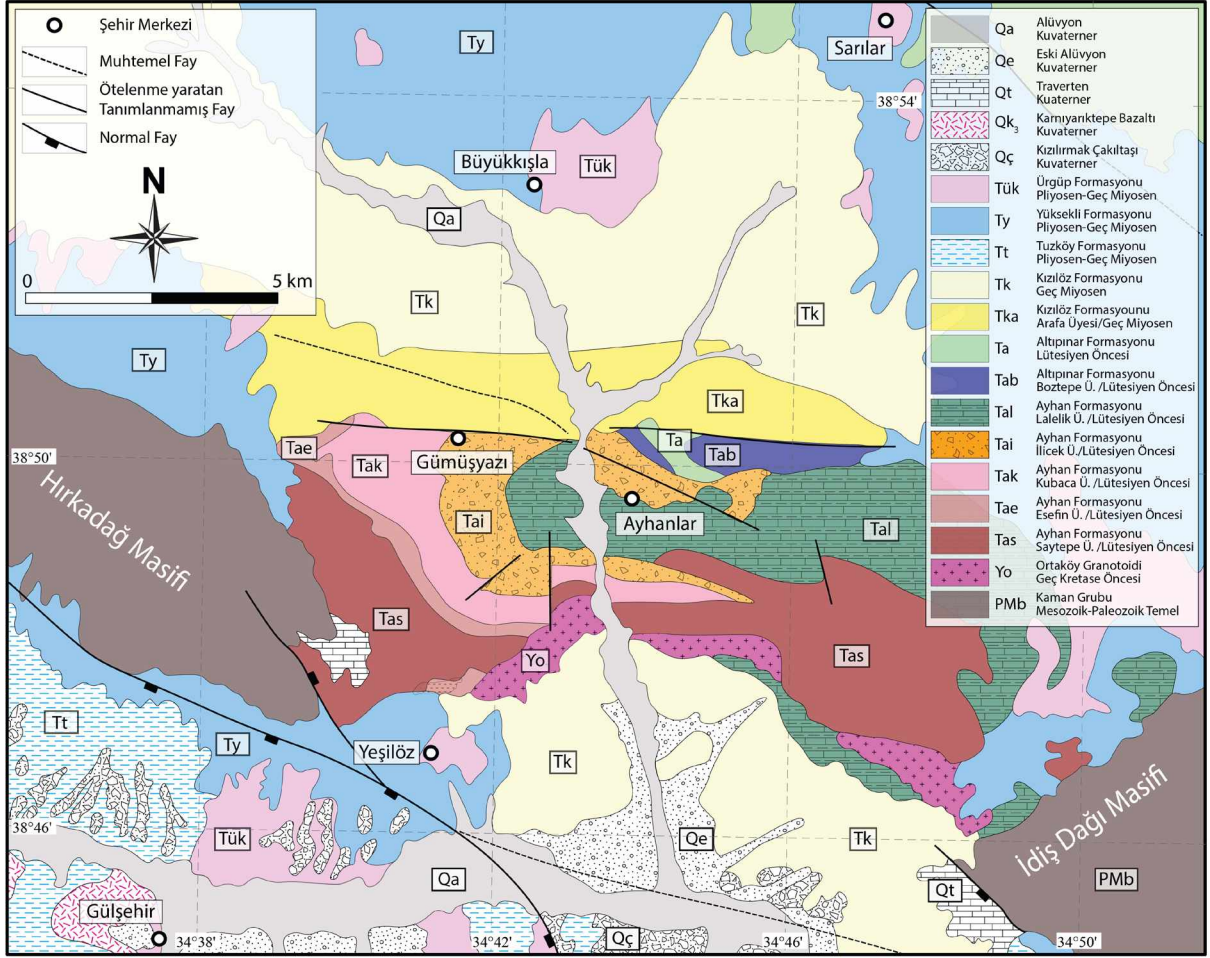
## GİRİŞ

Afrika ve Avrasya plakalarının Kretase'den günümüze kadar devam eden yaklaşık K-G doğrultusunda birbirlerine doğru hareketine bağlı olarak birden fazla ve kısmen eş zamanlı dalma-batma zonları gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Stampfli ve Borel, 2002; Robertson, 2004; Okay vd., 2006; Moix vd., 2008). Bu dalma-batma zonlarının yapısı ve gelişimi, nicel kinematik yaklaşımların eksiklikleri nedeniyle iyi anlaşılammaktadır. Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan ve Kretase'den bu yana etkin olan bu dalma-batma zonlarının (Şekil 1a) yeniden yapılandırılmasında, anahtar alanlardan biri olan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK); metamorfik kayaçları, ofiyolitleri (Yalınz and Göncüoğlu, 1998) ve magmatik sokulumları ile Türkiye'de görülen en büyük metamorfik komplekstir (Şekil 1a).

Son dönemde yapılan çalışmalar, Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (Şekil 1b) üzerinde yer alan K-G uzanımlı granitoid kuşağının

Paleosen'de sıyrılma fayları ile yükseldiğini (Whitney ve Dilek, 1997; Fayon vd., 2001; Gautier vd., 2002; Boztuğ vd., 2009a ve b; Işık, 2009; Lefebvre vd., 2011 ve 2015) ve Geç Kretase'den sonra ise üç farklı bloğa parçalandığını ve her bir blokta meydana gelen rotasyonun birbirleri ile içsel olarak uyumlu olduğunu göstermiştir (Lefebvre vd., 2013). Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'ni tanımlayan granitoidi öteleyen iki farklı fay hattının da belirlendiği aynı çalışmada, bu fay hatlarından biri olan Eosen-Erken Miyosen yaşlı Savcılı Fay Zonu'nun, Kırşehir ve Niğde-Ağaçören bloklarını ötelediği ve ayrıca Niğde-Ağaçören Masifi'nin saatin tersi yönde 30° bir düşey rotasyona maruz kaldığı belirlenmiştir. Ayhan Havzası, öne sürülen Savcılı Fay Zonu'nun doğu kısmında yer alan Paleosen-Oligosen yaşlı volkano-sedimanter bir havzadır ki granitoidin yükselmesine dair sıyrılma faylarına ait kayıtlar ile Eosen sonrası meydana gelen sıkışmalı rejime ait tüm jeolojik kayıtları içermesi beklenmektedir (Şekil 2).





**Şekil 2.** Çalışma alanının Atabey (1989) tarafından hazırlanmış olan 1/100.000 ölçekli (K33 pafta numaralı) jeoloji haritası.

**Figure 2.** 1/100,000 scale (index number K33) geological map of study area prepared by Atabey (1989).

OAKK'nın jeolojik evriminin anlaşılabilmesi için bloğun üzerinde gelişen sedimanter havzalardan olan Ayhan Havzası'nın yapısal unsurlarının ve iyi tanımlanmış litolojik haritasının oluşturulması çok önemlidir. Bu amaçla, optik uzaktan algılama yöntemleri, geleneksel jeolojik haritalama yöntemleri ile fazlaca zaman ve mali kaynak gerektiren riskli ya da geniş alanların haritalanmasında oldukça kullanışlıdır. Özellikle, uydu görüntüleri üzerinde yapılan spektral iyileştirme ve çeşitli görüntü işleme teknikleri ile birlikte kullanılan farklı (gerçek

ya da yalancı) bant kombinasyonları, kayaçların spektral yansımalarındaki farklılıkları insan gözü tarafından görünür hale getirmede çok başarılıdır. Bu yönü ile geleneksel haritalama çalışmalarını tamamlayan değerli bir araçtır. Bu çalışma kapsamında, Ayhan Havzası'nın yapısal unsurları ile birlikte litoloji haritasının oluşturulmasında ve çizgiselliklerinin belirlenmesinde, yaygın bir uygulamaya sahip olan optik uzaktan algılama yöntemleri kullanılmış, sonrasında ise arazi doğrulaması yapılarak havzanın litostratigrafisi ve detaylı jeoloji haritası oluşturulmuştur. Bu

süreçler sonucunda elde edilen veriler ise Ayhan Havzası'nın ve dolayısıyla OAKK'nın evriminin kurgulanmasında kullanılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Uzaktan Algılama Verileri ve Karakteristikleri

Bu çalışma kapsamında, Landsat TM ve ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu görüntüleri kullanılmıştır (Çizelge 1). Bu görüntüler, Google Earth (Quickbird) ve SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) sayısal yükseklik modeli verileri ile birlikte kullanılarak faylar, çizgisellikler, litolojik birimler ve sınırlar belirlenmiştir. Bu tür jeolojik bilgilerin elde edilmesi kompleks bir işlem olmakla birlikte görüntülerin konumsal ve spektral çözünürlüklerine bağlı olarak çeşitli belirsizlikleri de bünyesinde barındırmaktadır. Bu belirsizlerin bir kısmının, çeşitli görüntü iyileştirme teknikleri kullanılarak üstesinden gelmek mümkündür (Lillesand ve Keifer, 1994). Böylece, unsurlar görsel olarak ayırt edilebilir forma dönüştürülür ve yorumlayıcı tarafından (bilgisayar ya da insan) daha fazla bilgi çıkarılması mümkün olmaktadır.

### Uydu Görüntülerinin İyileştirilmesi ve İşlenmesi

Landsat 7 ETM ve ASTER görüntülerinin spektral ve konumsal özellikleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Buna göre, Landsat 7 ETM+ görüntüsünün 0,45- 2,35 µm dalga boyunda (VNIR) ve 30 m konumsal çözünürlüğe sahip altı adet spektral bantı ve bir adet 15 m konumsal çözünürlüğe sahip pankromatik bantı (0,52-0,90 µm) bulunmaktadır. Termal kızılötesi (10,4-12,50 µm, TIR) bantı ise 60 m alansal çözünürlüğe sahiptir ve bu çalışmada kullanılmamıştır. ASTER görüntüleri ise görünür-yakın kızılötesi (0,52-0,85 µm, VNIR) aralığında 15m konumsal çözünürlüklü üç adet spektral bantı ve bir adet geriye bakış bantı (3B), bununla birlikte 30 m konumsal çözünürlüklü altı adet kısa dalga kızılötesi (1,6-2,43 µm, SWIR) spektral bantı ve 90 m konumsal çözünürlüklü beş adet termal kızıl ötesi (8,125-11,65 µm, TIR) bantı bulunmaktadır (Fujisada vd., 1998; Yamaguchi vd., 1998). Yine bu çalışmada, ASTER görüntülerinin TIR bantları kullanılmamıştır.

Bu çalışma kapsamında, Pankromatik Keskinleştirmesi (Pan-Sharpennig, PS), Yeniden Örnekleme (Resampling, RS), Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis, PCA), Dekorelasyon Germesi (Decorelation Streching, DS) gibi görüntü işleme tekniklerinin yanında Bant Kombinasyonları (Band Combination, BC) ve Kontrast Germesi (Contrast Streching, CS) gibi görüntü iyileştirme metotları bilgi üretmek için kullanılmıştır. Tüm bu çalışmalar esnasında izlenen aşamalar Şekil 3'te verilen akış şemasında gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine (ASTER ve Landsat TM) ait katalog bilgisidir (<https://earthexplorer.usgs.gov/> sayfasından indirilmiştir.)

**Table 1.** Catalog information about satellite images (ASTER and Landsat TM) used in this study (Downloaded from <https://earthexplorer.usgs.gov/>)

Görüntü Türü	Görüntü Kodu	Tarih ve Saat (Elde Edilme)	Kolon / Sıra No	Bulutluluk Oranı (%)	Güneş Azimuth	Güneş Yüksekliği
ASTER Level 1T	AST_L1T_00305172005083824_20150509125040_17532	2005/05/17 – 08:38:24	176/33	0	142.592495	66.961877
Landsat 7 ETM	LE07_L1TP_176033_20020610_20170213_01_T1	2002/06/10 – 08:10:01	176/33	0	122.35093594	64.79421898

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin (ASTER ve Landsat TM) spektral ve konumsal özellikleri (<https://terra.nasa.gov/data/aster-data> ve <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>)

**Table 2.** Spectral and spatial properties of satellite images (ASTER and Landsat TM) used in this study (<https://terra.nasa.gov/data/aster-data> ve <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>)

Landsat 7 ETM		ASTER		
Spektral Çözünürlük	Konumsal Çözünürlük	Görünür-NIR	Kısa Dalga-IR	Termal-IR
Bant 1: 0,45-0,52 (M)		Bant 1: 0,52-0,6 (Y)	Bant 4: 1,6-1,7	Bant 10: 8,125-8,475
Bant 2: 0,53-0,61 (Y)		Bant 2: 0,63-0,69 (K)	Bant 5: 2,145-2,185	Bant 11: 8,475-8,825
Bant 3: 0,63-0,69 (K)	30 m	Bant 3N: 0,78-0,86 (NIR)	Bant 6: 2,185-2,225	Bant 12: 8,925-9,275
Bant 4: 0,78-0,90 (NIR)		Bant 3B: 0,78-0,86 (NIR)	Bant 7: 2,235-2,285	Bant 13: 10,25-10,95
Bant 5: 1,55-1,75			Bant 8: 2,295-2,365	Bant 14: 10,95-11,65
Bant 6: 10,4-12,5 (TIR)	60 m		Bant 9: 2,36-2,43	
Bant 7: 2,09-2,35	30 m		Konumsal Çözünürlük	
Pan: 0,52-0,90	15 m	15 m	30 m	60 m
Görüntü Genişliği (km <sup>2</sup> )			Görüntü Genişliği (km <sup>2</sup> )	
185x170			60x60	

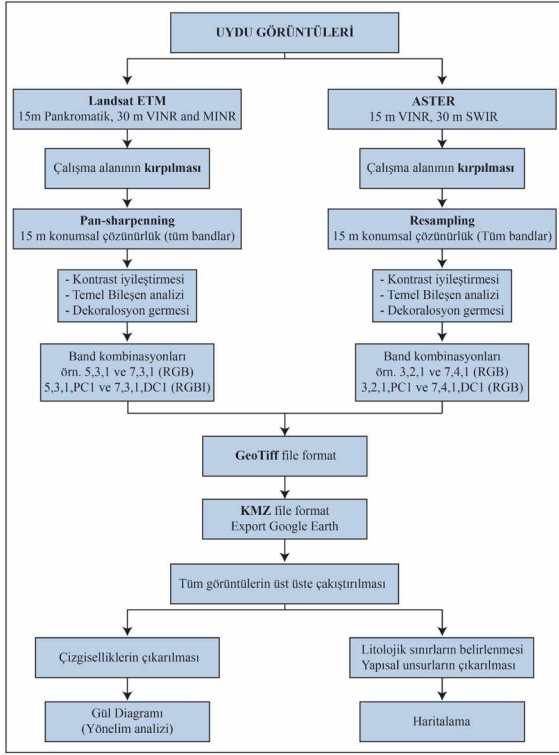
### Pankromatik keskinleştirilmesi (Pan-Sharpning, PS)

Pankromatik keskinleştirilmesi Landsat gibi pankromatik bandı bulunan görüntülerde uygulanan radyometrik bir transformasyon işlemidir. Bu yöntem, yüksek konumsal çözünürlüğe sahip olan pankromatik görüntü ile yüksek spektral çözünürlüğe sahip ancak düşük konumsal çözünürlüğü olan spektral bantların birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Burada oluşturulan yeni görüntü, konumsal çözünürlüğü pankromatik banttan, spektral bilgiyi ise diğer spektral bantlardan almaktadır.

Bu yöntemin uygulanabilmesi için görüntülerin coğrafik referanslı ve aynı görüntü boyutuna sahip olması gerekmektedir. İdeal olarak, kullanılan pankromatik ve multi-spektral görüntülerin aynı sensörden elde edilmiş olması gerekmektedir. Bu çalışmada, bu yöntem Landsat 7 ETM 30 m konumsal çözünürlüğe sahip olan VIR bantlarının (Şekil 4b), pankromatik bandı (Şekil 4a) ile keskinleştirilmesinde kullanılmıştır (Şekil 4c).

### Yeniden örnekleme (Resampling, RS)

Görüntünün yeniden örnekleme işlemi özünde bir interpolasyon yöntemi olup, görüntünün geometrik olarak dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu dönüşüm görüntünün koordinatının değiştirilmesi, geometrik olarak düzeltilmesi, yeniden ölçeklendirme gibi ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Dönüşüm sonunda elde edilen yeni görüntü kullanılan dönüşüm yöntemine (Nearest Neighbour, Bilinear or Cubic Convolution) bağlı olarak orijinal görüntünün sayısal değeri (DN) korunur ve yahut yeni DN değeri oluşturulur. Bu çalışmada ASTER görünür bantları (VIR, 15 m) ile kısa dalga boyuna (SWIR, 30 m) sahip olan bantlarının konumsal çözünürlüğünün farklı olması nedeni ile bantlar üzerinde aritmetik işlemler gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle SWIR bantlarının çözünürlüğünün 15 m'ye yükseltgenmesi amacı ile kullanılmıştır.

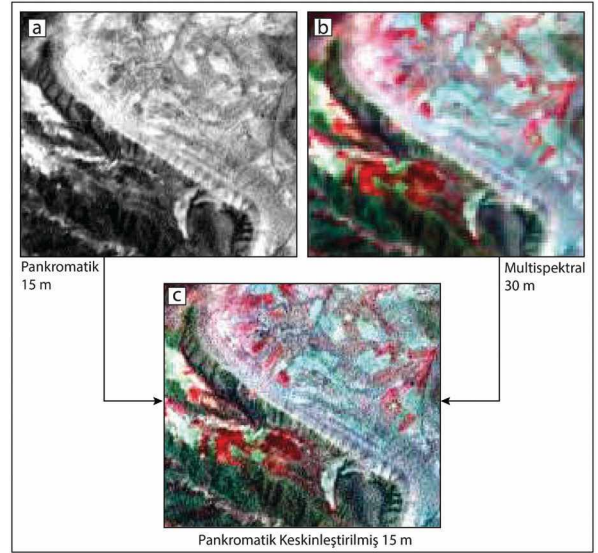


Şekil 3. Uzaktan algılama çalışmaları sırasında uygulanan yöntemleri ve izlenen aşamaları gösteren akış şeması.

Figure 3. Flow chart showing methods applied and steps followed during remote sensing studies.

### Temel bileşen analizi (Principal Component Analysis, PCA)

Temel Bileşen Analizi, veri içerisinde meydana gelen gereksiz tekrarların azaltılması amacı ile uygulanan bir yöntemdir. Uydu görüntüleri genellikle birden fazla banda sahiptir ve bu bantlar da birbirine benzer bilgileri içermektedirler. İstatistiksel dönüşümler yapılarak,  $n$  sayıda olan bant sayısı işlem sonucunda birkaç taneye indirgenir. Böylece çok fazla bilgi kaybı olmadan, verilerin işlenmesi esnasında meydana gelen zaman kaybı önlenmiş olur (Lillesand ve Kiefer, 1994). Temel bileşen analizi uygulanmış görüntülerde yeryüzünde görülen nesnelere spektral farklılıkları daha ayırt edilebilir hale getirilmiş olur (Sabins, 1987).



Şekil 4. a) Landsat TM uydu görüntüsüne ait 15 m konumsal çözünürlüğe sahip pankromatik bant ve b) 30 m konumsal çözünürlüğe sahip multi-spektral (432/RGB) bantlara uygulanan c) pankromatik keskinleştirilmesi (Pan-sharpening) sonucunda elde edilen görüntü (432/RGB).

Figure 4. a) Panchromatic band with 15m spatial resolution and b) multi-spectral band with 30m spatial resolution of Landsat TM satellite image, c) resultant Pan-sharpened image (432/RGB).

Bu çalışmada, Temel Bileşen Analizi Landsat (Şekil 5a) ve ASTER görüntülerine (Şekil 5b) uygulanarak yeni bantların oluşturulmasında ve yeni renk kombinasyonlarının elde edilmesinde kullanılmıştır. Temel bileşen analizi uygulanmış Landsat ve ASTER görüntülerinin temel bileşen eksenlerinin istatistikleri sırasıyla Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir. Buna göre Landsat ve ASTER bantlarından oluşturulan temel bileşen eksenlerinin ilk 3 tanesi toplam verinin %98'ini (Çizelge 3 ve 4) içermektedir. Geriye kalan kısım ise gürültü (noise) ya da arazide bulunan nadir kayalar (mineraller) olarak değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.** Landsat TM görüntüsüne uygulanan Temel Bileşen Analizi'nin istatistiksel sonuçları**Table 3.** Statistical Results of Principal Component Analysis applied to Landsat TM images.

