



## **Sarıyer Şile Bindirmesi ve İstanbul Paleozoyik İstifinin Yapısal Konumu Hakkında Düşündürdükleri**

*Sarıyer-Şile Thrust and Implications for the Structural Position of the Istanbul Palaeozoic Sequence*

**Okan Tüysüz<sup>1,\*</sup> , Caner Balkaya<sup>1</sup> **

<sup>1</sup> Soyak Enerji Holding, Büyükdere Caddesi No: 38 Mecidiyeköy, Şişli, İstanbul

<sup>2</sup> IC ICTAS İnşaat Tic. ve San. A.Ş.Kumköy (Kilyos) Mahallesi Kilyos Caddesi No:337 Sarıyer/İstanbul

• Geliş/Received: 07.12.2023 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 07.03.2024 • Kabul/Accepted: 03.04.2024  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 03.06.2024 • Baskı/Printed: 31.08.2024

*Araştırma Makalesi/Research Article*

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

**Öz:** Jeoloji literatüründe uzun yıllardır bilinen Sarıyer-Şile bindirmesi İstanbul Paleozoyik istifi ve üzerinde uyumsuz olarak oturan Permo-Triyas yaşlı kayaların kuzeye doğru Üst Kretase yaşlı volkanik, volkanojenik kayaları üzerine bindirmesine neden olmuştur. Kilyos ile Sarıyer arasında inşa edilmekte olan karayolu tünelinin güzergâh araştırmaları kapsamında yapılan sondajların incelenmesi ve yüzeysel jeoloji gözlemleri esnasında bu bindirme boyunca gelişmiş kataklastik bir zonun varlığı belirlenmiştir. Bu zonun kalınlığı üstteki Paleozoyik istifin tabanında sınırlı iken alttaki volkanik-volkanojenik kayalarda güneyde olasılıkla 200 metreye varmakta, kuzeye doğru ise giderek incelişip sıfırlanmaktadır. Olasılıkla Orta Eosen döneminde gelişmiş olan bu sıkışmalı tektonik rejim reolojik olarak farklı olan taban ve tavan bloklarında farklı deformasyonlara neden olmuştur. Düşük açılı bu bindirmenin tavan blokundaki Karbonifer yaşlı grovaklar genellikle yelpaze biçimli, daha seyrek olarak da dupleks bindirmeler vasıtası ile kısalıp kalınlaşmış, taban blokundaki volkanik-volkanojenik istif ise şiddetli bir kataklasizmadan etkilenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstanbul Zonu, İstanbul Paleozoyik İstifi, Kıvrım-Bindirme Kuşağı, Sarıyer-Şile Bindirmesi

**Abstract:** *The Sarıyer-Şile thrust, which has been known for many years in the geological literature, caused the northward emplacement of the Istanbul Palaeozoic sequence and the unconformably overlying Permo-Triassic rocks onto Upper Cretaceous volcanic and volcanogenic rocks. During investigations of drill cores and surficial geological observations, carried out within the scope of route research for a highway tunnel being built between Kilyos and Sarıyer, a cataclastic zone that developed along this thrust was identified. While the thickness of this zone is limited at the base of the overlying Palaeozoic sequence, it probably reaches 200 metres in the underlying volcanic-volcanogenic rocks to the south, and gradually thins and disappears towards the north. This compressional tectonic regime, which probably developed during the middle Eocene period, caused different deformations in rheologically different hanging and footwall blocks along this low angle thrust. Carboniferous graywackes in the hanging block are shortened and thickened by generally fan-shaped thrusts, and less commonly by duplex thrusts, while the volcanic-volcanogenic sequence in the footwall block was affected by intense cataclasis.*

**Keywords:** *İstanbul Zone, İstanbul Palaeozoic Sequence, Fold and Thrust Belt, Sarıyer-Şile Thrust*

## GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı İstanbul İli Sarıyer ilçesi sınırları içerisinde inşası süren Kilyos-Sarıyer tünel güzergahının jeolojik koşullarının araştırılması esnasında elde edilen veriler ışığında literatürde uzun yıllardır Sarıyer-Şile bindirmesi olarak bilinen tektonik zonun ve İstanbul Paleozoyik istifinin yapısal konumunu ve bugünkü yerine yerleşme mekanizmasını tartışmaktır. Güzergâh boyunca yoğun yerleşim ve bitki örtüsünün elverdiği oranda 1:5.000 ölçekli bir jeoloji haritası ve bir jeolojik enine kesit hazırlanmış (Şekil 1), güzergâh boyunca açılmış olan sondajlara ait karotlar incelenmiş ve sınırlı sayıdaki mostralarda yapısal ölçüler alınmıştır.