Ortalama DN Değeri			Özdeğer (Eigenvalues) Eksenleri ve Yüzdeler Değerleri			
Bant	Ort. DN	Sapma	Eksen	Özdeğer	Yüzde (%)	Sapma
B1	109,9	18,2	PC1	3234,0	88,0	56,9
B2	107,8	21,2	PC2	247,1	6,7	15,7
B3	130,6	30,0	PC3	132,3	3,6	11,5
B4	95,5	12,9	PC4	44,1	1,2	6,6
B5	143,3	29,2	PC5	12,5	0,34	3,5
B7	112,5	28,3	PC6	7,8	0,21	2,8
Pan	89,8	13,2	PC7	2,6	0,071	1,6

Özdeğer (Eigenvalues) Kovaryans Matrisi							
Bant	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Pan
PC1	0,2976	0,3612	0,5161	0,0828	0,494	0,4748	0,196
PC2	0,221	0,241	0,05866	0,6723	-0,1798	-0,4857	0,4116
PC3	-0,3711	-0,2614	-0,4466	0,4637	0,5727	0,1868	0,1292
PC4	-0,5111	-0,3339	0,5242	0,2319	-0,4071	0,3055	0,1991
PC5	0,3527	0,06487	-0,4625	0,1542	-0,4638	0,6335	0,1317
PC6	0,0635	0,07986	0,1335	0,4956	-0,05176	0,07158	-0,8476
PC7	-0,579	0,7881	-0,156	-0,05444	0,1105	0,06292	-0,01346

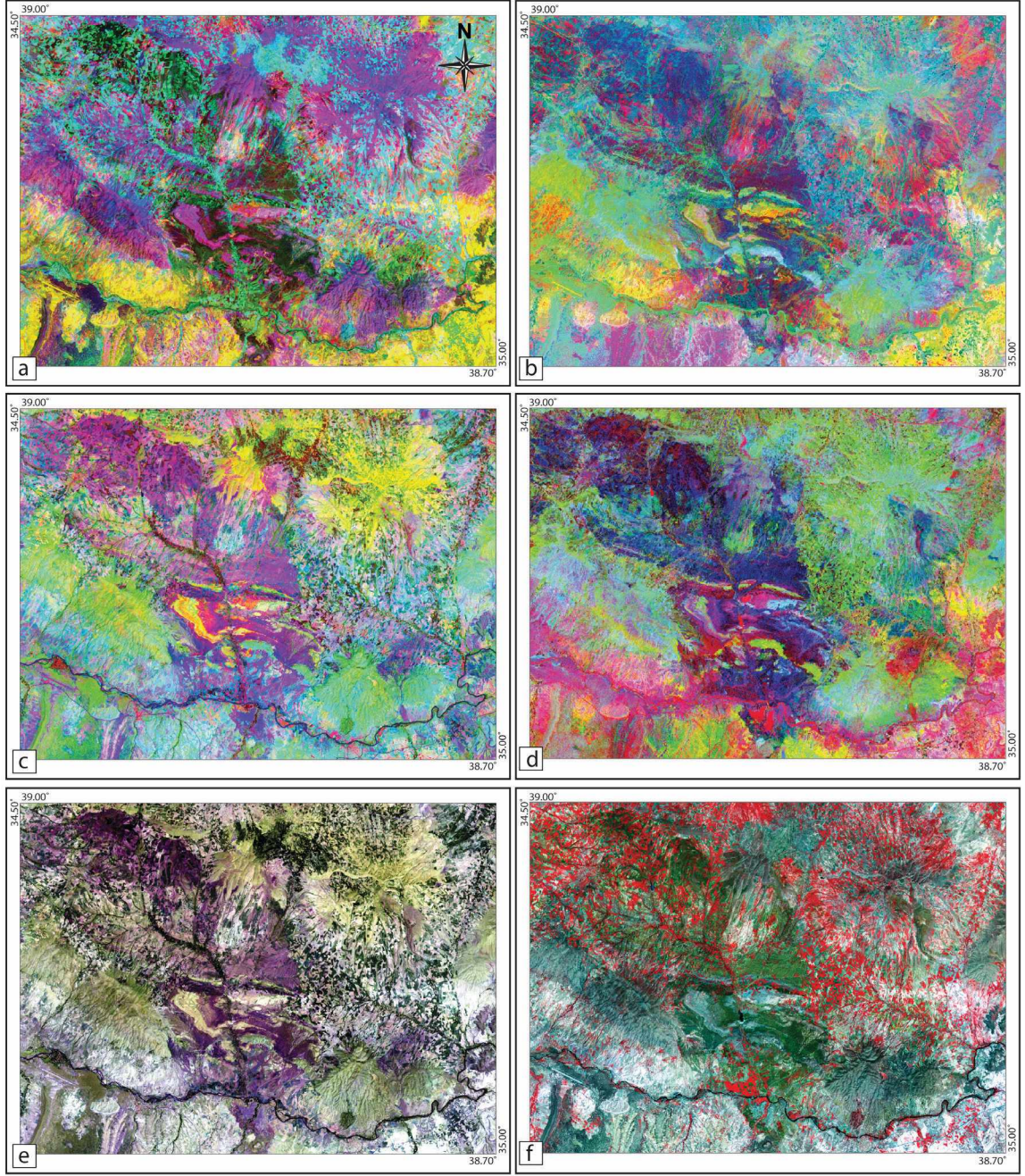
### Dekorelasyon gemesi (Decorelation stretching)

Dekorelasyon gemesi, Temel Bileşen Analizi'nin bir ürünüdür. Bu yöntemin temel prensibi, transformasyon matrisi kullanarak iki ya da daha fazla sayıda olan veri setleri arasındaki korelasyonu azaltmak üzerine kurulmuştur. Dekorelasyon gemesi dört adımda gerçekleştirilmektedir. İlk adımda, görüntünün kovaryans matrisi oluşturulur ve aigen vektörleri hesaplanır. İkinci adımda, görüntü radyans değerlerinden temel bileşen analizinde elde edilen temel eksenlere

dönüştürülür. Bu eksenler birbirine diktir, dolayısı ile birbirleri ile korelasyonu yoktur. Üçüncü adımda ise bu eksenler üzerinde kontrast gemesi yapılır. Dördüncü adımda, ters dönüşüm yapılarak, veriler tekrar radyans değerlerine geri döndürülür.

Bu çalışmada, bu yöntem yine temel bileşen analizinde olduğu gibi Landsat ve ASTER görüntülerine uygulanarak yeni bantların oluşturulmasında ve yeni renk kombinasyonlarının oluşturulmasında kullanılmıştır (Şekil 5c ve 5d).





**Şekil 5. a)** Temel Bileşen Analizi uygulanmış Landsat TM (PC123/RGB) ve **b)** ASTER (PC146) görüntüleri, **c)** Dekorelasyon germesi uygulanmış Landsat TM (DC653/RGB) ve **d)** ASTER (DC146) görüntüleri. Farklı bantları farklı renk kanallarına atanmasına bağlı olarak oluşturulan **e)** Landsat TM (B753/RGB) ve **f)** ASTER (B321/RGB) bileşke renk görüntüleri.

**Figure 5. a)** Landsat TM (PC123/RGB) and **b)** ASTER (PC146) imagery that applied Principal Component Analysis, **c)** Landsat TM (DC653/RGB) and **d)** ASTER (DC146) imagery that applied Decorrelation Stretch method. **e)** Landsat TM (B753/RGB) and **f)** ASTER (B321/RGB) composite color images created by assigning different bands to different color channels.

**Çizelge 4.** ASTER görüntüsüne uygulanan Temel Bileşen Analizi'nin istatistiksel sonuçları**Table 4.** Statistical Results of Principal Component Analysis applied to ASTER images.

Ortalama DN Değeri			Özdeğer (Eigenvalues) Eksenleri ve Yüzelik Değerleri			
Bant	Ort. DN	Sapma	Eksen	Özdeğer	Yüzde (%)	Sapma
B1	124,3	30,4	PC1	3103	85,0	55,7
B2	115,8	32,6	PC2	320,7	8,8	17,9
B3N	108,9	17,3	PC3	154	4,2	12,4
B4	88,1	15,3	PC4	38,2	1,1	6,2
B5	80,2	14,6	PC5	10,92	0,3	3,3
B6	82,6	15,6	PC6	3,569	0,098	1,9
B7	75,5	14,0	PC7	2,855	0,079	1,7
B8	78,9	15,9	PC8	1,767	0,049	1,3
B9	74,8	14,2	PC9	1,52	0,042	1,2

Özdeğer (Eigenvalues) Kovaryans Matrisi									
Bant	B1	B2	B3N	B4	B5	B6	B7	B8	B9
PC1	0,5289	0,5719	0,1033	0,253	0,2503	0,2641	0,2386	0,2699	0,2373
PC2	-0,2553	-0,02979	-0,8656	0,005405	0,1528	0,1867	0,172	0,2163	0,2237
PC3	-0,3375	-0,4951	0,3924	0,4098	0,2668	0,2901	0,2505	0,2407	0,2075
PC4	0,6316	-0,5181	-0,2743	0,3778	0,06788	0,0457	-0,0839	-0,2464	-0,2004
PC5	-0,367	0,3899	-0,08962	0,6545	0,02274	-0,02317	-0,00279	-0,3092	-0,4245
PC6	0,03383	-0,02405	-0,05067	0,4065	-0,2855	-0,6696	-0,1666	0,432	0,2938
PC7	-0,05892	0,06649	0,01114	0,1531	-0,1808	0,2442	-0,3984	-0,496	0,6866
PC8	-0,04478	0,02853	0,01182	-0,08377	0,8502	-0,3901	-0,2904	-0,1406	0,1045
PC9	-0,03093	0,02501	-0,00283	0,03445	0,02615	0,3852	-0,7569	0,4623	-0,248

**Bant kombinasyonları (Band Combination, BC)**

Multispektral uydu görüntüleri farklı dalga boylarına sahip pek çok veri bantlarına sahiptirler. Her bir bant, nesnelere dalga boyuna bağlı olarak farklı spektral bilgiyi içermektedir (Jensen, 1996). Görüntüleme esnasında her bir bant, tek bir kanala (kırmızı, yeşil ya da mavi kanaldan birine) aktarılır ve bu durumda görüntü gri tonlarında görülür. Fakat, aynı anda üç farklı bandın farklı renk kanallarına atanmasına bağlı olarak bileşke renk görüntüleri elde edilir. Orijinal kırmızı (R), yeşil(G), mavi(B) görüntü bantları, aynı kanallara (RGB) atandığı takdirde gerçek renk

kombinasyonu elde edilirken, bunun dışındaki tüm kombinasyonlar yalancı renk kombinasyonları olarak adlandırılır ve gerçek hayatta görülen renklerden tamamen farklıdır (Şekil 5e ve 5f). Yalancı renk kombinasyonları uzaktan algılama çalışmalarında farklı nesnelere görüntü üzerinde belirgin hale getirilmesinde çok kullanışlıdır. Temel prensip olarak, maksimum kontrast ve maksimum bilgiye ulaşmak için minimum korelasyona sahip olan bant kombinasyonlarının seçilmesi gerekmektedir. Şekil 5e ve 5f'de Landsat görüntüsü için 753 (RGB), ASTER görüntüsü için ise 321 (RGB) bant kombinasyonu örnek olarak verilmiştir.

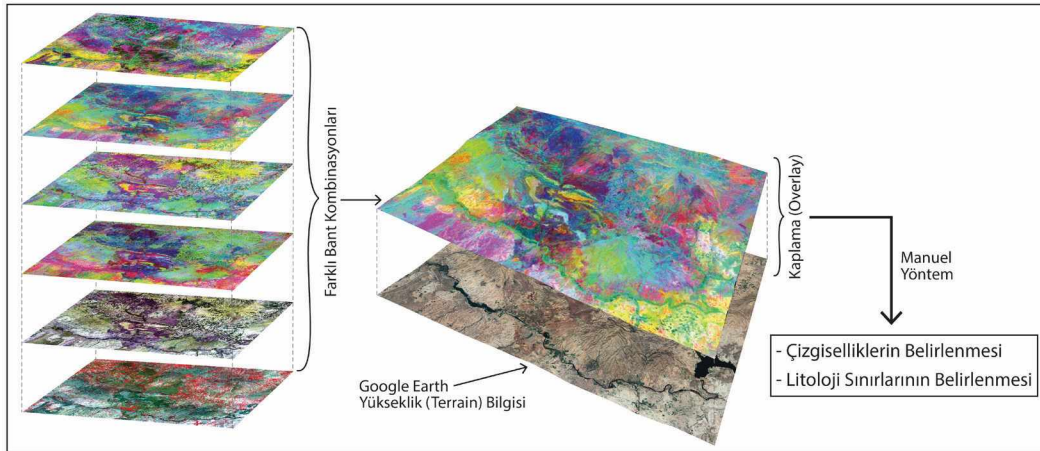
### Kontrast gemesi (Contrast Streching, CS)

Farklı nesnelere belli bir dalga boyunda farklı yansımaya (radiance) değerlerine sahiptirler. Bu durum ise yan yana bulunan farklı iki komşu nesnenin ayırt edilebilmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, aynı tür objeler de aydınlanma miktarlarına, açılarına ve oranlarına vb. parametrelere bağlı olarak farklı yansımaya değerlerine sahip olabilirler, farklı objeler de aynı yansımaya değerlerine sahip olabilirler. Nesnelere yansımaya enerjilerinin miktarında meydana gelen farklılıklar görüntü üzerinde kontrast değişimleri olarak kendini göstermektedir. Pek çok konvansiyonel uzaktan algılama sistemi 8 bitlik (0-255) radyometrik kayıt sistemi kullanmaktadır. Uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen görüntüler, teorikte atmosferik ve diğer pek çok farklı faktöre bağlı olarak beklenen yansımaya değerinden daha düşük bir değer ile kayıt edilirler. Bu da nesnelere arasındaki kontrast farkını düşürür. İşte kontrast gemesi, bu kontrast farkını artırmak amacıyla elde edilen görüntünün DN değerleri 0-255 renk aralığına yayılarak kontrast değerlerinin artırılması esasına göre uygulanmaktadır. En basit ve en sık kullanılan türü ise lineer germedir. Bunun dışında histogram eşitleme, parçalı lineer germe, logaritmik germe ve üstel germe gibi pek

çok türü bulunmaktadır. Bu yöntem uygulandığı takdirde görüntünün orijinal DN değerleri değişmekte olup, uygulanan yöntemle göre de farklılık göstermektedir.

### Uydu Görüntülerinin Çakıştırılması

Farklı spektral ve konumsal çözünürlüklere sahip olan bu görüntülerden görüntü işleme teknikleri ile elde edilen bantlar da dahil olmak üzere farklı bant kombinasyonları oluşturulmuş. Bu bant kombinasyonları oluşturulurken bantlar arasında minimum korelasyona sahip olanlar seçilmiştir. Örneğin, jeolojik uygulamalarda en iyi sonucu veren bant kombinasyonu Landsat ETM için 5,4,1 ve 7,4,2 (RGB) olarak belirlenirken, ASTER görüntüsü için 7,4,1 ve 9,5,2 (RGB) olarak bulunmuştur. Benzer şekilde PCA ve DS sonucunda elde edilen yeni bant kombinasyonları da kullanılarak tüm imajlar Google Earth™ ortamında üst üste çakıştırılmıştır (Şekil 6). Böylece yükseklik bilgisi Google Earth™'ten elde edilmiştir. Son olarak ise çalışma alanının çizgisellikleri ve litoloji sınırları manuel olarak belirlenmiştir. Elde edilen haritalar bulgular kısmında detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Farklı bant kombinasyonları ile oluşturulan tüm görüntülerin üst üste çakıştırılma adımlarını göstermektedir. Yükseklik bilgisinin Google Earth™'ten alındığına dikkat ediniz.

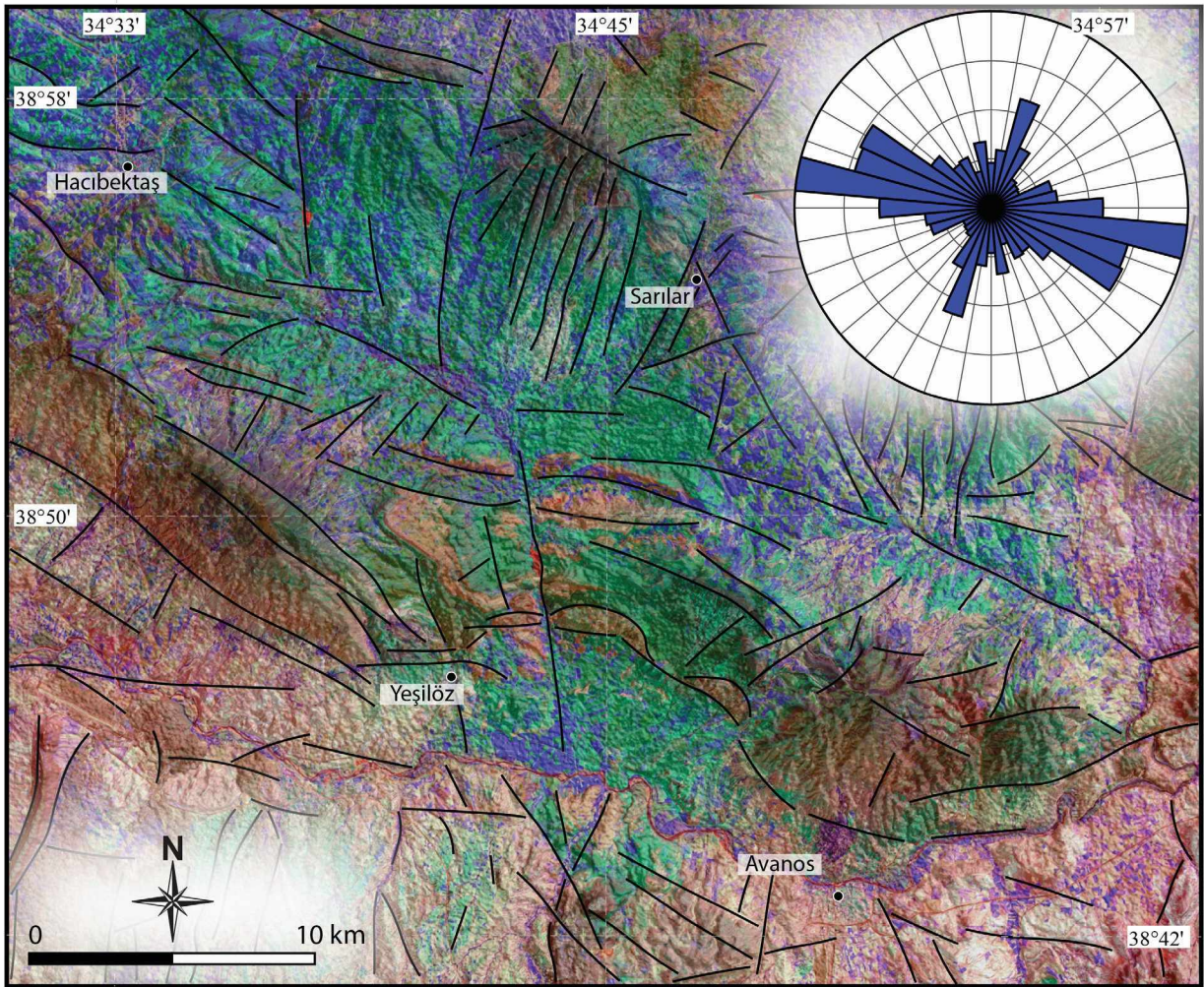
Figure 6. Steps followed after production of images with different band combinations. All images are overlapped and elevation information was obtained from Google Earth.

## BULGULAR

### Çizgiselliklerin Belirlenmesi

Yapılabilecek algılama hatalarından ve birimlerin yansıma benzerliklerinden veya farklılıklarından (gölge etkisi ya da bakı farklılıkları) kaynaklı yanıltıcı etkinin en aza indirilebilmesi maksadı ile çizgisellik haritası manuel olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Bu çalışma kapsamında, çizgiselliklerin

belirlenmesinde ASTER, Landsat (Çizelge 1 ve 2) ve yükseklik bilgisi içeren Google Earth (Quickbird) görüntüleri yanı sıra hali hazırda mevcut olan jeoloji haritaları (Şekil 2) kullanılmıştır. Çizgisel unsurlar farklı bant kombinasyonları kullanılarak görsel olarak ayırt edilebilir forma dönüştürülerek, tüm görüntülerden elde edilen çizgisellikler karşılaştırılarak, hepsinde ortak olan çizgisellikler doğru kabul edilmiştir.



Şekil 7. Çalışma alanının Landsat TM, ASTER ve yükseklik bilgisi içeren Google Earth (Quickbird) görüntüleri yan sıra hali hazırda mevcut olan jeoloji haritaları karşılaştırılarak oluşturulan çizgisellik haritası.

**Figure 7.** Lineament map of study area produced by overlapping Landsat TM, ASTER and Google Earth (Quickbird) imagery as well as currently available geology maps.

Elde edilen çizgisellik haritası ile birlikte ağırlıklandırılmış segment yöntemi ile oluşturulmuş gül diyagramı Şekil 7'de verilmiştir. Elde edilen gül diyagramında baskın çizgisellik yönelimi BKB-DGD olarak bulunmuştur. Bununla birlikte KKD-GGB doğrultusunda diğer bir kümelenmenin varlığı da dikkat çekmektedir.

### **Litoloji Sınırlarının Belirlenmesi ve Arazi Doğrulaması**

Benzer şekilde litoloji sınırları da elde edilen farklı bant kombinasyonlarının Google Earth ortamında üst üste çalıştırılması ile manuel olarak çizilmiştir (Şekil 6). Bu süreçte uzaktan algılama çalışmaları (Şekil 8a) ve arazi doğrulama çalışmaları etkileşimli olarak yürütülmüştür. Bu nedenle aynı başlık altında verilmiştir.

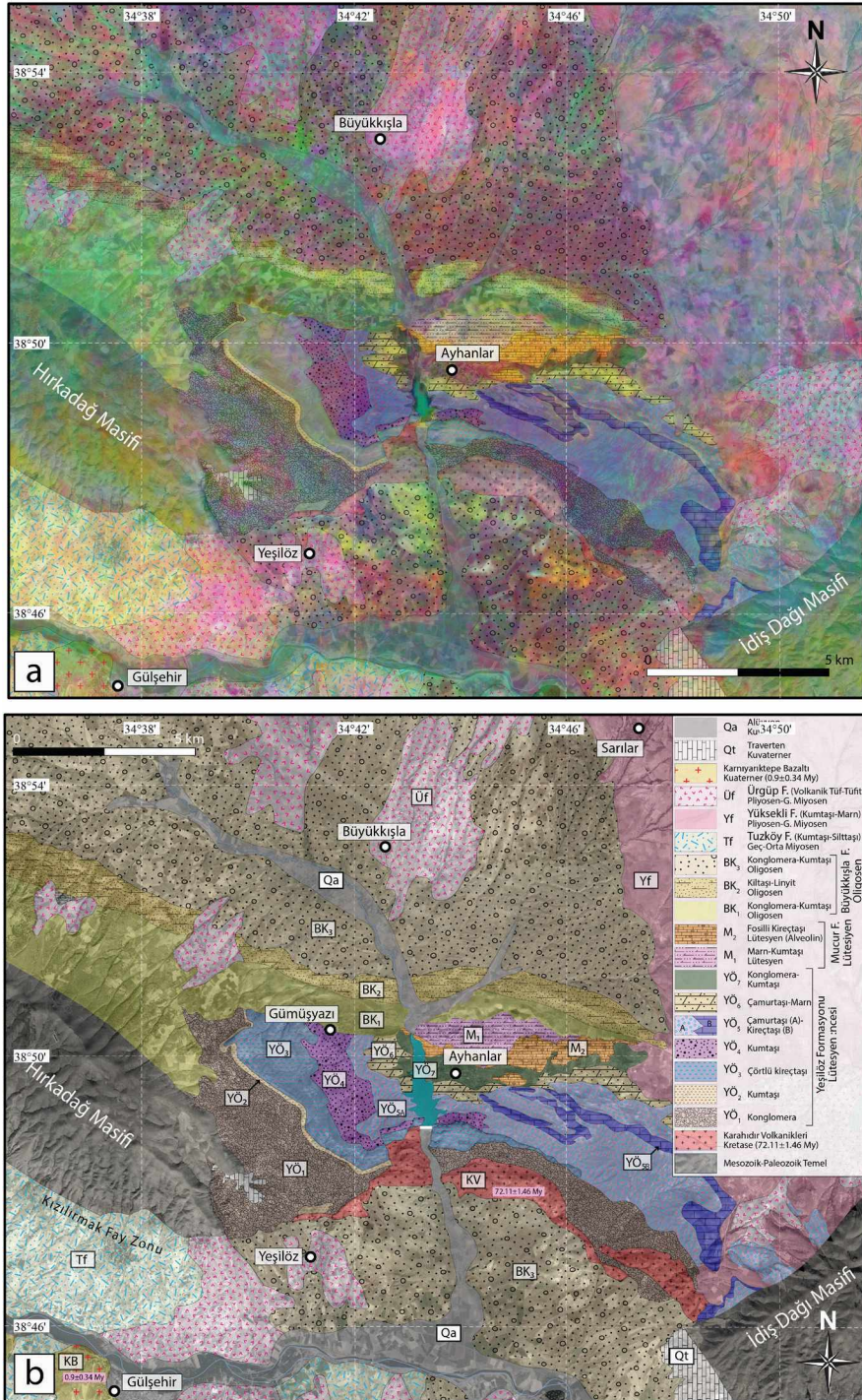
Ayhan Havzası'nın GB ve GD sınırında metamorfik (Hırkadağ) ve plütonik (İdiş) kayaların yerleştiği bilinmektedir (Köksal vd., 2001; Whitney ve Dilek, 2001; Lefebvre vd., 2011; Lefebvre vd., 2013; Advocaat vd., 2014). Bununla birlikte, havza merkezinde ise kırıntılı sedimanter kayalar (Yeşilöz Formasyonu) ile Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar yüzlek vermektedir (Atabey, 1989). Bu kırıntılı seri ise nümmilitik kireçtaşı (Mucur Formasyonu) tarafından örtülmektedir. Gradstein vd. (2004) tarafından bu kireçtaşının yaşı nümmilit ve alveolin içeriğine bağlı olarak Lütesiye (48.6-40.4 My) olarak belirlenmiştir. Havzanın kuzeyinde ise bu birimler, muhtemel yaşı Oligosen ya da daha genç olan kırmızı renkli fluvial konglomeratik birim (Büyükkışla Formasyonu) tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir (Atabey, 1989). Yüksekli Formasyonu (Yf) çalışma alanının KD'sunda gözlenmektedir ve çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşmaktadır. Kendisinden önce oluşmuş olan Büyükkışla Formasyonunu doğudan sınırlamaktadır. Çalışma alanı, güneyde normal fay ile sınırlanırken, düşen blok üzerinde Ürgüp Formasyonu olarak tanımlanan ve Kapadokya volkanitlerine karşılık gelen Tortoniye yaşlı

tüflü-tüftüli lahar karakterli kaotik akıntılar görülmektedir (Atabey, 1989; Viereck-Goette vd., 2010). Benzer şekilde Karnıyarıktepe Bazaltı da aynı volkanik sistemin uzantısı olarak plato şeklinde gelişmiştir. Tüm bu sistem Kızılırmak'a ve kollarına ait alüvyon birimler ve fay zonları boyunca gelişen güncel traverten birimleri tarafından örtülmüştür. Birimlere ait ayrıntılı arazi gözlemleri ve tanımlamalar aşağıda verilmiştir.

### **Yeşilöz Formasyonu**

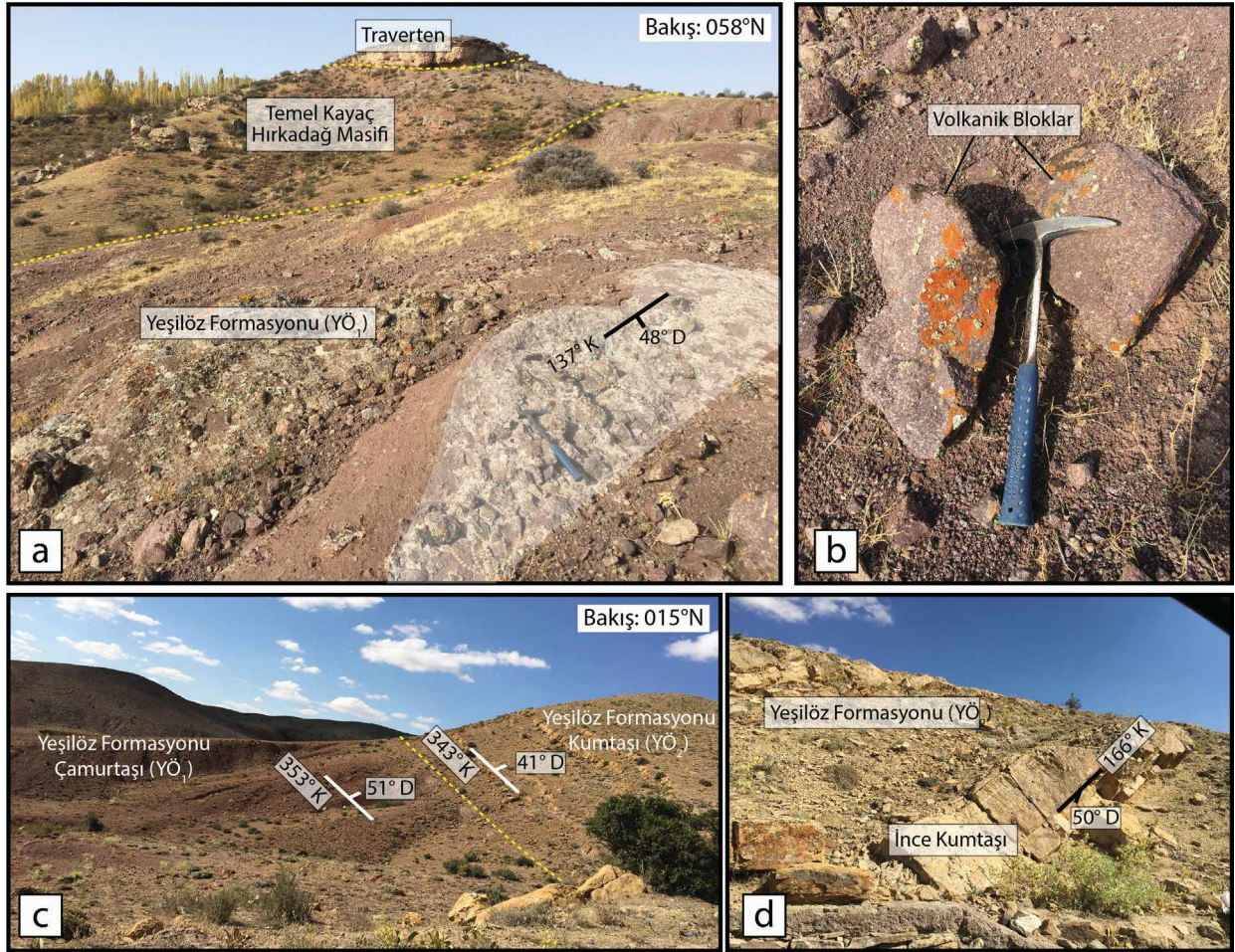
Yeşilöz Formasyonu, Atabey vd. (1989) tarafından Ayhan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Ancak formasyon asıl tip kesitini Yeşilöz ile Ayhanlar mahallesi arasında kalan bölgede vermektedir. Yeşilöz Formasyonu kıyı, akarsu ve göl çökellerinden oluşmaktadır. Bu nedenle, formasyon içinde 7 farklı üye tanımlaması yapılmış ve litolojik olarak haritalanmıştır (Şekil 8b). Bu çalışmada Yeşilöz formasyonuna ait üyeler için adlandırmadan ziyade kodlamalar (YÖ<sub>1-7</sub>) kullanılarak formasyon üyeleri tanımlanmıştır.

Ayhan Havzası'nın stratigrafisi Kretase yaşlı Karahadır Volkanikleri üzerine gelen ve Yeşilöz Formasyonunun tabanını oluşturan kırmızı-pembe renkli konglomeratik birim ile başlamaktadır ki bu birim Atabey (1989) tarafından Saytepe Üyesi olarak adlandırılmıştır. YÖ<sub>1</sub> üyesi tip kesitini Yeşilöz mahallesinin hemen kuzeyinde vermektedir (Şekil 8b). Üye tabanda kırmızı renkli konglomeratik breş ile başlamaktadır (Şekil 9a). Taneler köşeli, blok boyutunda volkanik kökenli kayalardan oluşmaktadır (Şekil 9b). İstif genelde matriks-destekli iken, üst seviyelere doğru izlendiğinde yer yer tane-destekli seviyelere de rastlanmaktadır. Konglomera kalın tabakalıdır ve kaotik görünümüdür (derecelenme ve boylanma tabaka içerisinde pek görülmez). Ancak istif genel olarak bakıldığında istifin üst kısımlarına doğru tane boyu küçülmeye ve kırmızı-mor renkli laminalı çamurtaşlarına dönüşmeye başlar (Şekil 9c).



**Şekil 8. a)** Farklı görüntü iyileştirme ve işleme süreçlerinden geçmiş uydu görüntüsü üzerinde farklı yansımaya değerlerine sahip olan litolojik birimlerin belirlenmesi ve **b)** sınırlarının çizilmesi ile oluşturulan final litoloji haritası.

**Figure 8. a)** Determination of lithological units with different reflectance values on satellite images to which different image enhancement and processing techniques have been applied. **b)** Final lithological map created by drawing lithological boundaries through satellite images.



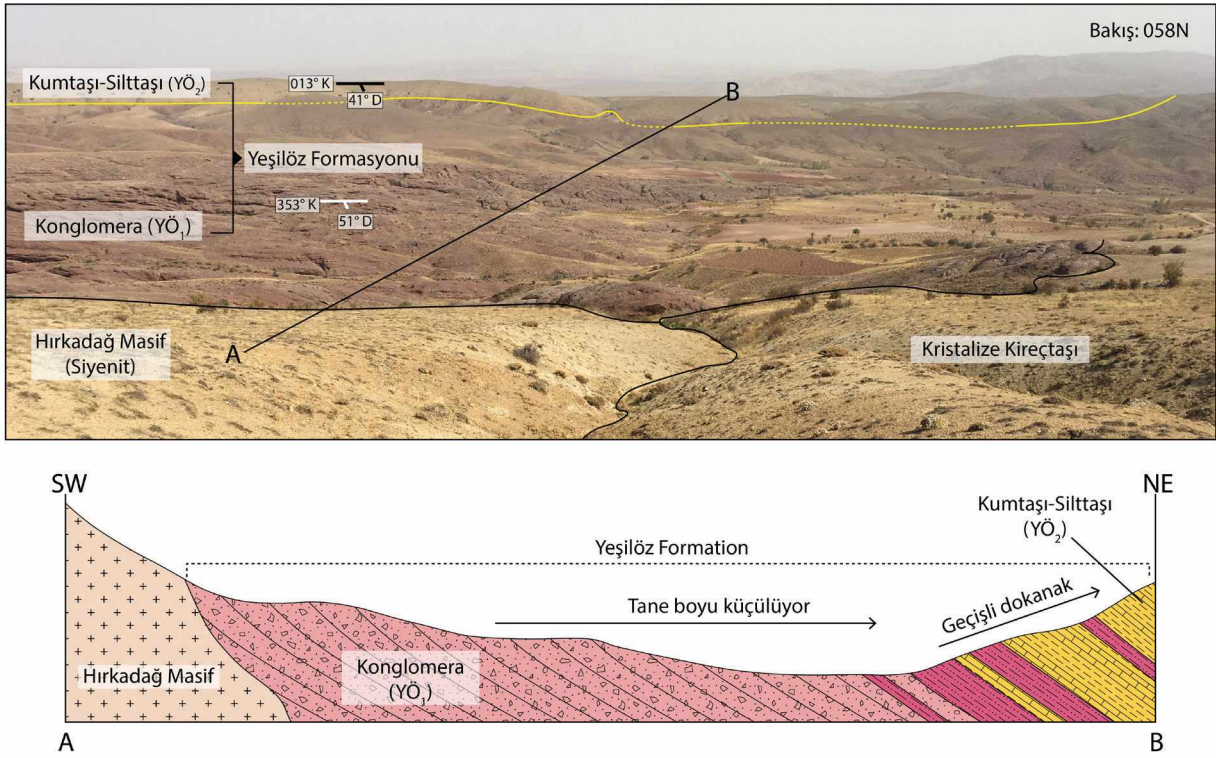
**Şekil 9.** Yeşilöz Formasyonu'nun tabanında bulunan ve YÖ<sub>1</sub> üyesi olarak tanımlanan **a)** kırmızı renkli konglomeratik breş, **b)** Köşeli ve blok boyutunda volkanik kökenli tanelerden oluşan üyenin yakın plan görüntüsü, **c)** YÖ<sub>1</sub> üyesine ait istifin üst seviyelerinde tane boyu küçülmeye ve kırmızı-mor renkli laminalı çamurtaşlarına dönüşür **d)** YÖ<sub>1</sub> üyesinin dereceli (uyumlu) olarak kumtaşı-silttaşı ardalanmalı YÖ<sub>2</sub> üyesi tarafından üzerlenir. (Tabaka ölçümleri doğrultu/eğim formatında verilmiştir.)

**Figure 9.** **a)** Red conglomerate breccia YÖ<sub>1</sub> member, located at base of Yeşilöz Formation, **b)** close-up view of YÖ<sub>1</sub> member consisting of angular and block-size volcanic grains, **c)** at upper level of sequence, grain size of YÖ<sub>1</sub> becomes smaller and turns into reddish-purple laminated mudstones, **d)** YÖ<sub>1</sub> member is gradually (conformably) overlaid by the member YÖ<sub>2</sub> which mainly consists of sandstone-siltstone alternation. (Bedding orientation is given in strike/dip format.)

Havzanın batısında, Yeşilöz Formasyonu'na ait YÖ<sub>1</sub> üyesi, temel kayaç (Hırkadağ Masifi) üzerine aşmalı olarak gelmektedir (Şekil 10). Üst sınır ise dereceli olarak YÖ<sub>2</sub> üyesine (Şekil 9d) dönüşmektedir.

Advokaat vd. (2014) tarafından, Göynük Köyü'nün hemen kuzeyinde kırmızı

konglomeraların mor-sarı renkli lavlar ve tüflü birimler ile ardalanmalı olduğu bildirilmiştir ve bu volkanik birimler bölgesel olarak etkin olan Geç Kretase yaşlı Karahıdır Volkanikleri (Aydın, 1985; Gökten ve Floyd, 1987; Göncüoğlu vd., 1993) ile ilişkilendirilmiştir.



**Şekil 10.** YÖ<sub>2</sub> üyesine ait arazi görüntüsü ve A-B hattı boyunca alınan en-kesit. Üye hem arazi gözlemlerinde hem de uydu görüntülerinde sarı renkli bozunma yüzeyine sahip olması nedeni ile kolaylıkla ayırt edilir. (Tabaka ölçümleri doğrultu/eğim formatında verilmiştir.)

**Figure 10.** Field view of the YÖ<sub>2</sub> member and cross-section along A-B line. The member is easily distinguished during field observation and in satellite images due to its yellow weathering. (Bedding orientation is given in strike/dip format.)

YÖ<sub>1</sub> üyesinin alt seviyelerinde görülen köşeli ve blok boyutunda tanelerden oluşan matris destekli (döküntü ya da kütle hareketine bağlı oluşan) konglomeratik birim kaynak kayaya olan yakınlığı tanımlamaktadır. Yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlar havza kenarında, gravitasyonel kütle hareketine bağlı olarak alüvyal fan ortamını işaret ederken, havza içlerine doğru ise ortamın fluvial karakterde olduğunu göstermektedir.

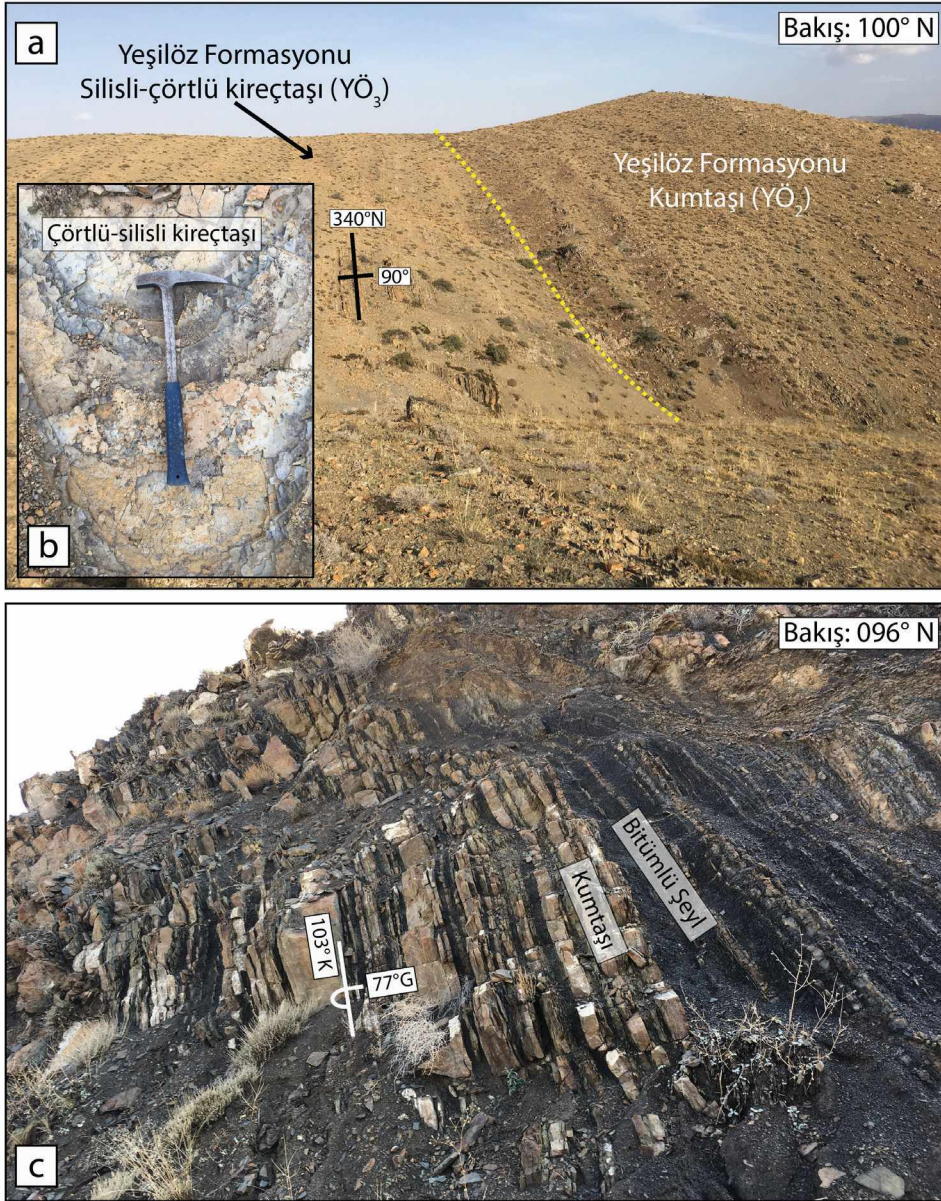
Yeşilöz Formasyonu'nun taban konglomerasının (YÖ<sub>1</sub>) üzerine dereceli olarak YÖ<sub>2</sub> üyesi gelmektedir. Arazi gözlemlerinde ise sarı renkli bozunma yüzeyine sahip olması (Şekil 9d) nedeni ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Şekil 10). Bu birim Atabey (1989) tarafından

Esefin Üyesi olarak adlandırılmıştır. YÖ<sub>2</sub> üyesi tip kesitini Yeşilöz mahallesinin hemen kuzeyinde vermektedir. Yaklaşık 30 m toplam kalınlığa sahip (Atabey, 1989) olan birim, karbonatça zengin ince taneli kumtaşları ile tanımlanmaktadır. Alt-üst sınırları düzgün, orta-kalın tabakalı (Şekil 9d) özelliğe sahip olan birim ara ara silttaşı ve kiltası seviyeleri ile ardalanmalı olarak gelişmektedir. Yeşilöz Formasyonuna ait YÖ<sub>2</sub> üyesi tabanda YÖ<sub>1</sub> üyesi, istifin üst kesimlerinde ise YÖ<sub>3</sub> üyesi ile geçişlidir (Şekil 11a). YÖ<sub>2</sub> üyesinde yaşlandırma yapılmasına imkân sağlayacak fosil topluluklarına rastlanmamıştır. YÖ<sub>2</sub> üyesinin alt seviyelerde görülen bazal kumtaşı, istifte üst seviyelere doğru çıkıldıkça karbonatlı-kumtaşına dönüşür. Bu durumda, tabanda fluvial karakterde



olan ortam, üst seviyelerde göl ortamına geçmiştir. Gözlemlerden elde edilen sonuçlar  $YÖ_2$  üyesinin kıyı ovası ve sığ göl kenar düzlüğü fasiyes

ortamında çökelmiş olduğuna işaret eder (Atabey, 1989).



**Şekil 11. a)**  $YÖ_3$  üyesine ait arazi görüntüsü. Fotoğraf aynı zamanda  $YÖ_2$  üyesi ile (uyumlu) dokanak ilişkisini de göstermektedir. **b)** Birim dokanağın yakınında ince-orta tabakalı çörtlü-silisli kireçtaşları ile karakterize edilirken, **c)** üst seviyelerde kireçtaşı seviyelerinin frekansı azalmaya başlar ve kumtaşı, silttaşı ve bitümlü şeyl seviyeleri ile temsil edilir. (Tabaka ölçümleri doğrultu/eğim formatında verilmiştir.)