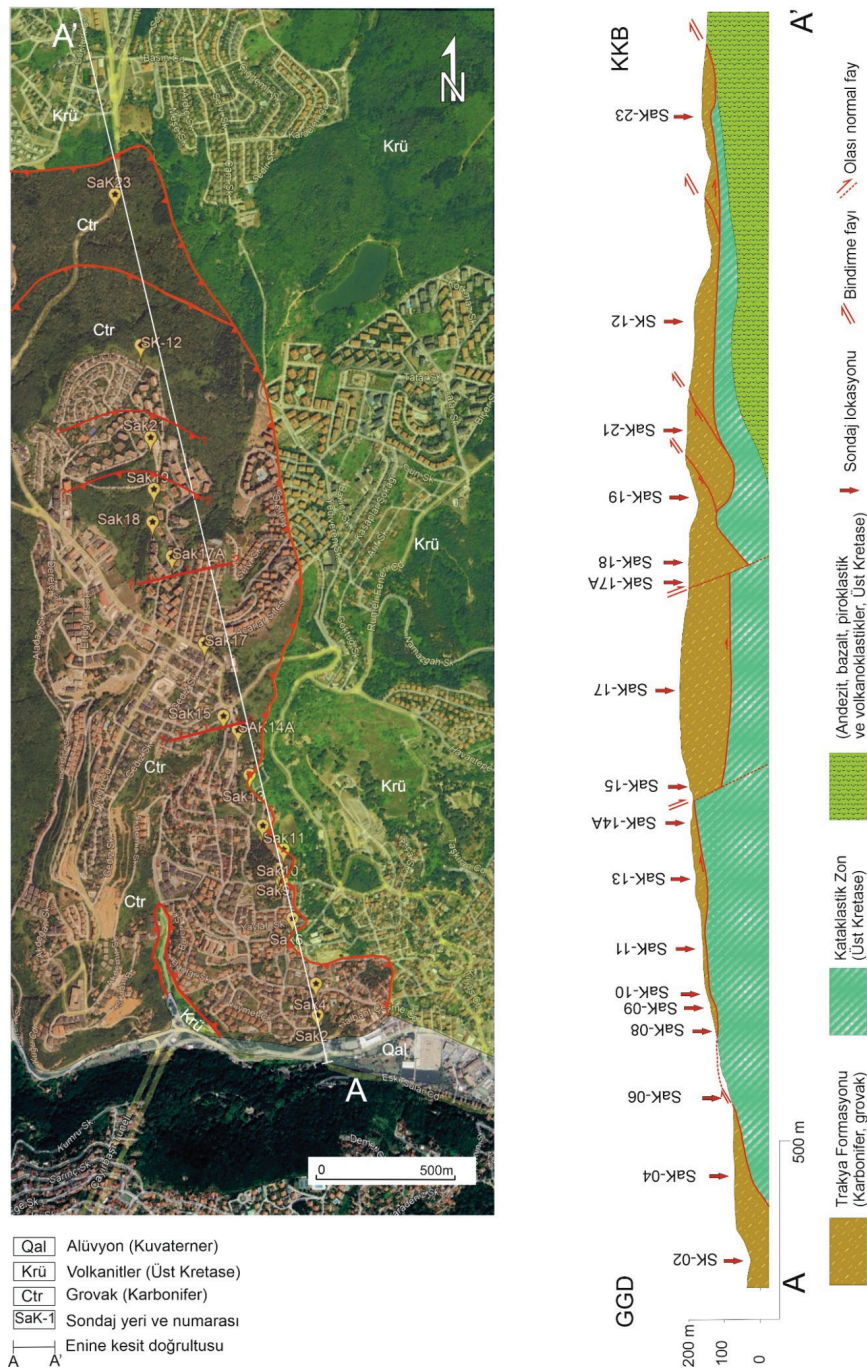
İnceleme alanında yer alan jeolojik formasyonlar İstanbul Paleozoyik istifinin en üst kesimini oluşturan Karbonifer yaşlı allokon türbiditik kırıntılılar (Görür vd., 1997 ve buradaki referanslar) ile Üst Kretase yaşlı bir volkanik topluluktur. Volkanik topluluk kuzeyde Neojen yaşlı karasal kırıntılılar tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Paleozoyik istifi kuzey verjanslı bir bindirme boyunca andezitik, bazaltik ve kısmen dasitik volkanizma ürünü piroklastikler, lav akıntıları, tüfler ve seyrek olarak bunlar içerisinde ara katkılar şeklinde görülen kumlu kireçtaşlarından oluşan volkanik topluluk üzerine bindirmiştir. Bu bindirmenin tavan blokundaki Karbonifer çökellerinin tabanında sınırlı olarak, taban blokundaki volkanik istifin üst kesimlerinde ise güneye doğru etkisi ve derinliği giderek artan şiddetli bir kataklastik deformasyon gelişmiştir. Kataklastik deformasyonun etkisi kuzeye doğru giderek azalır ve tamamen kaybolur. Yüzey mostraları oldukça sınırlı olan sahanın güney kesimlerinde Paleozoyik istifi altında yer alan, kuzeyde ise yaygın mostraları bulunan Üst Kretase yaşlı volkanik birimlerin aşırı ezilme sonucu kataklazitlere dönüşmüş olduğu ilk defa bu çalışma ile ortaya konmuştur. Öte yandan yapısal olarak üstte duran Karbonifer kayalarının