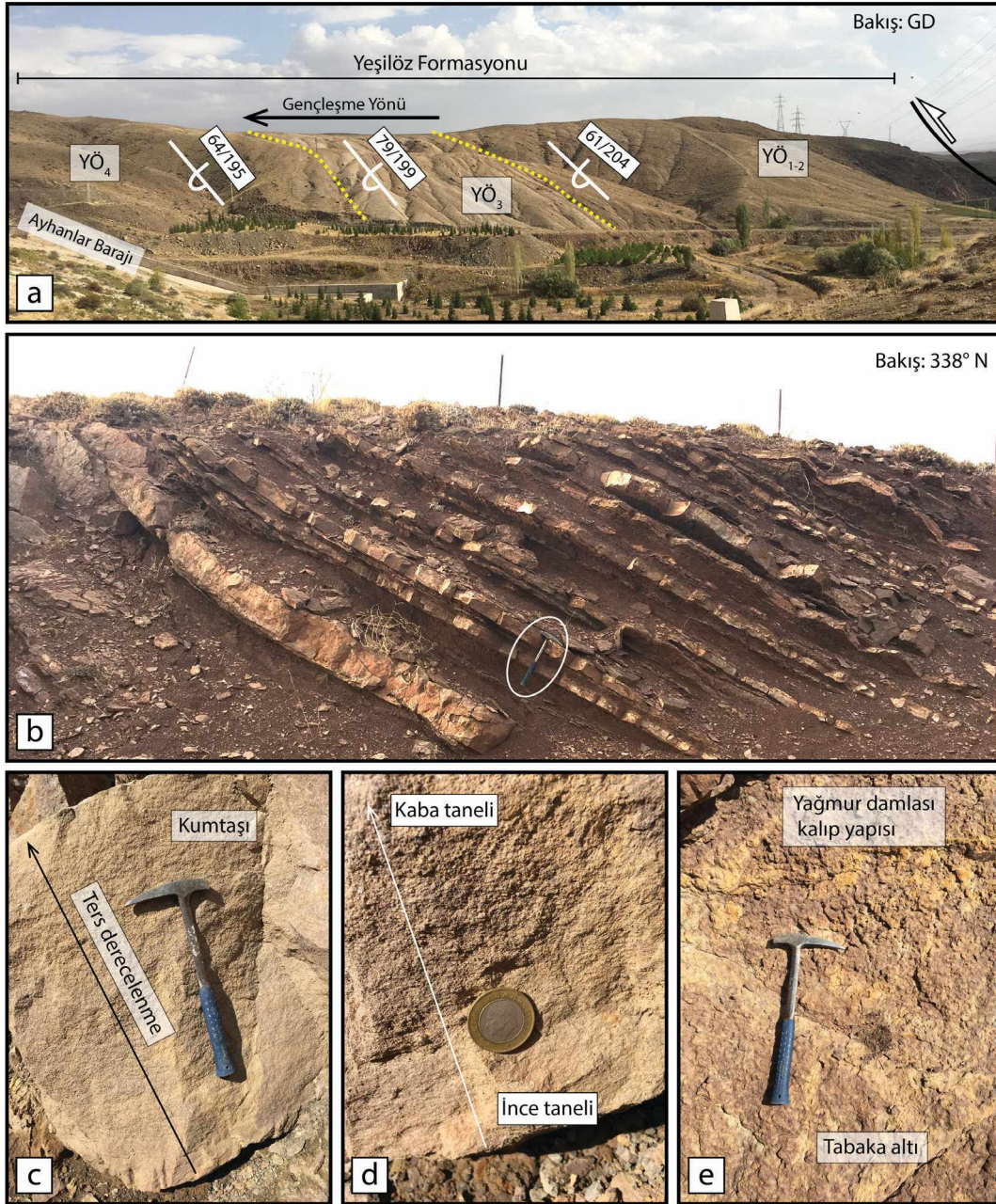
**Figure 11. a)** Field view of  $YÖ_3$  member. The photograph also showing the (conformable) contact relationship with  $YÖ_2$  member. **b)** While the unit is characterized by thin to medium bedded cherty-siliceous limestones near the contact, in the upper part of the unit the frequency of limestone occurrence begins to decrease and these levels are represented by sandstone, siltstone, and bituminous shale levels. (Bedding orientation is given in strike/dip format.)

YÖ<sub>3</sub> üyesi, Yeşilöz Formasyonu'na ait arazi çalışmaları esnasında tanımlanmış üçüncü üyedir ve YÖ<sub>2</sub> üyesinin üzerine uyumlu olarak gelmektedir (Şekil 11a). Bu birim Atabey (1989) tarafından Kubaca Üyesi olarak adlandırılırken, Advokaat vd. (2014) tarafından alttaki sarı renkli kumtaşları ile birlikte değerlendirilerek Y3 üyesi olarak isimlendirilmiştir. YÖ<sub>3</sub> üyesi tip kesitini yine Yeşilöz Mahallesi'nin kuzeyinde vermektedir, ancak birim doğruya doğru ilerledikçe yanal olarak incelmekte ve sonra Ayhan Mahallesi'nin güney-doğusunda devamlılığını yitirmektedir (Şekil 8b). Bu durum üyenin lens formunda geliştiğini ve doğruya doğru yanal olarak kamalanarak kaybolduğunu düşündürür. YÖ<sub>3</sub> üyesine ait istife genel olarak bakıldığında istif ince-orta tabakalı çörtlü-silislili kireçtaşları ile karakterize edilir (Şekil 11b). Üst seviyelere gelindikçe kireçtaşı seviyelerinin frekansı azalmaya başlar ve kumtaşı, silttaşı ve bitümlü şeyl seviyelerine geçer (Şekil 11c). Tabanda Yeşilöz Formasyonuna ait YÖ<sub>2</sub> üyesi, üstte ise YÖ<sub>4</sub> üyesi tarafından sınırlandırılmaktadır. Alt ve üst temas ilişkisi uyumlu ve düşey geçişli özelliktedir. Üyeyi tanımlayan kayaçlar içerisinde yaşlandırma yapılacak nitelikte fosil topluluğuna rastlanmamıştır. Bu neden ile Üst Kretase öncesi, Lütesiyen sonrası olarak yaşlandırılmaktadır (Atabey, 1989; Advokaat vd., 2014).

Yeşilöz Formasyonu'nu meydana getiren diğer bir üye ise, YÖ<sub>3</sub> üyesini uyumlu olarak üzerleyen YÖ<sub>4</sub> üyesidir (Şekil 12a). Atabey (1989) tarafından İlice Üyesi olarak adlandırılırken, Advokaat vd. (2014) tarafından Y4 kodlamasıyla ~625 m kalınlığa sahip kırmızı renkli kumtaşları istifi olarak tanımlanmıştır. YÖ<sub>4</sub> üyesi tip kesitini yine Yeşilöz Mahallesi'nin kuzeyinde Gümüşyazı Mahallesi'nin girişine yakın bir güzergâhta izlemek mümkündür (Şekil 12b). Bununla birlikte, Ayhanlar Barajı doğu yakasında bu birimin kendisi ve üzerlediği tüm birimler güneydeki bindirme nedeniyle devrik olarak görülmekte (Şekil 12a, b, c ve d) olup Ayhanlar Mahallesi'nin güney-doğusunda kamalanarak yanal devamlılığını yitirmektedir. Üyeye ait istife genel olarak bakıldığında, istif kalın-orta tabakalı

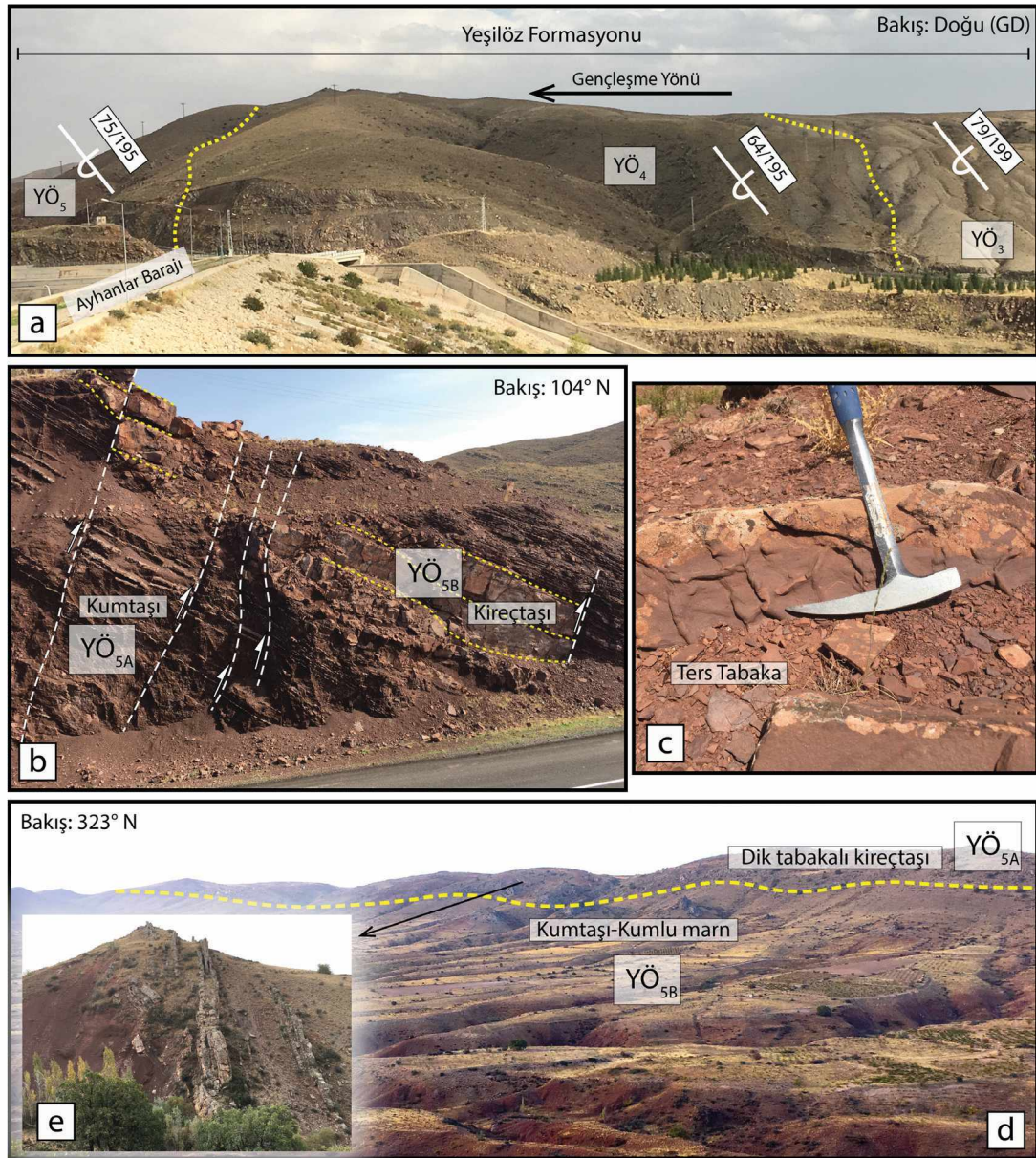
kaba kumtaşları ile başlar (Şekil 12c, d, e) ve üst seviyelere doğru incelenerek ince kumtaşı-silttaşı ve çamurtaşı araldanmasına dönüşür (Şekil 12b). YÖ<sub>4</sub> üyesi altta YÖ<sub>3</sub> üyesinin üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Üst dokanak ise YÖ<sub>5a</sub> üyesi ile uyumludur ve düşeyde tedrici geçişlidir (Şekil 13a). Üyenin yaşlandırılmasında yardımcı olabilecek fosil topluluklarına rastlanmamıştır. Bu nedenle birimin yaşı Lütesiyen öncesi olarak kabul edilmiştir (Advokaat vd., 2014). Üst seviyelerde görülen koyu kırmızı renkli çamurtaşı ve silttaşı seviyeleri ise menderesli akarsu ortamına işaret etmektedir (Atabey, 1989).

YÖ<sub>5</sub> üyesi, çalışma alanında en fazla yüzey alanına sahip olan üyedir (Şekil 8b). Özellikle çalışma alanının doğusunda, Özkonak Mahallesi'nin hemen batı-güneybatısında geniş bir bölgede kendini göstermektedir. Bununla birlikte, Ayhanlar Barajı doğu yakasında YÖ<sub>5</sub> üyesi ve kendisinden yaşlı olan tüm birimler, güneydeki bindirme nedeniyle devrik olarak dar bir alanda kendini göstermektedir (Şekil 13a). Atabey (1989) tarafından Lalelik Üyesi olarak adlandırılmıştır ve ortalama kalınlığı ~300m olarak tanımlanmıştır. Orta-kalın tabakalı çörtlü kireçtaşları (YÖ<sub>5b</sub>) (Şekil 13b ve e) ile yine orta-kalın tabakalı kumtaşı-kumlu marn ve laminalı şeyllerin (YÖ<sub>5a</sub>) (Şekil 13b, c, d ve e) araldanması ile karakterize edilmiştir. Havzanın doğusunda, YÖ<sub>5b</sub> olarak tanımlanan çörtlü kireçtaşları 90°'lik dik tabaklar halinde metrelerce uzanmaktadır (Şekil 13d ve e). Advokaat vd. (2014) tarafından kırmızı renkli kumtaşları ve çörtlü kireçtaşları iki ayrı üye olarak tanımlanmıştır (sırasıyla Y5 ve Y6) ancak, bu çalışmada, bu birimlerin araldanmalı (Şekil 13e) olarak gelişmiş olması nedeni ile YÖ<sub>5</sub> üyesi altında YÖ<sub>5a</sub> ve YÖ<sub>5b</sub> olarak ayırt edilmesi uygun görülmüştür (Şekil 8b). Üst dokanak ise YÖ<sub>6</sub> üyesi ile uyumludur ve düşeyde tedrici geçişlidir (Şekil 14a). Üyenin yaşlandırılmasında yardımcı olabilecek fosil topluluklarına rastlanmamış olması nedeni ile birimin yaşı Lütesiyen öncesi olarak kabul edilmiştir (Atabey, 1989; Advokaat vd., 2014).



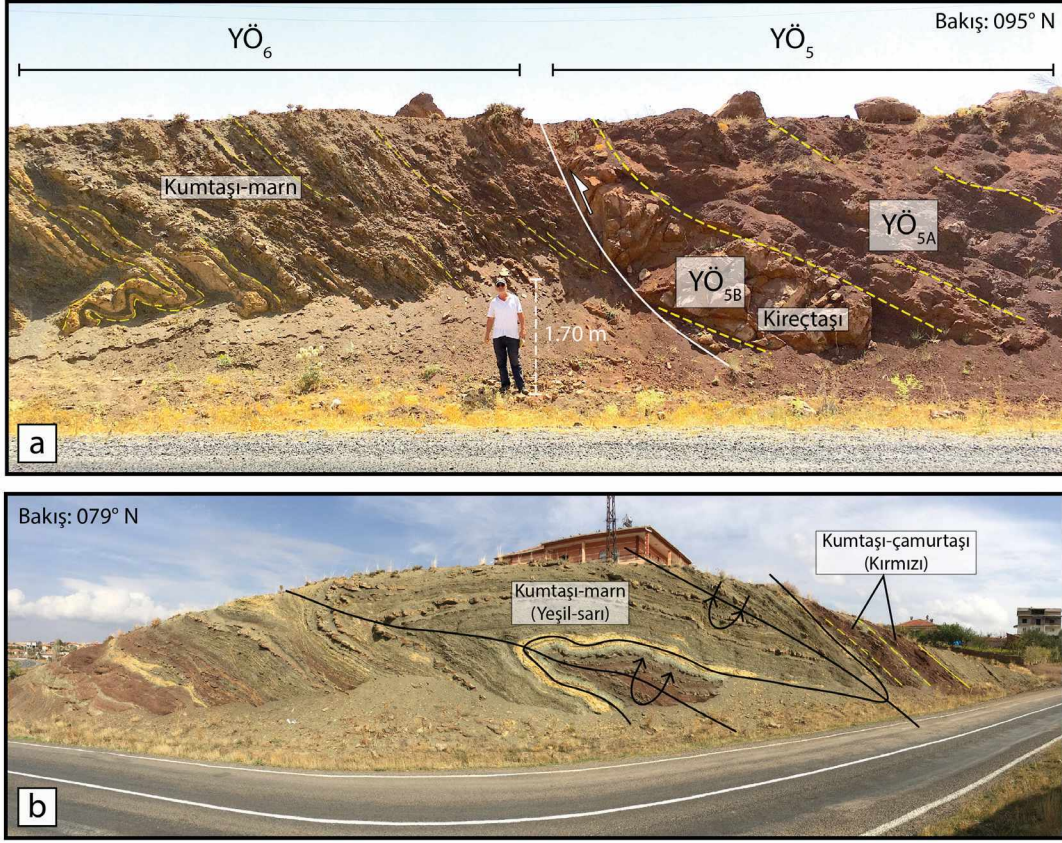
**Şekil 12.** a) YÖ<sub>4</sub> üyesine ait arazi görüntüsü. Fotoğraf aynı zamanda YÖ<sub>3</sub> üyesi ile (uyumlu) dokanak ilişkisini de göstermektedir. Ayhanlar Barajı'nın doğu yakasında YÖ<sub>4</sub> ve üzerlediği tüm birimler havzanın güneydeki bindirme nedeniyle ters (overturned) dönmüş olarak görülür. b) İstif üst seviyelerde ince kumtaşı-silttaşı ve çamurtaşı ardalanması ile karakterize edilirken, (c, d ve e) alt seviyelerde kaba kumtaşları ile temsil edilir. (Tabaka ölçümleri eğim/eğim yönü formatında verilmiştir.)

**Figure 12.** a) Field view of YÖ<sub>4</sub> member. Photograph also shows the (conformable) contact relationship with YÖ<sub>3</sub> member. On the eastern side of Ayhanlar Dam, YÖ<sub>4</sub> and all the units below it were overturned due to the thrust fault in the south of the basin. b) While the sequence is characterized by alternating fine-grained sandstone and mudstone in the upper levels, (c, d, e) it is represented by coarse sandstone in the lower levels. (Bedding orientation is given in dip amount/dip direction format.)



**Şekil 13. a)**  $YÖ_5$  üyesine ait arazi görüntüsü. Fotoğraf aynı zamanda  $YÖ_4$  üyesi ile (uyumlu) dokanak ilişkisini de göstermektedir. Ayhanlar Barajı'nın doğu yakasında  $YÖ_5$  ve üzerlediği tüm birimler havzanın güneydeki bindirme nedeniyle ters (overturned) dönmüştür. **b)** Birimin, orta-kalın tabakalı çörtlü kireçtaşları ( $YÖ_{5B}$ ) ile yine orta-kalın tabakalı kumtaşı-kumlu marn ve laminalı şeyl ( $YÖ_{5A}$ ) aralanmasını gösteren yakın plan görüntüsü. **c)** Birimin ters döndüğünü gösteren tabaka altı yapısı. **d** ve **e)** Çörtlü kireçtaşlarının ( $YÖ_{5B}$ )  $90^\circ$ 'lik dik konumlarını gösterir. (Tabaka ölçümleri eğim/eğim yönü formatında verilmiştir.)

**Figure 13. a)** Field view of  $YÖ_5$  member. Photograph also shows (conformable) contact relationship with  $YÖ_4$  member. On eastern side of Ayhanlar Dam,  $YÖ_5$  and all units below were overturned due to thrust fault in the south of the basin. **b)** Close-up view of  $YÖ_5$  member consisting of alternating medium to thick-bedded cherty limestone ( $YÖ_{5B}$ ) with medium to thick-bedded sandstone-sandy marl and laminated shale ( $YÖ_{5A}$ ). **c)** Bottom structure of sandstone bedding showing that unit is overturned. **d** and **e)** Photograph showing  $90^\circ$  vertical position of cherty limestone ( $YÖ_{5B}$ ). (Bedding orientation is given in dip amount/dip direction format.)

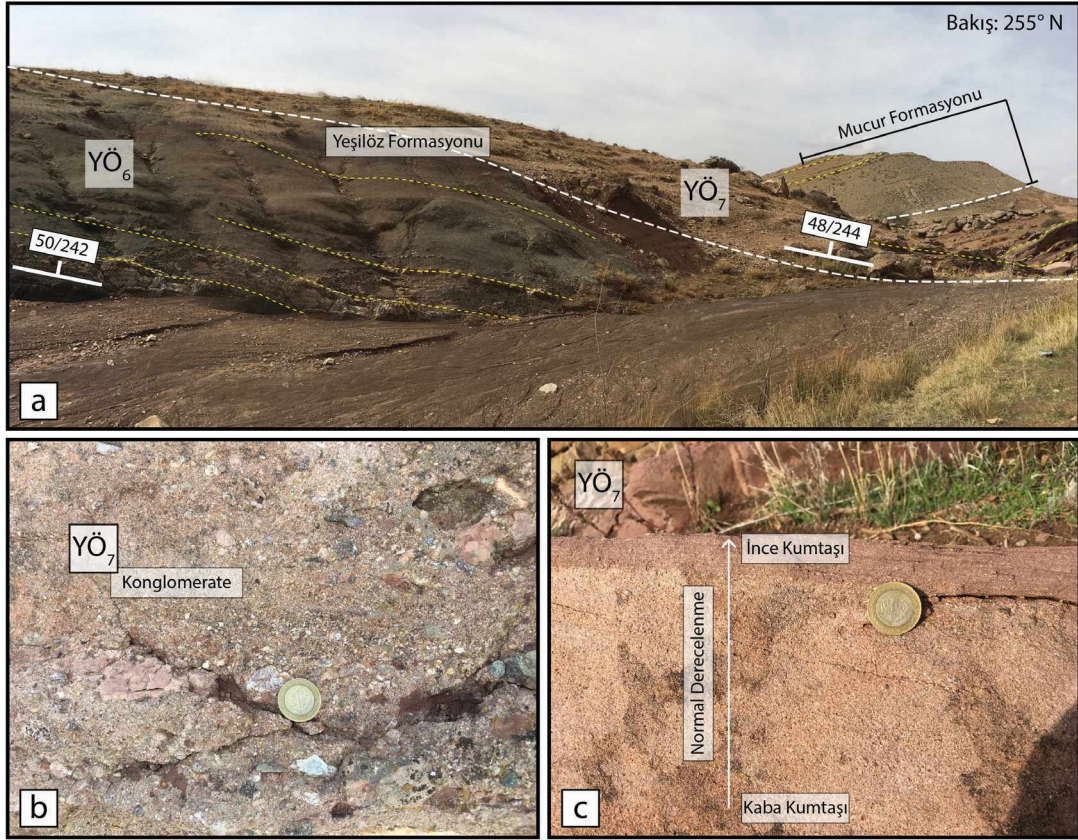


**Şekil 14. a)** Yeşilöz Formasyonu'nun YÖ<sub>6</sub> üyesine ait Ayhanlar Mahallesi ana yolu üzerindeki arazi görüntüsü. Fotoğraf aynı zamanda YÖ<sub>5</sub> üyesi ile dokanak ilişkisinin de uyumlu olduğunu göstermektedir. **b)** Üye kalın-orta tabakalı kırmızı kumtaşı-çamurtaşı birimleri ile yeşil-sarı renkli kumtaşı-marn birimlerinin ardalanmasından oluşmaktadır.

**Figure 14.** Field view of the YÖ<sub>6</sub> member of Yeşilöz Formation along main road of Ayhanlar village. Photograph also shows that contact relationship with YÖ<sub>5</sub> member is conformable. **b)** The member consists of alternating thick-medium bedded red sandstone-mudstone units and green-yellow sandstone-marl units.

Yeşilöz Formasyonu'nun içerisinde değerlendirilen diğer bir üye ise YÖ<sub>5</sub> üyesini uyumlu olarak üzerleyen YÖ<sub>6</sub> üyesidir (Şekil 14a). Atabey (1989) tarafından bu birim Lalelik Üyesi içerisinde dahil edilmiştir. Advokaat vd. (2014) tarafından ise Y5 kodlamasıyla verilen üye içerisinde değerlendirilmiştir. Üyenin en iyi gözlemlendiği alan Ayhanlar Mahallesi ana yolu üzerindedir (Şekil 14). Üyeye ait istife genel olarak bakıldığında, istif kalın-orta tabakalı kırmızı kumtaşı-çamurtaşı birimleri ile yeşil-sarı renkli kumtaşı-marn birimleri ile ardalanmalı

olarak kendini göstermektedir (Şekil 14b). YÖ<sub>6</sub> üyesi tabanda YÖ<sub>5a</sub> üyesi ile (Şekil 14a) tavanda ise YÖ<sub>7</sub> üyesi (Şekil 15a) ile uyumlu olarak sınırlandırılmıştır. Birim içerisinde yaş verisi sağlayabilecek fosil topluluklarına rastlanmamıştır. Bu nedenle birimin yaşı Lütésiyan öncesi olarak kabul edilmiştir (Advokaat vd., 2014). Yeşil-sarı renkli çamurtaşı ve silttaşı seviyeleri göl ortamına işaret etmektedir ancak, kırmızı kumtaşlarının varlığı ara ara kurak dönemlerde etkin fluvial bir ortamı tanımlamaktadır.

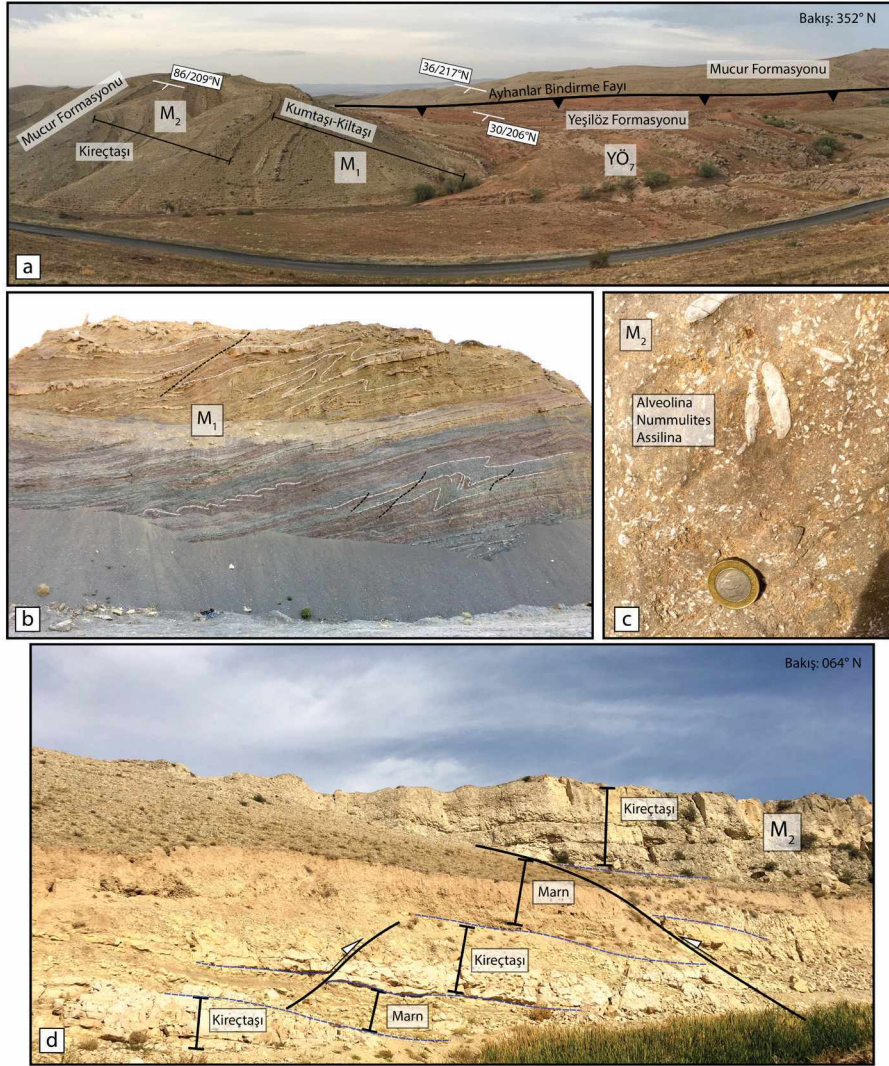


**Şekil 15. a)** Ayhanlar Mahallesi'nin kuzeyinde, Yeşilöz Formasyonu'na ait YÖ<sub>7</sub> üyesinin YÖ<sub>6</sub> üyesi ile dokanak ilişkisini gösteren arazi görüntüsü (tabaka yönelimi eğim/eğim yönü formatında verilmiştir.), **b)** YÖ<sub>7</sub> üyesini oluşturan istifin alt seviyelerinde görülen kırmızı konglomeratik birimin yakın plan görüntüsü ve **c)** istifin üst kesimlerinde görülen ve normal derecelenme gösteren kumtaşı birimi. (Tabaka ölçümleri eğim/eğim yönü formatında verilmiştir.)

**Figure 15. a)** Field view of the YÖ<sub>7</sub> member of Yeşilöz Formation north of Ayhanlar village. **b)** Close-up view of conglomeratic unit of the YÖ<sub>7</sub> member at lower level and **c)** sandstone units with normal grading at upper level of sequence. (Bedding orientation is given in dip amount/dip direction format.)

Yeşilöz Formasyonu'na ait olan en genç üye ise YÖ<sub>7</sub> olarak adlandırılmıştır. Atabey (1989) tarafından İlice Üyesi içinde değerlendirilmiş ve haritalanmıştır. Advokat vd. (2014) tarafından Y7 kodlaması ile verilmiş ve ~250 m kalınlığa sahip kırmızı renkli kumtaşı-çamurtaşı istifi olarak tanımlanmıştır. YÖ<sub>7</sub> üyesi tip kesitinin en iyi gözlemlendiği yerler Ayhanlar Mahallesi'nin kuzeyinde ve doğusunda bulunmaktadır (Şekil 15a). Genel olarak istif kalın-orta tabakalı kaba çakıltaşları ile başlar (Şekil 15b) ve üst

seviyelere doğru incelerken ince kumtaşı-silttaşı ve çamurtaşı aralanmasına dönüşür (Şekil 15c). YÖ<sub>7</sub> üyesi altta YÖ<sub>6</sub> üyesinin üzerine uyumlu olarak gelirken, üst dokanak ise Mucur Formasyonu ile belirlenmektedir (Şekil 16a). Üyenin yaşlandırılmasında yardımcı olabilecek fosil toplulukları bulunamamış ancak üyenin üzerine gelen Mucur Formasyonun yaşı fosil içeriğine bağlı olarak Atabey vd. (1989) tarafından Lütisyen olarak belirlenmiştir. Bu nedenle birimin yaşı Lütisyen öncesi olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 16. a)** Ayhanlar Mahallesi'nin kuzeyinde Mucur ve Yeşilöz Formasyonları (YÖ<sub>7</sub>) arasındaki dokanak ilişkisini gösteren arazi görüntüsü, **b)** Mucur formasyonuna ait M<sub>1</sub> üyesine ait arazi görüntüsü ile **c)** M<sub>2</sub> üyesini oluşturan kireçtaşı biriminin içerisinde bulunan fosil içeriğini gösteren yakın plan görüntüsüdür. **d)** Mucur Formasyonu'nun krem/bej renkli kireçtaşı-marl ardalanmalı M<sub>2</sub> üyesinin arazi görüntüsü. (Tabaka ölçümleri eğim/eğim yönü formatında verilmiştir.)

**Figure 16. a)** Field view showing contact relationship between Mucur and Yeşilöz formations (YÖ<sub>7</sub>) north of Ayhanlar village. **b)** Field view of the M<sub>1</sub> member of Mucur Formation. **c)** Close-up view of fossil content in limestone belonging to the M<sub>2</sub> member: **d)** Field view of the M<sub>1</sub> member consisting of cream/beige limestone-marl alternation. (Bedding orientation is given in dip amount/dip direction format.)

### Mucur Formasyonu

Mucur Formasyonu, Atabey vd. (1988) tarafından Altıpınar Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon asıl tip kesitini Ayhanlar Mahallesi'nin

kuzeyi ve doğusunda vermektedir (Şekil 8b). Advokaat vd. (2014) tarafından Mucur Formasyonu altında 2 farklı üye (M<sub>1</sub> ve M<sub>2</sub>) tanımlaması yapılmıştır. Ancak üyeler ayrı ayrı

haritalanmamış, tek bir birim olarak göstermiştir. Bu çalışmada da, formasyon yine 2 farklı üyeye bölünmüş (Şekil 16a) ve Advokaat vd. (2014)'te yapılan sınıflandırma ve adlandırmalar benimsenmiştir. Ancak üyeler litolojik olarak ayrı ayrı haritalanmıştır (Şekil 8b).

Mucur Formasyonu tabanda Yeşilöz Formasyonu'nun en genç üyesi olan YÖ<sub>7</sub> ile uyumludur (Şekil 16a). Formasyonun M1 üyesi tabanda gri-sarı renkli, bazı seviyelerde kırmızı renkli ara katkılı kalın-orta tabakalı kumtaşı-silttaşı ardalanması ile başlamaktadır (Şekil 16a ve b). Üst kesimlere doğru, tane boyu incelererek çamurtaşı-marnlı seviyelere geçiş yapar. Advokaat vd. (2014) tarafından M<sub>1</sub> kodlamasıyla ~200 m kalınlığa sahip tane-destekli birim olarak tanımlanmıştır. Üye altta YÖ<sub>7</sub> üyesini uyumlu olarak üzerlerken, M<sub>2</sub> üyesi tarafından uyumlu olarak örtülür ve düşeyde tedrici geçişlidir. Üyenin yaşlandırılmasında yardımcı olabilecek fosil topluluklarının tanımlanması Atabey (1989) tarafından yapılmış ve birimin marnlı seviyelerinden derlenen örneklerde *Alveolina spp.*, *Orbitolites spp.*, *Lochartia sp.*, *Nummulites sp.*, *Miliolidae*, *Assilina exponens* (SOWERBY), *Assilina asperia* DONCIEUX, *Nummulites cf. Pinfoldi* DAVIES, *Globigerina sp.*, *Rotalia trochidiformis* LAMARCK fosillerinin varlığı raporlanmıştır. Bu fosil içeriğine bağlı olarak üyenin yaşı Lütésiyan olarak belirlenmiştir.

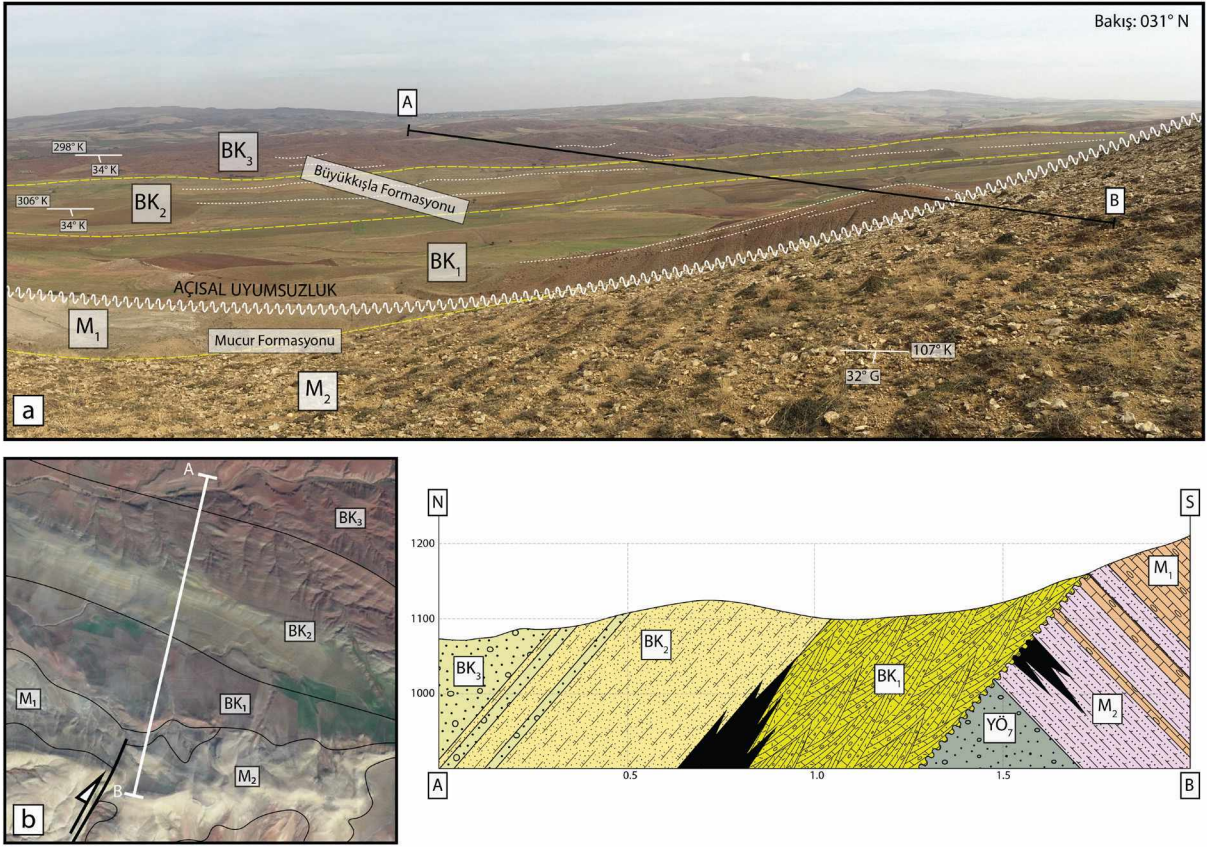
M<sub>2</sub> üyesi Mucur Formasyonuna ait kireçtaşı birimine karşılık gelir (Şekil 16a). Ayhanlar Mahallesi civarında 1-2 m kalınlığında tabakalanma gösteren krem renkli, fosilli kireçtaşı-marn ardalanması (Şekil 16c ve d) ile dikkati çekmektedir. Atabey vd. (1989) tarafından Boztepe Üyesi olarak adlandırılmıştır.

Bu üyenin en iyi yüzlek verdiği alan Ayhanlar Mahallesi'nin batısında, mahalle çıkışında yol üzerinde gözlenmektedir. Üyenin tavan dokanağını, Büyükkışla Formasyonu ile yaptığı açısız uyumsuzluk belirlenmiştir (Şekil 17). Üyenin yaşlandırılmasında yardımcı olabilecek fosil toplulukları Atabey (1989) tarafından, M<sub>1</sub> üyesinde görülen micro fosil türlerine ek olarak, *Linderina brugesi* SLUMBERGER, *Asterigerina sp.*, *Fabiana cassis* (Oppenheimer), *Eorupertia manga* (Le Calvez), *Operculina sp.* türlerinin varlığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, makro fosillerden *Lucina* (*Phacoides*), *Corbaricus LEYMERIE*, *Chama cf. Lamellose* LAMARK, *Lucina* (*pseudomiltha*) *gigantea* DESHAYES'in varlığı da belirtilmiştir. Bu fosil içeriklerine bağlı olarak üyenin yaşı Lütésiyan olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Göncüoğlu vd. (1993) tarafından bu kireçtaşı birimine 48,6-40,4 My (Lütésiyan) yaşı verilmiştir.

### Büyükkışla Formasyonu

Büyükkışla Formasyonu, Atabey (1989) tarafından Kızıllöz Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon asıl tip kesitini Ayhanlar Mahallesi'nin kuzeyinde vermektedir. Büyükkışla Formasyonu alüvyon, akarsu ve taşkın düzlüğü (bataklık) çökellerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, formasyon içinde 3 farklı üye tanımlanması yapılmış (Şekil 18a) ve litolojik olarak haritalanmıştır (Şekil 8). Bu çalışmada, Büyükkışla Formasyonu'na ait üyelerin adlandırılmasında kodlamalar (BK<sub>1-3</sub>) kullanılmıştır. Benzer şekilde, Advokaat vd. (2014) tarafından, Büyükkışla formasyonuna ait 3 farklı üye (B1-3) tanımlanması yapılmıştır.



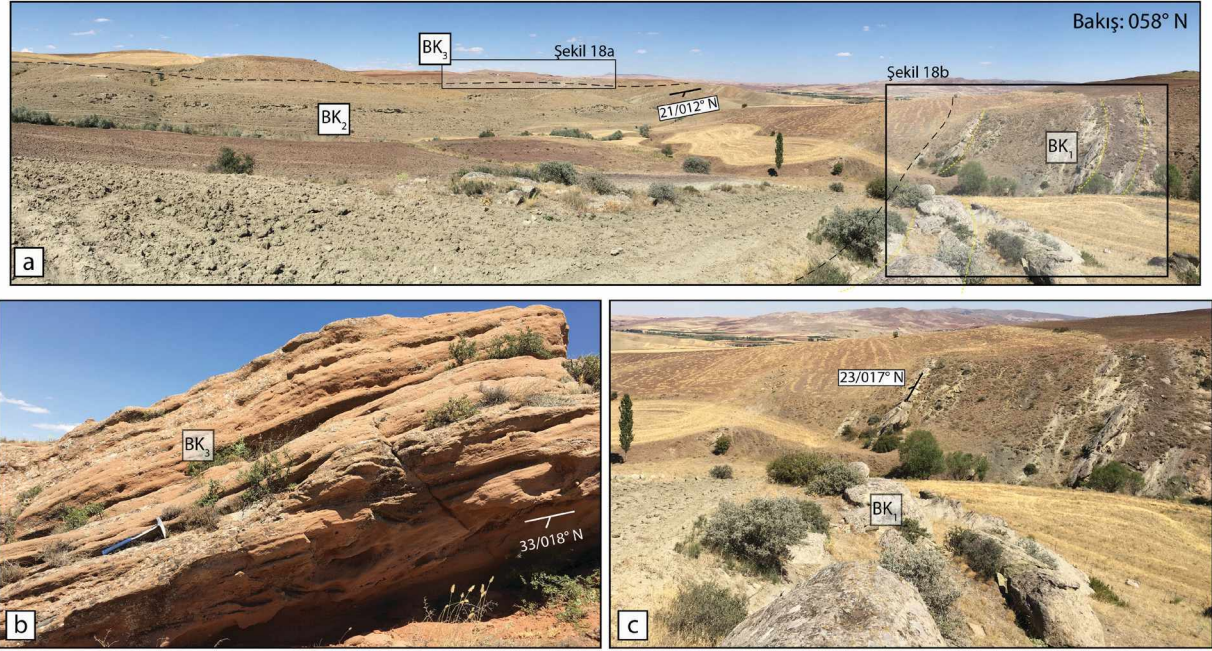


**Şekil 17. a)** Mucur ve Büyükkışla formasyonları arasındaki dokanak ilişkisini gösteren yorumlanmış arazi görüntüsü ve **b)** Google Earth'ten sağlanan yorumlanmış uydu görüntüsüdür. Büyükkışla ve Mucur Formasyonu arasındaki açısız uyumsuzluk Şekil 17a ve b'de gösterilen A-B hattı boyunca oluşturulan kesitte gösterilmiştir. (Tabaka ölçümleri doğrultu/eğim formatında verilmiştir.)

**Figure 17. a)** Field view showing contact relationship between Mucur and Büyükkışla formations and **b)** interpreted satellite image obtained from Google Earth. Angular unconformity between Büyükkışla and Mucur formations is represented in cross-section along A-B line indicated on Figure 17a and b. (Bedding orientation is given in strike/dip format.)

Büyükkışla Formasyonu tabanda konglomera ve kumtaşı arıdalanması ile karakterize edilen BK<sub>1</sub> üyesi ile başlamaktadır (Şekil 18c). Teknesel çapraz tabakalı, kanal dolgusu çökelleri iri-orta taneli, kötü boylanmalı, iyi-orta derecede yuvarlak çakıltaşları hakimdir (Şekil 18c). Konglomera kalın tabakalıdır ancak istife genel olarak bakıldığında istifin üst kısımlarına doğru tane boyu küçülmeye ve pembe renkli lamine çamurtaşlarına ve linyit seviyelerine dönüşmeye başlar. Üyenin toplam kalınlığı Advokaat vd.

(2014) tarafından ~450 m olarak belirlenmiştir. BK<sub>1</sub> üyesi batıda Hırkadağ Metamorfiklerini, güneyde ise Yeşilöz Formasyonunu ve Mucur Formasyonu uyumsuzluk ile örtmektedir (Şekil 8b ve 17). BK<sub>1</sub> üyesinin üst sınırı ise BK<sub>2</sub> tarafından uyumlu olarak örtülmektedir (Şekil 18a). Birim içerisinde yaş verisi sağlayabilecek fosil topluluklarına rastlanmamıştır, ancak üyenin yaşı, alt sınırını oluşturan Mucur Formasyonun yaşına (Lütesiyen) ve arada bulunan açısız uyumsuzluğa istinaden Oligosen olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 18. a)** Büyükkışla Formasyonu'na ait  $BK_1$ ,  $BK_2$  ve  $BK_3$  üyelerinin arazi görüntüsü, **b)** Kırmızı çapraz tabakalı ince/kaba taneli kumtaşı ile temsil edilen  $BK_3$  üyesinin yakın plan görüntüsü, **c)** Konglomera ve kumtaşı ardalanmalı  $BK_1$  üyesinin yakın plan görüntüsü.

**Figure 18. a)** Field view of Büyükkışla Formation consisting of  $BK_1$ ,  $BK_2$  and  $BK_3$  members. **b)** Close-up view of  $BK_3$  member characterized by red cross-bedded fine to coarse grained sandstone. **c)** Close-up view of the  $BK_1$  member with conglomerate and sandstone alternation.

Büyükkışla Formasyonu'na ait diğer bir üye ise  $BK_2$  olarak kodlanmıştır. Atabey (1989) tarafından Arafa Üyesi olarak tanımlanmıştır. Advokaat vd. (2014) tarafından B2 olarak isimlendirilmiş ve ~300 m kalınlığa sahip sarı-yeşil renkli kumtaşı-çamurtaşı istifli olarak tanımlanmıştır.  $BK_2$  üyesinin en iyi gözlemlendiği alan Ayhanlar Mahallesi'nin kuzeyinde bulunmaktadır. Genel olarak istif kalın-orta tabakalı sarımsı-yeşil renkli orta-ince taneli kuvarslı kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşlarından (Şekil 18a) ve linyit seviyelerinden oluşmuştur. Birim üst seviyelere doğru gri-yeşil renkli paralel tabakalı kumtaşı-kiltaşı seviyelerine geçer.  $BK_2$  üyesinin tavan dokanağı  $BK_3$  üyesi tarafından uyumlu olarak örtülmektedir (Şekil 18a). Üye içerisindeki linyit seviyelerinden yaşlandırma yapılacak nitelikte fosil topluluğuna rastlanmamıştır.

Üyenin alt sınırını oluşturan  $BK_1$  Üyesi'nin yaşına istinaden Oligosen yaşı benimsenmiştir.

Büyükkışla Formasyonu'nun en genç üyesi ise formasyonun üstten ~4 km'lik kısmını oluşturan  $BK_3$  üyesidir (Advokaat vd., 2014). Teknesel çapraz tabakalı, kanal dolgusu çökelleri hakimdir. Genel olarak istif kalın-orta tabakalı kaba çakıltaşları, kumtaşları ve çamurtaşları ardalanmasından oluşmaktadır. İri-orta taneli (4-10 cm), orta boylanmalı, iyi-orta derecede yuvarlaklaşmış tane-destekli konglomera tabakaları 2 m'lik kalınlıklara ulaşabilmektedir (Şekil 18c). Taneler genellikle alt seviyelerde volkanik ve kumtaşı kökenli iken üst seviyelerde ise nümmülitli kireçtaşları ile karşılaşmak mümkündür.  $BK_3$  üyesi altta  $BK_2$  üyesinin üzerine uyumlu olarak gelmektedir (Şekil 18a).

Üst dokanak ise Tuzköy Formasyonu tarafından uyumsuzluk ile örtülmektedir. Benzer şekilde, bu üye için de Oligosen yaşı benimsenmiştir. Kırmızı konglomera ve kumtaşlarının varlığı örgülü akarsu ve alüvyon yelpazesi ortamına işaret etmektedir.

### **Tuzköy Formasyonu**

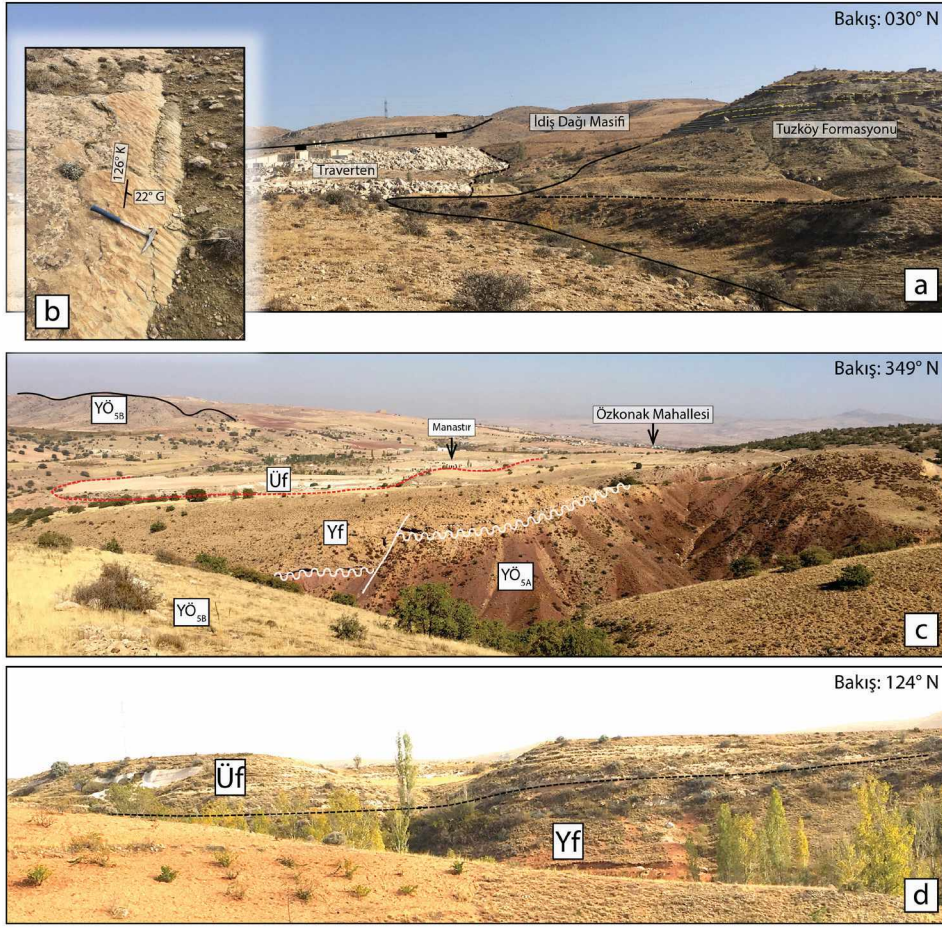
Tuzköy Formasyonu, ilk olarak Atabey vd. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Havzanın daha çok batı kısmında gözlenen formasyon, Kızılırmak'ın hemen güneyinde Hırkadağ eteklerinde, çalışma alanının doğusunda İdiş Dağı eteklerinde ise yamalar şeklinde kendini göstermektedir (Şekil 19a). Sarı-renkli, ince tabakalı kumtaşı-kiltaşı ar dalanması ile karakterize edilir. Tabaka düzlemi üzerinde iyi gelişmiş asimetrik rıpıllar gözlenmektedir (Şekil 19b). Atabey (1989) birimin kalınlığını 100 m olarak belirlemiştir. Tuzköy Formasyonu, çalışma alanında bazı lokasyonlarda Karahadır Volkanikleri üzerine aşmalı olarak gelirken, bazı lokasyonlarda ise fay kontrollü olarak Hırkadağ ve İdiş Masifleri ile yan yana gözlenmektedir (Şekil 19a). Üst seviyelerde gözlenen tüfit ar dalanması (Atabey, 1989), tavan sınırını belirleyen Ürgüp Formasyonu ile geçişli olduğunu düşündürmektedir. Atabey (1989) hazırladığı raporda, birimin içerisinde *Cyprideis cf. Torosa* (JONES), *Cyprideis littoralis* (BRADY), *Cyprideis sp.*, *Ilyocypris sp.*, *Chara*, *Ilyocypris cf. Gibba* (RAMBOHR) fosillerine rastlandığı belirtilmiştir. Bu formlara istinaden, birime Üst Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir. Bununla birlikte, Akgün vd. (1995) tarafından yapılan palinolojik çalışmada, birimin yaşı Orta Miyosen'in sonları olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, birimin üst sınırını tanımlayan Ürgüp Formasyonu ile düşeyde geçişli dokanak özelliği nedeni ile Üst-Orta Miyosen yaşı benimsenmiştir. Kumtaşları ve kilttaşları gibi ince taneli birimlerin varlığı, tabaka düzlemlerinde görülen asimetrik rıpıllar ile birlikte değerlendirildiğinde düşük enerjili göl ortamını temsil etmektedir.

### **Yüksekli Formasyonu**

Yüksekli Formasyonu, ilk olarak Aydın vd. (1985) tarafından adlandırılmıştır. Havzanın daha çok doğu kısmında gözlenen formasyon (Şekil 8b), sarı-kırmızı renkli çakıltaşı-kumtaşı ve kilttaşı ar dalanması ile karakterize edilmektedir (Şekil 19c). Kaba taneli seviyeler erozyonel tabanlı olup, kanal dolgusu özelliği göstermektedir. Çakıllı seviyelerde dizilim ve yönlendirme görülmektedir. Taneler genellikle kuvarsit, çört, bazalt, gabro, granit ve kireçtaşı türündendir. Birim orta-kalın tabakalıdır ve ara ara kaba-taneli artık depolanma seviyeleri (lag deposits) görülmektedir. Yüksekli Formasyonu, altta Yeşilöz Formasyonunu uyumsuz olarak örterken (Şekil 19c), üstte ise Ürgüp Formasyonu ile düşeyde geçişli özellik göstermektedir (Şekil 19d). Yüksekli Formasyonu içerisinde, birime yaş tayini yapılmasını sağlayacak fosil topluluğuna rastlanmamıştır, ancak formasyonun üst sınırını tanımlayan Ürgüp Formasyonu ile geçişli dokanak özelliği nedeni ile Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı benimsenmiştir.

### **Ürgüp Formasyonu**

Ürgüp Formasyonu, ilk olarak Pasquare (1968) tarafından adlandırılmıştır. Ayhan Havzası'nda geniş bir yayılıma sahip (Şekil 8b) olan volkanotortul birimlerdir (Şekil 20a). Sarı, kirli beyaz, açık kahve, açık pembe renkli ignimbrit, pomza, kumlu-siltli-killi karışımli birimlerinin ar dalanması ile karakterize edilirler (Şekil 20a ve b). Birimin tabaka kalınlıkları (inceden, çok kalına kadar) değişkenlik gösterir (Şekil 20a). Ürgüp Formasyonu, altta Yüksekli Formasyonunu ile yatayda ve düşeyde geçişli özellik gösterirken (Şekil 19d), üst sınır ise Kuvaterner birimler (yatay) tarafından uyumsuzlukla belirlenmektedir.

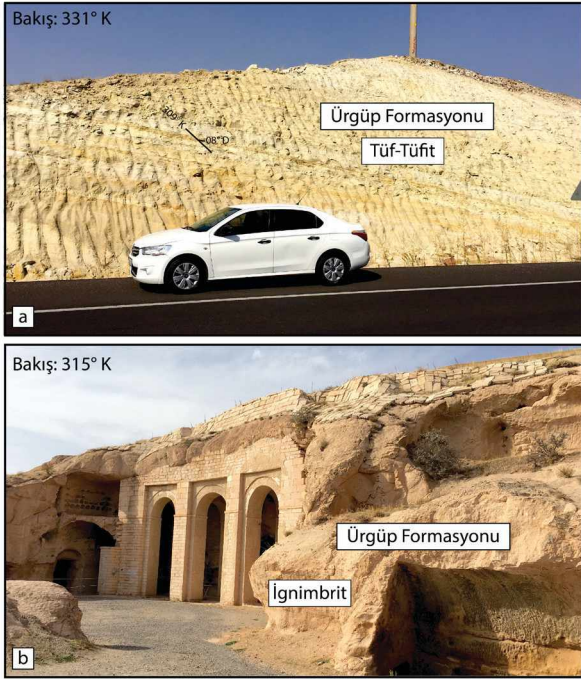


**Şekil 19. a)** Çalışma alanının doğusunda İdiş Dağı eteklerinde yamalar şeklinde kendini gösteren Tuzköy Formasyonu'nun arazi görünümü, **b)** Sarı-renkli, ince tabakalı kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı seviyelerin tabanında görülen iyi gelişmiş asimetric rıplarından bir görünüm, **c)** Havzanın daha çok doğu kısmında yerleşmiş olan Yüksekli Formasyonu, sarı-kırmızı renkli çakıltaş-kumtaşı ve kiltası ardalanması ile karakterize edilmektedir. Yüksekli Formasyonu'nun Yeşilöz Formasyonu'nu (YÖ<sub>5A</sub>) uyumsuz olarak üzerlediğine dikkat ediniz. **d)** Ürgüp Formasyonu ile Yüksekli Formasyonu'nun düşeyde geçişli olduğunu gösteren arazi görüntüsü.

**Figure 19. a)** Field view of Tuzköy Formation, formed as patches on slope of İdiş Mountain. **b)** Well-developed asymmetric ripples seen at base of yellow, thin-bedded sandstone levels. **c)** Yüksekli Formation, mostly located in the eastern part of the basin, is characterized by the alternation of yellowish-red conglomerate-sandstone and claystone. Please note that the Yüksekli Formation unconformably overlies the Yeşilöz Formation (YÖ<sub>5A</sub>). **d)** Field view showing vertically transitional contact between Ürgüp and Yüksekli formations.

Atabey (1989), Ürgüp Formasyonu'nun Hatlarpınar Üyesi'nin kırmızı renkli paleotopraklar ile alüvyonal kırıntılar içerisinde *Hipparion sp.*, *Gazella sp.*, *Rhinoceras sp.*, *Suserymanthius Rodler* ve *Weithofer*; *Thragocerus cf. Amaltheus Rodler* and *Weithofer*; *Dicerorhinus cf. Orientalis* (Schlosser), *Hipparion*

*mediterraneum Hansel*, *Antilop sp.* fosillerinin varlığını raporlamıştır. Bu fosil kayıtlarına ek olarak, pek çok araştırmacı (Innocenti vd., 1975; Le Pennec vd., 1994; Temel vd., 1998) radyometrik yaşlandırma yapmışlar ve Ürgüp Formasyonu için Üst Miyosen-Alt Pliyosen (11-4,3 Ma) yaşını önermişlerdir.

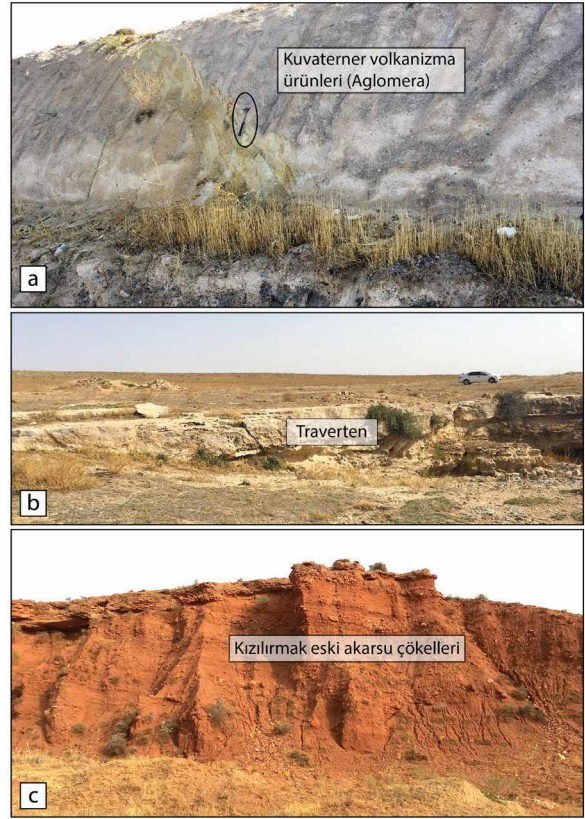


**Şekil 20. a)** Sarı, kirli beyaz, açık kahve, **b)** açık pembe renkli kumlu-siltli-killi karışıma sahip ignimbrit, pomza, Ürgüp Formasyonu'na ait saha görüntüsü.

**Figure 20.** Field view of Ürgüp Formation consisting of **a)** yellow, creamy, light brown, or **b)** pinkish ignimbrite, pumice, tuff/tuffit with sandy-silty-clay mixture.

### Kuvaterner Birimler

Çalışma alanında görülen Kuvaterner yaşlı birimler incelendiğinde üç farklı litolojik özellikte birimler dikkati çekmektedir. Bunlardan ilki, Kuvaterner volkanizması (Şekil 21a) ürünleri olan bazalt, volkanik cam ve volkanik kül birimlerinden oluşmaktadır. Diğer bir birim ise fay zonlarından çıkan sıcak yeraltı sularının oluşturduğu kırmızı-kahverengi-sarımsı renklerde, damarlı ve gevrek yapıya kalın tabakalı traverten çökelleridir (Atabey, 1989) (Şekil 21b). Son olarak ise, Kızılırmak'ın ve yan kollarının oluşturduğu akarsu çökellerine ait çakıltaşı üyesidir (Şekil 21c). Genellikle, 2-15 cm boyutunda çakıl, ince-orta kum tane boyutlu gevşek yapıya çapraz tabakalı kumtaşı ve kilaşından oluşmaktadır.



**Şekil 21. a)** Bazalt, volkanik cam ve volkanik külden oluşan volkanizma ürünleri **b)** fay zonlarından çıkan sıcak yeraltı sularının oluşturduğu kalın tabakalı traverten oluşumları ve **c)** Kızılırmak'ın ve yan kollarının oluşturduğu eski akarsu çökelleri çalışma alanındaki Kuvaterner birimler olarak tanımlanmıştır.

**Figure 21. a)** Products of volcanism such as basalt, volcanic glass and volcanic ash. **b)** Travertine with thick-bedded level formed where hot groundwater emerges onto the surface along fault zones. **c)** Old river deposits of Kızılırmak River and its tributaries that produced the Quaternary units in the study area.

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### Ayhan Havzası'na Dair Çıkarımlar

Ayhan Havzası, Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'ni (OAKK) meydana getiren metamorfik kayalar, ofiyolitler ve magmatik sokulumlar üzerinde uyumsuz olarak gelişmiştir (Görür vd., 1998). Havzadaki en yaşlı birim olan Yeşilöz Formasyonu'nun çökeltme zamanı kesin

olarak bilinmemekle birlikte, belirlenen alt ve üst sınırlayıcı yaş verilerine dayanarak Kretase sonrası- Lütésiyen öncesinde başlamış olduğu düşünülmektedir.

Ayhan Havzası'nın batı kenarı paleo-sınır özelliği taşıırken, havzanın güney ve doğu sınırları Savcılı Fay Zonu'nun (Çağlayan, 2010; Işık vd., 2014) etkisinde yüzeye getirilen Üst Kretase yaşlı Karahıdır Volkanitleri ve Hırkadağ-İdiş Masifi tarafından belirlenmektedir (Şekil 22). Havzanın en yaşlı birimi olan Yeşilöz Formasyonu'nun (Şekil 23) batı sınırında Hırkadağ Masifi üzerine aşmalı olarak gelmesi (Şekil 10) ve tane boyunun kabaca batıdan (gravitasyonel kütle hareketine bağlı alüvyal fan) doğuya doğru (zaman zaman sığlaşan göl ortamı) incilmesi havzanın Lütésiyen öncesi depolanmasının yakınsak ve ıraksak alanlarının tanımlanmasında yardımcı olmaktadır. Buna göre, havza içerisinde gözlenen bu tane boyu dağılımı, beslenme yönünün havzanın batısında bulunması gerektiğine işaret etmektedir. Yeşilöz Formasyonu alüvyal fan ile başlayan, zaman zaman sığlaşarak kuraklık dönemine giren ve bu dönemlerde flüvyal karakterde çökeller bırakan göl ortamını karakterize etmektedir. Bununla birlikte Mucur Formasyonu ise Ayhan Havzası'nın deniz bağlantısının kurulduğu Eosen dönemine ait jeolojik kayıtları tutmaktadır. Ayhanlar Mahallesi kuzeyinde Mucur Formasyonu'nun Yeşilöz Formasyonu'nun en genç çökeli olan (YÖ<sub>7</sub>) kırmızı-pembe renkli kalın çapraz tabakalı konglomera-kumtaşı biriminin üzerine uyumlu olarak gelmesi göl ortamından deniz ortamına geçişin çok hızlı olduğunu göstermektedir. Global deniz seviyesi değişimi, çökme/batma süreçleri ya da sedimantasyon hızındaki değişiklikler deniz ilerlemesinde etken faktörler olabilmektedir. Ancak Ayhan Havzası'nı deforme eden Savcılı Bindirme Zonu'nun Lütésiyen (46-40 My)-Geç Oligosen (29-22 My) döneminde aktif olduğu (Işık vd., 2014) düşünüldüğünde, Eosen döneminde meydana gelen global deniz seviyesindeki yükselme, bu ilerlemenin ana

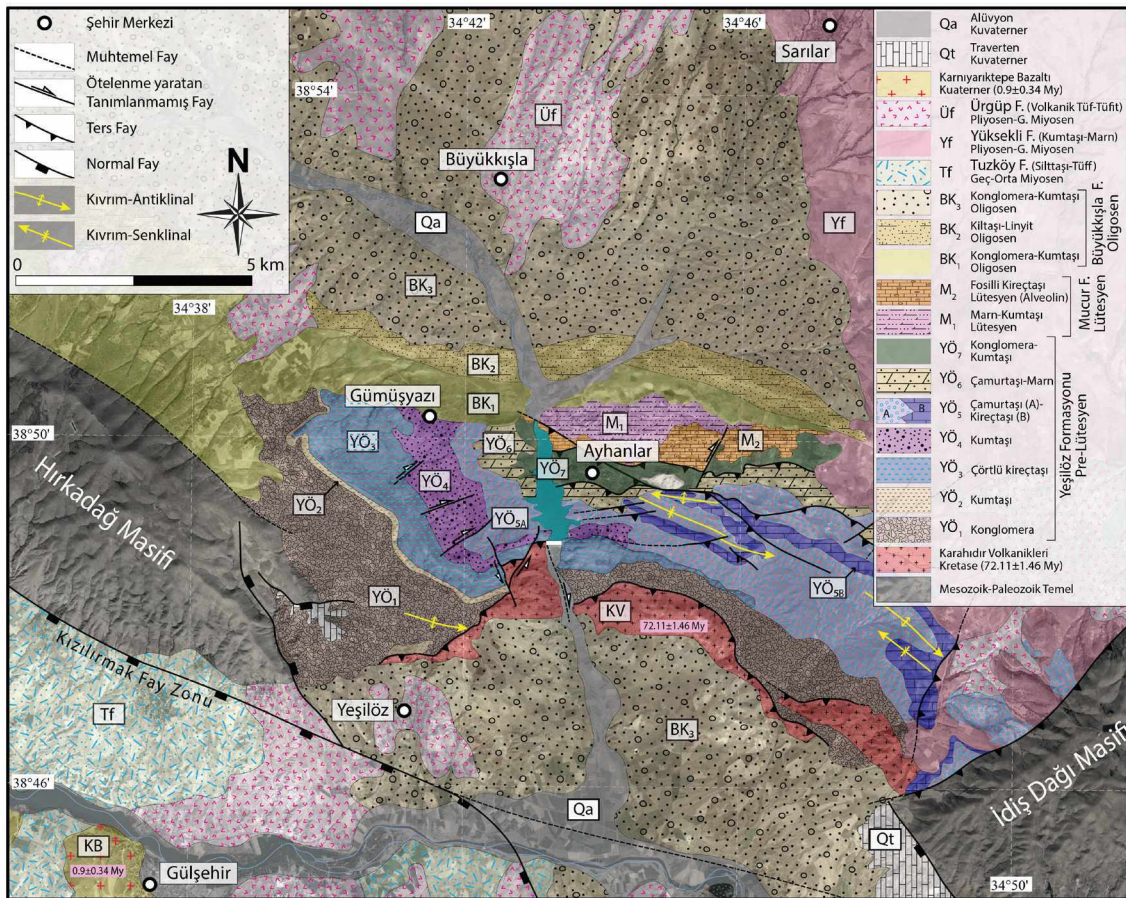
nedeni olarak değerlendirilmelidir. Bu dönemde, Mucur Formasyonu altta gri-mavi renkli kumtaşı-çamurtaşı ardalanmalı türbiditik seri (M<sub>1</sub>) ve üzerine gelen sarı-krem renkli kireçtaşı (M<sub>2</sub>) ile tanımlanırken (Şekil 23) havza çökeli için ihtiyaç duyulan boşluğun en yüksek olduğu dönemi de yansıtmaktadır. Deformasyon derecesi açısından bakıldığında, Yeşilöz Formasyonu'na ait birimler, Mucur Formasyonu'na ait birimlere göre çok yoğun bir deformasyona maruz kalmışlardır (kapalı kıvrımlar, dik ve devrik tabakalar, Şekil 12a, 13e, 14b). Deformasyon yoğunluğunda görülen bu farklılık, Yeşilöz ve Mucur formasyonları arasındaki ilişkinin uyumlu olması nedeni ile bindirmenin mekânsal olarak ilerleyişinin güneyden kuzeye doğru olması (değerlendirme güncel konuma göre yapılmıştır) ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 12, 13 ve 22).

Ayhan Havza'nın kuzeyinde bulunan Büyükkışla Formasyonu havzanın tektonik ve sedimantolojik evrimi açısından önemli kayıtlar içermektedir. Oligosen yaşlı Büyükkışla Formasyonu'nun kırmızı renkli konglomera-kumtaşı-kiltaşı seviyeleri (BK<sub>1</sub>) ile linyit seviyeli marn-kiltaşı birimlerinden (BK<sub>2</sub>) oluşmuş olması örgülü akarsu ve bataklık ortamı olarak yorumlanmıştır (Şekil 23). Bu nedenle, Büyükkışla Formasyonu, Ayhan Havzası'nın yeniden karasal döneme geçişini temsil etmektedir. Mucur Formasyonu ile arasında açılal uyumsuzluğun varlığı (Şekil 17) ve sıkışmalı rejime ait herhangi bir jeolojik yapı içermemesi ise Savcılı Bindirme Fayı ile temsil edilen sıkışmalı tektonik rejimin bu dönemde sona erdiğini ifade eder. Bununla birlikte, Büyükkışla ve Mucur formasyonları arasındaki jeolojik zaman boşluğu (Geç Eosen) ise sıkışmalı rejim sonrasında havzanın yükselmesine bağlı olarak herhangi bir depolanmanın gerçekleşmediği (Şekil 23) ve havzanın erozyona maruz kaldığı dönem olarak yorumlanmıştır. Oligosen çökellerinin hemen Ayhanlar bölgesinin kuzeyinde yerleşmiş olması, buradaki paleocoğrafyanın bindirmenin hemen

önünde gelişen çöküntü alanı ile kontrol edildiğini düşündürmektedir. Oligosen sonrasında da sistem karasal olarak devam etmiştir (Tuzköy ve Yüksekli Formasyonları). Bu genç depolanmanın, önceki Ayhan Havzası ile ilişkisi bulunmamaktadır ve Geç Miyosen itibari ile bölgede Volkanik aktivitenin başlaması ile tüm sistem volkanik tuf (Ürgüp Formasyonu) ile örtülmüştür. Bu volkanik aktivite Kuvaterner'e (Karnıyarıktepe Bazaltı) kadar devam etmiştir.

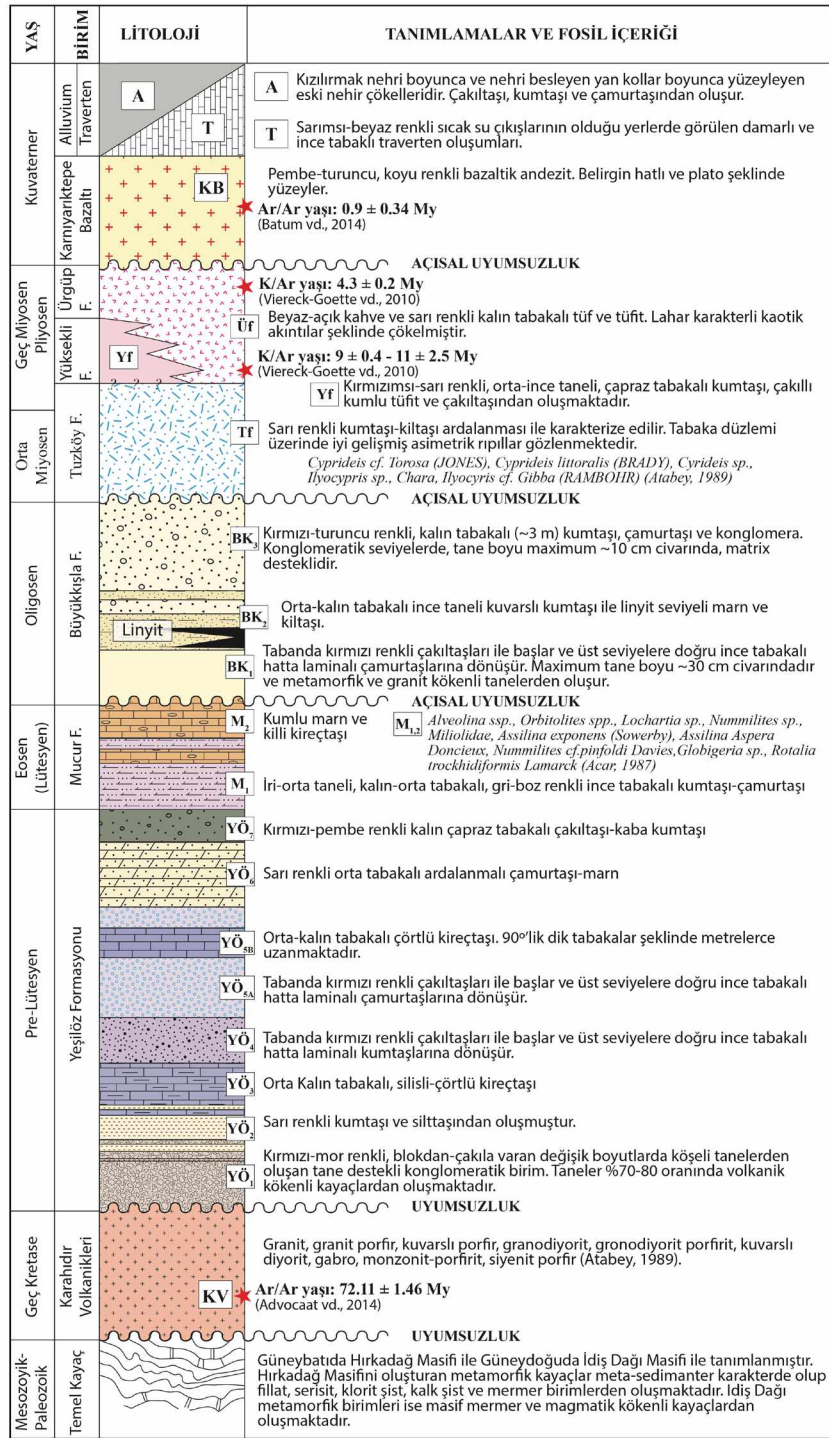
Havzanın güneyini sınırlayan Kızılırmak fayı aynı zamanda Orta Anadolu Volkaniklerinin bulunduğu bölgeyi de kuzeyden sınırlandırmaktadır (Toprak, 1994). Fayın

yükselen bloğu ve düşen bloğu üzerinde gelişen depolanma özelliklerinin ve birimlerin kalınlıklarının farklılık göstermesi, fayın yaşının Ürgüp Formasyonu (Üst Miyosen) ile aynı olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Toprak, 1994, Köksal ve Göncüoğlu, 1997). Arazi çalışmaları sırasında yamalar şeklinde kendini gösteren Kuvaterner yaşlı traverten oluşumları, alüviyal yelpaze ve döküntü depolanması Kızılırmak Fayı'nın hala aktif olduğunu düşündürmektedir. Tüm bu veriler dikkate alındığında çalışma alanının Erken Miyosen'de başlayan ve günümüzde de halen etkin olan K-G yönlü açılmalı tektonik rejimin etkisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 22. Bu çalışma kapsamında, arazi ve uzaktan algılama çalışmalarının entegrasyonu ile oluşturulan final jeoloji haritası.

Figure 22. Final map produced by integration of field studies and remotely sensed data.



**Şekil 23.** Bu çalışma kapsamında, arazi ve uzaktan algılama çalışmalarının entegrasyonu ile oluşturulan genelleştirilmiş litho-stratigrafik kolon kesiti.

**Figure 23.** Generalized lithostratigraphic columnar section produced by integration of field studies and remotely sensed data.



Bununla birlikte, uzaktan algılama çalışmaları ile oluşturulan çizgisellik haritasından (Şekil 7) elde edilen gül diyagramında iki farklı baskın yön dikkati çekmektedir. Bu yönlerden ilki BKB-DGD yönlü iken, diğeri ise neredeyse bir önceki baskın yöne dik konumlanmıştır (KKD-GGB). Bu yönelimlerden ilki, BKB-DGD, ana jeolojik yapılara (örn. Hırkadağ ve İdiş Dağı Masifi) ve özellikle de Kızılırmak Fayı'nın doğrultusuyla paralellik göstermektedir. İkinci çizgisellik yönelimi (KKD-GGB) ise bu kabaca D-B uzanımına sahip olan ve K-G yönlü sıkışmalı rejim ile yükselen bu yapısal unsurlara ve sonrasında ise K-G yönlü açılmalı rejimin etkisinde gelişen Kızılırmak Fayı'na dik olarak gelişen drenaj hatları olarak yorumlanmıştır.

### Bölgesel Çıkarımlar

OAKK, Neotetis Okyanusu'nun kapanması sırasında oluşan metamorfik, ofiyolitik ve magmatik kökenli (95-75 Ma) birimlerden oluşmaktadır. Bu birimlerin tekrar yüzeye hangi mekanizma ile, ne zaman geldiği tartışmalı bir konu iken (Görür vd., 1984; Kaymakçı vd., 2003a ve 2003b; Whitney ve Dilek, 1997; Gautier vd., 2002; Işık vd., 2008; Görür vd., 1998), OAKK'nın kuzeyinde bulunan Pontid bloğu ile Paleosen'de çarpışması Orta Anadolu sedimanter havzalarının (örn. Çankırı, Tuzgölü, Kırıkkale, Sivas, Yozgat-Sorgun vb.) evriminde önemli bir etkiye sahiptir. Tüm bu havzalarda görülen ortak özellikler ise Lütésiyen'de ve yahut sonrasında görülen yoğun bindirmeli/kıvrımlı deformasyonun varlığı ve Lütésiyen sonrasında görülen açılmalı uyumsuzluk ve karasal depolanmadır (Görür vd., 1998). Ayhan Havzası'dan elde edilen litostratigrafi ve deformasyon verileri, Orta Anadolu havzalarında görülen bu ortak özelliklerin Ayhan Havzası için de geçerli olduğunu göstermektedir. Ayhan Havzası'nın tabanında yer alan Üst Kretase yaşlı (72,1±1,5 Ma) magmatik birimlerin üzerine yerleşen Yeşilöz Formasyonu'nun yaşı

kesin olarak bilinmemekle birlikte, Köksal ve Göncüoğlu (1997) birimin yaşını Üst Alt Paleosen-Üst Paleosen olarak belirtirken, Görür vd. (1998) tarafından birimin yaşı Alt Eosen olarak kabul edilmiş ve Paleosen'e karşılık gelen zaman erozyonel dönem olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, sedimantasyon ile aynı yaşlı normal fayların gözlemlendiği (Advokaat vd., 2014) bu Lütésiyen öncesi birim, Kırşehir Bloğu'nun genişlemeli rejim etkisinde yeniden yüzeye gelişinin kurgulanmasında (Gautier vd., 2008; Işık vd., 2008; Işık, 2009; Genç ve Yurur, 2010; Lefebvre vd., 2011, 2015) iyi bir zamansal sınırlama vermektedir.

K-G yakınsamalı levha tektoniği dikkate alındığında, Kırşehir Bloğu'nun kuzeyde Pontidler, güneyde ise Anatolid-Torid Bloğu ile olan ilişkisi önemlidir. Meijers vd. (2010) temelde paleomanyetizma odaklı çalışmasında Pontid Bloğu'nun merkezinde bir oroklin oluşumunun varlığına işaret ederken bu yapının Erken Paleosen'de oluşumunu tamamlamış olduğunu vurgulamaktadır. Bu dönemde ise Ayhan Havzası'nda açılmalı rejim kontrolünde Yeşilöz Formasyonu çökelmektedir. Depolanmanın karasaldan sığ denizel ortama evrilerek kesintisiz olarak Lütésiyen'e kadar devam ettiği dikkate alınırca, Ayhan Havzası'nın Paleosen'deki çarpışmadan etkilenmediğini ve hatta OAKK'nın yüzeye taşınması ile eş zamanlı olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte, Kırşehir Bloğu'nun kuzey ucunda bulunan ve Pontid Bloğu'na doğru at nalı şeklinde bir girinti oluşturan Çankırı Havzası'nın Pontidler'e doğru ilerleyişi iki aşamada Erken Miyosen'e kadar etkinliğini sürdürmüştür (Kaymakçı, vd., 2003b; Kaymakçı vd., 2010). Çankırı Havzası'nın yaklaşık 120 km güneyinde Çiçekdağ Havzası üzerinde yapılan çalışmada (Gülyüz vd., 2013) en eski havza dolgusunun kuzeyden beslenen ve hemen temel üzerine yerleşen Eosen yaşlı karasal (kırmızı kumtaşları ve konglomeralar) kırıntılılar ile başladığı, Eosen yaşlı denizel kireçtaşları ile

devam ettiği ve sonrasında ise yine Oligosen yaşlı tektonizma ile yaşıt, güneyden beslenen kırmızı karasal kıvrıntılar ile istifin sonlandığı belirtilmiştir. Eosen yaşlı birimlerin doğrudan temel üzerinde görülmesi Çiçekdağ Havzası'nın Eosen öncesinde Çankırı ve Ayhan Havzası arasında topoğrafik engel konumunda olduğunu düşündürmektedir. Çiçekdağ Havzası'nda Eosen yaşlı birimlerde kaydedilen ve depolanma ile yaşıt olan kıvrımlı ve bindirmeli deformasyon, Ayhan Havzası'nda Paleosen'den Lütésiyen'e kadar kesintisiz bir şekilde gelen istifi Lütésiyen sonrasında etkilemiştir.

Ayhan Havzası'nın evriminde etkin/baskın olan tektonik sürecin kuzeydeki Pontid-OAKK arasındaki yakınsamalı hareket ile mi yoksa güneyde gerçekleşen OAKK ve Toros kuşağının birbirine yaklaşması ile mi ilişkili olduğunu anlamak için Ayhan Havzası ile OAKK'nın güney ucunda yer alan Niğde-Ulukışla Havzası arasındaki litostratigrafik ve deformasyon geçmişlerinin irdelenmesi gerekmektedir. Ulukışla Havzası da Ayhan Havzası gibi Paleosen'den Eosen'e kadar devamlı bir istife (Güneydağı, Halkapınar ve Ulukışla formasyonları) sahiptir (Demirtaşlı vd., 1975; Gürbüz vd., 2020) ve Ayhan Havzası'nın volkanik içerikli denizel eşleniği olarak kabul etmek mümkündür. Gürer vd. (2016) ise Ulukışla Havzası'nı konu alan çalışmada havzanın evriminde birden fazla tektonik fazın varlığını göstermiştir. Aynı çalışmada, havzanın Paleosen döneminde D-B yönlü gerilmeli rejim etkisinde geliştiğini tanımlamıştır. Benzer gerilme yönü Kırşehir Masifi'ne ait yüksek dereceli metamorfik kayaların sıyrılmaya fayları boyunca yüzeye taşınmasında da etkin olmuştur (Gautier vd., 2002, 2008; Işık vd., 2008; Işık, 2009; Lefebvre vd., 2011, 2015; Seyitoğlu vd., 2017). Kırşehir Bloğu'na ait soğuma yaşı aralığı ise 75-65 My olarak belirlenmiştir (Whitney vd., 2003, 2007; Umhoefer vd., 2007; Gautier vd., 2008; Idleman vd., 2014). Ayhan Havzası'nın tabanında yer alan ve havza dolgusunun (Yeşilöz Formasyonu)

üzerine yerleştiği Üst Kretase yaşlı ( $72,1 \pm 1,5$  Ma) magmatik birimler (Advokaat vd., 2014) muhtelemen Kırşehir Bloğu'nun yüzeylenmesi ile ilişkilidir. Bununla birlikte Orta Anadolu'da etkin olan bu D-B gerilmeli tektonik rejim Eosen başlarında sona ermiş (Gürer vd., 2016) ve sonrasında ise deniz ilerlemesine bağlı Lütésiyen yaşlı denizel kireçtaşları çökelmiştir. Ulukışla Havzası'nda K-G yönlü kısalma Geç Eosen-Oligosen olarak belirlenmiştir (Gürer vd., 2016) ki bu yaş Ayhan Havzası'nda belirlenen kısalma yönü ve zamanı ile aynıdır. Bu stratigrafi ve deformasyon verilerini, Ayhan ve Ulukışla havzalarının Çiçekdağ ve Çankırı havzalarından farklı olarak sıyrılmaya üstü havza olarak geliştiği ve sonrasında ise OAKK ve Toroslar arasındaki yakınlaşmaya bağlı olarak K-G yönlü kısalmaya maruz kaldığı şeklinde yorumlamak mümkündür.

Öte yandan Ayhan Havzası'nın güncel yönelimi ve havza sınırları, Paleosen döneminde etkin olan D-B yönlü gerilme tektoniğinin izlerini taşımamaktadır. Bu durum, Lütésiyen sonrası K-G yönlü kısalma tektoniği ve akabinde gelişen Kızılırmak Fayı ile temsil edilen Geç Miyosen yaşlı gerilme tektoniğinin deformasyon etkilerinin daha baskın olması ile açıklanabilir. Ancak, Lefebvre vd. (2013) temelde paleomanyetizma konulu çalışmada Kırşehir Bloğu üzerinde KKB-GGD uzanımlı İç Toros Okyanusu'nun yitimi ile ilişkili plütönik bir kuşağın varlığına işaret etmiş ve bu yapının Kırşehir Masifi'nin yüzeye taşınmasından (exhumation) sonra doğrultu atımlı faylar ile üçe parçalandığını göstermiştir. Bu faylardan kuzeydeki (Kozaklı-Delice Fay Zonu) Çiçekdağ Havzası yakınından geçerken, diğeri ise Ayhan Havzası'nın güneyinden (Savcılı Fay Zonu) geçmektedir. Parçalanmış masif blokları ise belirgin düşey eksenli dönmeye (rotasyon) maruz kalmışlardır. Bu bloklardan Ayhan Havzası'na en yakın olanı saatin tersi yönünde  $28-35^\circ$  hareket eden Ağaçoören-Avanos bloğudur ve bu bloğun Hırkadağ ile arasında Orta Eosen sonrası rotasyon ile meydana getirdiği kısalma, Advokaat vd. (2014)

en az 17-27 km olarak hesaplanmıştır. Böyle bir kısalmanın, Paleosen'den Eosen'e kadar devamlı bir istifeye sahip olan Ayhan Havzası üzerinde de rotasyonel ve deformasyonel bir etki bırakmasını beklemek yanlış olmaz. Ancak, Çiçekdağ Havzası'nın tektonizma ile yaşıt Eosen istifinde dikkate değer bir rotasyon kaydedilmemiştir (Gülyüz vd., 2013). Bu durumda plütonik bloğun parçalanması kuzeyde Eosen öncesinde tamamlanmış, güneyde ise Eosen sonrasına kadar devam etmiştir.

Çankırı, Çiçekdağ, Ayhan ve Ulukışla havzaları lithostratigrafi ve deformasyon zamanı açısından değerlendirildiğinde, OAKK'nın kuzeyi ve güneyi arasında farklılıklar bulunmaktadır. Tetik mekanizmaları dikkate alındığında, etki alanlarının sınırı ise Çiçekdağ ve Ayhan havzaları arasında bir konumda bulunmaktadır.

### **EXTENDED SUMMARY**

*The Neotethys Ocean reached its maximum size during the early Cretaceous in Turkey and closure of the Neotethys Ocean began during the early late Cretaceous (Şengör and Yılmaz, 1981). This closure is associated with the subduction zones in the Eastern Mediterranean region accommodating the Africa-Eurasian convergence (Şengör & Yılmaz, 1981; Stampfli & Borel, 2002; Robertson, 2004; Okay et al., 2006; Moix et al., 2008). However, the tectonic accommodation of the Africa-Eurasian convergence is more complex and was accommodated by multiple, partly synchronous subduction zones (Stampfli and Borel, 2002; Robertson, 2004; Okay et al., 2006; Barrier & Vrielynck, 2008; Lefebvre et al., 2013; Okay et al., 2013; Gürer and Hinsbergen, 2019; Hinsbergen et al., 2020).*

*In Central Turkey, the consumption of a Neotethys Oceanic branch at the Mesozoic-Cenozoic boundary welded the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) with the northerly*

*Eurasian margin. The Central Anatolian Crystalline Complex (Göncüoğlu et al., 1991) or Kırşehir Block (Görür et al., 1984) is a 200 km \* 200 km \* 200 km, large triangular continental domain exposed in Central Turkey (Göncüoğlu et al., 1991). The CACC consists of several assembled continental fragments which are mainly metasedimentary rock overlain by sparse remnants of Cretaceous ophiolites and sedimentary cover (Göncüoğlu, 1986; Görür et al., 1998; Yalınz and Göncüoğlu, 1998). The best geological records of this assembly of orogenic collage are recorded in the associated syn- and post-collisional sedimentary basins such as the Çankırı, Çiçekdağ, Ayhan and Ulukışla basins from north to south, respectively. The Ayhan Basin, the main concern of this study, developed on the CACC. Producing a well-defined lithological map showing the structural elements of the basin is very important to understand the geological evolution of the Ayhan Basin, and also to determine the spatial and temporal effects of the triggering mechanisms which deform the CACC.*

*For this purpose, optical satellite image (Landsat TM and ASTER) processing techniques (pan-sharpening, resampling, principal component analysis, decorrelation stretching, and band combination), which have widespread application, were used in determination of the lineaments and lithological units having different reflectance values. Following this, detailed lithostratigraphy and geological mapping of the Ayhan Basin were created by field verification.*

*Based on the data obtained from the remotely-sensed data and field verification, the Ayhan Basin was shown to have unconformably developed on the metamorphic rocks, ophiolite, and magmatic intrusions belonging to the CACC (Köksal & Göncüoğlu, 1997; Whitney & Dilek, 2001; Lefebvre et al., 2011, Advokaat et al., 2014). Although the onset of the Ayhan Basin is not known precisely, it must have formed sometime between post-Cretaceous and pre-Lutetian, which*

is the lower and upper age limit of the Yeşilöz Formation. Sedimentary sequence of the Ayhan Basin starts with 1) Yeşilöz Formation (Late Cretaceous-Pre Lutetian), which unconformably overlies the basement unit, and the sequence continues conformably upwards with 2) Mucur Formation (Eocene). This is unconformably covered by 3) Büyükkışla Formation (Oligocene), which is the most widespread unit in the north of the Ayhan Basin. 4) Tuzköy Formation, characterized by yellowish sandstone-claystone alternation, is the Middle-Late Miocene unit in the western part of the basin along the slope of the Hırkadağ Massif. 5) In the northwest of the Ayhan Basin, the Yüksekli Formation (Late Miocene-Pliocene) is observed and it consists of yellow-reddish colored conglomerate-sandstone and claystone alternation. In the south, Ürgüp Formation (Late Miocene-Pliocene) is exposed extensively in the hanging wall of the Kızılırmak Fault and is composed of a fluvial-to-lacustrine sequence interbedded with several pyroclastic levels. These sedimentary packages are entirely overlaid unconformably by horizontal Quaternary units including volcanics, travertines and river deposits.

Implications for the Ayhan Basin indicate that the western margin has a paleo-border character while the southern and eastern borders are tectonic and determined by the Late Cretaceous Karahıdır Volcanics and Hırkadağ-İdiş Massif, that were brought to the surface by the Savcılı Fault Zone. The overlapping of the Yeşilöz Formation over the Hırkadağ Massif and the degrading of the grain size from west (alluvial fan, due to gravitational mass flow) to east (a lacustrine environment) help us to define the proximal and distal areas of the Pre-Lutetian deposition of the basin. In these circumstances, the source area should be located in the west of the basin.

The Mucur Formation contains the geological records of the Eocene period when the marine connection was established. On the other hand, if

the activity of the Savcılı Thrust Fault (Lutetian-Late Oligocene) is taken into account, the global sea-level rise should be considered as the main reason for increasing the accommodation space of the basin. It was noticed during fieldwork that the intensity of the deformation in the Yeşilöz and Mucur formations is different. This difference might be due to the spatial progress of the thrust from north to south (based on the recent location), since there is a conformable relation between the Yeşilöz and Mucur formations.

The lithological characteristics of the Büyükkışla Formation represent the transition of the Ayhan Basin back to the lacustrine environment. The presence of the angular unconformity between the Mucur and Büyükkışla formations and the absence of compressional structures in the Büyükkışla Formation indicate that the strength of the compressional tectonic regime was lost at this time. The fact that the Oligocene sediments are mainly located just north of Ayhanlar village suggests that the paleogeography here was controlled by the depression area that developed just in front of the thrust.

The Kızılırmak Fault, with a normal character limiting the south of the basin, also delineates the northern boundary of the Central Anatolian Volcanics. The difference in depositional characteristics and the thickness of the units deposited on the hanging wall and footwall of the fault suggest that the age of the Kızılırmak Fault is the same as the Ürgüp Formation. Based on this data and field observation, the study area is subjected to the N-S oriented extensional regime that started in Early Miocene and is still active today. Moreover, the lineament map was produced using remotely sensed data. The rose diagram obtained from this map shows the presence of two different dominant orientations (WNW-ESE and NNE-SSW). These are almost perpendicular to each other. The first trend, WNW-ESE, is parallel to the main geological structures (e.g., Hırkadağ and İdiş Massif) and especially to the strike of the

Kızılırmak Fault. The second trend, NNE-SSW, has been interpreted as drainage lines developing perpendicular to the E-W oriented structural features and to the Kızılırmak Normal Fault.

In the context of the Africa-Eurasian convergence, the Izmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (IAESZ) represents the closure of the northern Neotethys Ocean between the Pontides of the southern Eurasian margin and the CACC since at least the Early Cretaceous. The southern triangular part of the CACC is surrounded by belts of high pressure (HP)-low temperature (LT) metasedimentary rocks known as the Tavşanlı and Afyon zones which are the main tectonic zones of the Anatolide-Tauride; this is interpreted to infer the existence of another subduction zone to the south of the CACC, namely, the Intra-Tauride subduction zone. This ocean existed during the Cretaceous to Eocene in the south between the Kırşehir Block and the Taurus Platform.

These subduction mechanisms that triggered the evolution of the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) have been evaluated in a temporal and spatial context by comparing this study on Ayhan Basin with previous studies. Therefore, it is suggested that there are differences between the northern and the southern part of the CACC in terms of lithostratigraphy and deformation. When considering the trigger mechanisms located in the north and south of the CACC, the limit of the deformational domain should be somewhere between the Çiçekdağ and Ayhan basins.

## KATKI BELİRTME

Bu makale, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü FHD-2018-6824 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar, 2018-2019 yaz döneminde yapılan arazi çalışmalarına vermiş olduğu destekten dolayı Kemal KOÇ'a özel teşekkürlerini belirtmektedir.

## ORCID

Ayten Koç  <https://orcid.org/0000-0002-8296-0093>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Advokaat, E. L., van Hinsbergen, D. J., Kaymakcı, N., Vissers, R. L. & Hendriks, B. W. (2014). Late Cretaceous extension and Palaeogene rotation-related contraction in Central Anatolia recorded in the Ayhan-Büyükkişla basin. *International Geology Review*, 56(15), 1813-1836.
- Akgün, F., Olgun, E., Kuşçu, İ., Toprak, V. ve Gönçüoğlu, M. C. (1995). Orta Anadolu Kompleksinin "Oligo-Miyosen" örtüsünün stratigrafisi, çökelme ortamı ve gerçek yaşına ilişkin yeni bulgular. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 6(1), 51- 68.
- Atabey, E. (1989). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. Kayseri-K33 (H19) Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara, 18 s.
- Aydın, N. (1985). Geological evolution of Gümüşkent town and it's surrounding in the Middle Anatolian Massif. *Communications: de La Faculté des Sciences de l'Université d'Ankara, série C1 Géologie*, 31, 43-56.
- Boztağ, D., Turksever, E. Heizler, M., Jonckheere, R. C. & Tichomirowa, M. (2009a). 207Pb-206Pb, 40Ar-39Ar and apatite fission-track geochronology revealing the emplacement, cooling and exhumation history of the Karacayır Syenite (N Sivas), East-Central Anatolia, Turkey. *Turk. J. Earth Sci.*, 18, 109-125. <https://doi.org/10.3906/sag-1202-18>
- Boztağ, D., Jonckheere R. C., Heizler, M., Ratschbacher L., Harlavan Y. & Tichomirova, M. (2009b). Timing of post-obduction granitoids from intrusion through cooling to exhumation in central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 473, 223-233.
- Çağlayan, A. Y. (2010). *Savcılı fay zonunun (Kırşehir) yapısal analizi* [Doktora tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Demirtaşlı, E., Bilgin, A.Z., Erenler, F., Işıklar, S., Sanlı, D.Y., Selim, M. ve Turhan, N. (1975).

- Bolkardağları'nın Jeolojisi. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi (42-57)*. MTA Özel Yayını, Ankara.
- Fayon, A. K., Whitney, D. L., Teyssier, C., Garver, J. I. & Dilek, Y. (2001). Effects of plate convergence obliquity on timing and mechanisms of exhumation of a mid-crustal terrain, the Central Anatolian Crystalline Complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 192(2) 191–205. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00440-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00440-X)
- Fujisada, H., Sakuma, F., Ono, A. & Kudoh, M. (1998). Design and preflight performance of ASTER instrument protoflight model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1152-1160.
- Gautier, P., Bozkurt, E., Hallot, E. & Dirik, K. (2002). Dating the exhumation of a metamorphic dome: geological evidence for pre-Eocene unroofing of the Niğde Massif (Central Anatolia). *Geological Magazine*, 139(5), 559-576. <https://doi.org/10.1017/S0016756802006751>
- Gautier, P., Bozkurt, E., Bosse, V., Hallot, E. & Dirik, K. (2008). Coeval extensional shearing and lateral underflow during Late Cretaceous core complex development in the Niğde Massif, Central Anatolia, Turkey. *Tectonics*, 27(1), <https://doi.org/10.1029/2006TC002089>
- Genç, Y. & Yürür, M. T. (2010). Coeval extension and compression in Late Mesozoic–Recent thin-skinned extensional tectonics in central Anatolia, Turkey. *Journal of Structural Geology*, 32(5), 623-640.
- Gökten, E. & Floyd, P. A. (1987). Geochemistry and tectonic environment of the Şarkışla area volcanic rocks in Central Anatolia, Turkey. *Mineralogical Magazine*, 51, 553-559.
- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, G.M.V., Yalınz, K., Kuşçu, I., Köksal, S. ve Dirik, K. (1993). *Orta Anadolu Masifin batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseninin jeolojik evrimi* (Rapor no: 3313). T.P.A.O. (yayımlanmamış).
- Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, I. & Şengör, A. M. C. (1984). Palaeotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey: sedimentary record of a Neo-Tethyan closure. *Geological Society, London, Special Publications*, 17(1), 467-482.
- Görür, N., Tüysüz, O. & Celal Şengör, A. M. (1998). Tectonic evolution of the central Anatolian basins. *International Geology Review*, 40(9), 831-850.
- Gradstein, F., Ogg, J., & Smith, A. (Eds.). (2005). *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511536045>
- Gülüüz, E., Kaymakci, N., Meijers, M. J., van Hinsbergen, D. J., Lefebvre, C., Vissers, R. L., Hendriks, B. W. H. & Peynircioğlu, A. A. (2013). Late Eocene evolution of the Çiçekdağı Basin (central Turkey): Syn-sedimentary compression during microcontinent–continent collision in central Anatolia. *Tectonophysics*, 602, 286-299.
- Gürbüz, E., Seyitoğlu, G. & Güney, A. (2020). Late Cenozoic tectono-sedimentary evolution of the Ulukışla Basin: progressive basin development in south-central Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 109(1), 345-371.
- Gürer, D., van Hinsbergen, D. J., Matenco, L., Corfu, F. & Cascella, A. (2016). Kinematics of a former oceanic plate of the Neotethys revealed by deformation in the Ulukışla basin (Turkey). *Tectonics*, 35(10), 2385-2416.
- Idleman, L., Cosca, M. A., Heizler, M. T., Thomson, S. N., Teyssier, C. & Whitney, D. L. (2014). Tectonic burial and exhumation cycles tracked by muscovite and K-feldspar  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology in a strike-slip fault zone, central Turkey. *Tectonophysics*, 612–613, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.12.003>
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Di Brozolo, F. R. & Villari, L. (1975). The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data on Kayseri—Niğde area. *Geological Magazine*, 112(4), 349-360.
- Işık, V., Lo, C.-H., Göncüoğlu, C. & Demirel, S. (2008).  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  ages from the Yozgat Batholith: Preliminary data on the timing of Late Cretaceous extension in the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *The Journal of Geology*, 116(5), 510–526. <https://doi.org/10.1086/590922>
- Işık, V. (2009). The ductile shear zone in granitoid of the Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey: Implications for the origins of the Tuzgölü

- basin during the Late Cretaceous extensional deformation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(4), 507–521. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.08.005>
- Işık, V., Uysal, I. T., Caglayan, A. & Seyitoglu, G. (2014). The evolution of intraplate fault systems in central Turkey: Structural evidence and Ar-Ar and Rb-Sr age constraints for the Savcili Fault Zone. *Tectonics*, 33(10), 1875-1899.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective* (No. Ed. 2). Prentice-Hall Inc.
- Kaymakci, N., Duermeijer, C. E., Langereis, C., White, S. H. & Van Dijk, P. M. (2003a). Palaeomagnetic evolution of the Çankırı Basin (central Anatolia, Turkey): Implications for oroclinal bending due to indentation. *Geological Magazine*, 140(3), 343–355. <https://doi.org/10.1017/S001675680300757X>
- Kaymakci, N., White, S. H., Vandijk, P. M. (2003b). Kinematic and structural development of the Çankırı Basin central Anatolia, Turkey): a paleostress inversion study. *Tectonophysics*, 364(1–2), 85–113.
- Kaymakci, N., Özmutlu, Ş., van Dijk, P.M. & Özçelik, Y. (2010). Surface and subsurface characteristics and hydrocarbon potential of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey): integration of remote sensing, seismic interpretation and gravity . *Turkish Journal of Earth Sciences* 19, 79-100.
- Köksal, S. & Göncüoğlu, M. C. (1997). Geology of the İdiş Dağı-Avanos Area (Nevşehir-Central Anatolia). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 119(119), 41-58.
- Köksal, S., Göncüoğlu, M.C., Floyd, P.A. (2001). Extrusive members of Postcollisional A-Type Magmatism in Central Anatolia: Karahıdır volcanics, İdis Dağı – Avanos Area, Turkey. *International Geology Review*, 43, 683-694.
- Lefebvre, C., Barnhoorn, A., van Hinsbergen, D. J. J., Kaymakci, N. & Vissers, R. L. M. (2011). Late Cretaceous extensional denudation along a marble detachment fault zone in the Kırşehir massif near Kaman, Central Turkey. *Journal of Structural Geology*, 33(8), 1220–1236. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.06.002>
- Lefebvre, C., Meijers, M. J. M., Kaymakci, N., Peynircioğlu, A., Langereis, C. G. & van Hinsbergen, D. J. J. (2013). Reconstructing the geometry of central Anatolia during the late Cretaceous: Large-scale Cenozoic rotations and deformation between the Pontides and Taurides. *Earth and Planetary Science Letters*, 366, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.01.003>
- Lefebvre, C., Peters, K., Wehrens, P., Brouwer, F. M. & Van Roermund, H. L. M. (2015). Thermal and extensional exhumation history of a high-temperature crystalline complex (Hırkadağ Massif, Central Anatolia). *Lithos*, 238, 156–173.
- Le Pennec, J. L., Bourdier, J. L., Froger, J. L., Temel, A., Camus, G. & Gourgaud, A. (1994). Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63(1-2), 59-87.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation* (3rd edn). Wiley ve Sons, New York.
- Meijers, M. J., Kaymakci, N., Van Hinsbergen, D. J., Langereis, C. G., Stephenson, R. A. & Hippolyte, J. C. (2010). Late Cretaceous to Paleocene oroclinal bending in the central Pontides (Turkey). *Tectonics*, 29(4). <https://doi.org/10.1029/2009TC002620>
- Moix, P., Beccaletto, L., Kozur, H. W., Hochard, C., Rosselet, F. & Stampfli, G. M. (2008). A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. *Tectonophysics*, 451, 7–39.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2021. <https://terra.nasa.gov/data/aster-data> 08.07.2021.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2021. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/> 08.07.2021.
- Okay A. I., Satır M., Maluski H., Siyako, M. Monié, P., Metzger, R. & Akyüz, S. (1996). Paleo and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. In A. Yin & M. Harrison (Eds.), *The Tectonic Evolution of Asia*, (pp. 420–41). Cambridge University Press, New York.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altınır, S., Altınır, D., Sherlock, S. & Eren, R. H. (2006).

- Cretaceous and Triassic subduction-accretion, high-pressure-low-temperature metamorphism, and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118(9-10), 1247–1269. <https://doi.org/10.1130/B25938.1>
- Pasquare, G. (1968). Geology of the cenozoic volcanic area of Central Anatolia (Provinces of Kayseri and Nevşehir, Turkey). *Atti Accademia Nazionale dei Lincei*, 9(1), 53-204.
- Robertson, A. (2004). Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4), 331–387. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.005>
- Sabins Jr, F. F. (1987). *Remote sensing-principles and interpretation*. WH Freeman and Company.
- Stampfli, G. M. & Borel, G. D. (2002). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1-2), 17-33.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Gürbüz, E. & Gürbüz, A. (2017). The discovery of a low-angle normal fault in the Taurus Mountains: the İvriz detachment and implications concerning the Cenozoic geology of southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26(3), 189-205.
- Temel, A., Gündoğdu, M. N., Gourgaud, A. & Le Pennec, J. L. (1998). Ignimbrites of Cappadocia (central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 447-471.
- Toprak, V. (1994). Central Kızılırmak fault zone: northern margin of Central Anatolian volcanics. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 3, 29-38.
- Umhoefer, P. J., Whitney, D. L., Teyssier, C., Fayon, A. K., Casale, G., Heizler, T. & Heizler, M. T. (2007). Yo-yo tectonics in a wrench zone, Central Anatolian fault zone, Turkey. In S. M. Roeske, A. B. Till, D. A. Foster, J. C. Sample (Eds.), *Exhumation Associated with Continental Strike-Slip Fault Systems*. [https://doi.org/10.1130/2007.2434\(03\)](https://doi.org/10.1130/2007.2434(03))
- Viereck-Goette, L., Lepetit, P., Gürel, A., Ganskow, G., Çopuroğlu, I. & Abratis, M. (2010). Revised volcanostratigraphy of the Upper Miocene to Lower Pliocene Ürgüp Formation, Central Anatolian volcanic province, Turkey. In G. Groppelli, & L. Viereck-Goette (Eds.), *Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas: Geological Society of America Special Paper 464*, 85–112.
- Yalınız, M. K. & Göncüoğlu, M. C. (1998). General geological characteristics and distribution of the Central Anatolian Ophiolites. *Yerbilimleri*, (20), 19-30.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T. & Pniel, M., 1998. Overview of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1062-1071.
- Whitney, D. L. & Dilek, Y. (1997). Core complex development in central Anatolia, Turkey. *Geology*, 25(11), 1023-1026.
- Whitney, D.L. & Dilek, Y. (2001). Metamorphic and Tectonic Evolution of the Hırkadağ Block, Central Anatolian Crystalline Complex. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 1-15.
- Whitney, D. L., Teyssier, C., Fayon, A. K., Hamilton, M. A. & Heizler M. (2003). Tectonic controls on metamorphism, partial melting, and intrusion: Timing and duration of regional metamorphism and magmatism in the Niğde Massif, Turkey. *Tectonophysics*, 376(1–2), 37–60.
- Whitney, D. L., Teyssier, C. & Heizler, M. T. (2007). Gneiss domes, metamorphic core complexes, and wrench zones: Thermal and structural evolution of the Niğde Massif, central Anatolia, *Tectonics*, 26, Article TC5002. <https://doi.org/10.1029/2006TC002040>