yapısal özellikleri de bindirmenin kinematiğine dair önemli ip uçları sunmaktadır.

## BÖLGESEL JEOLJİ

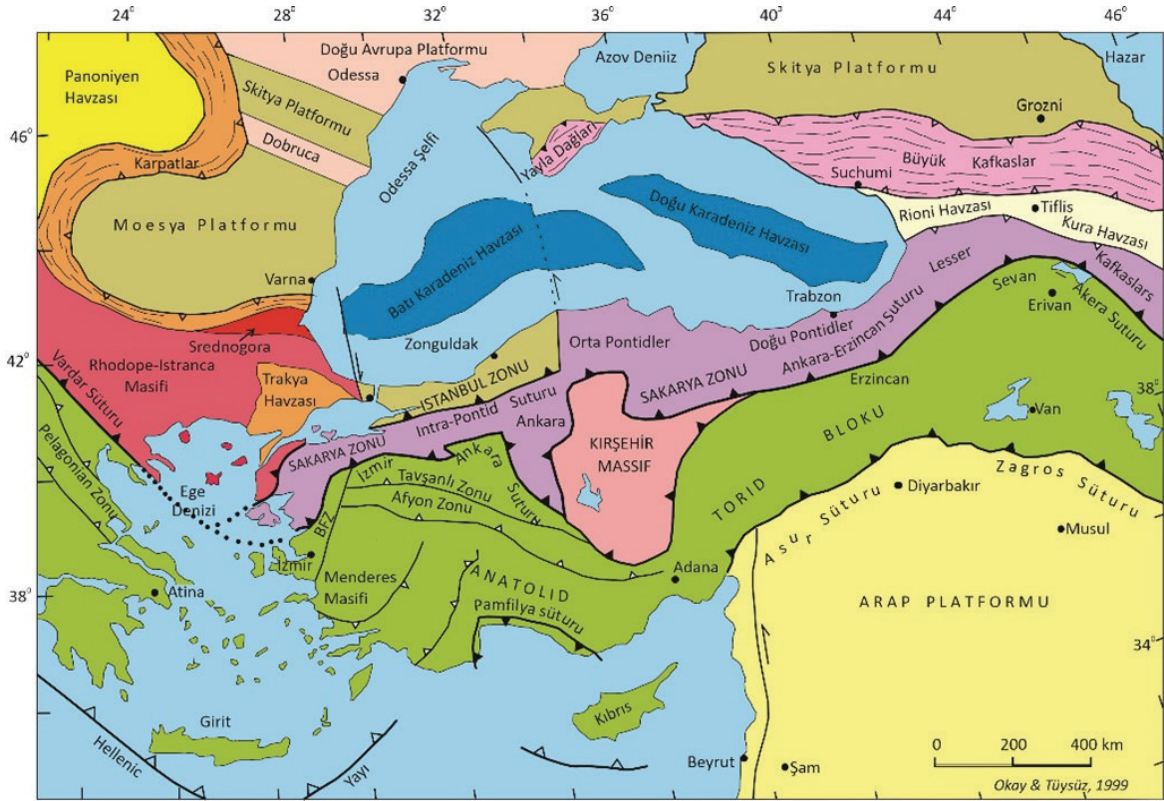
İnceleme alanı Türkiye'nin İstanbul Zonu adıyla bilinen ana tektonik birliklerinden biri üzerinde yer alır (Şekil 2, Okay ve Tüysüz, 1999). Bu zonun temelinde Prekambriyen yaşlı ileri derecede metamorfik kayalar ile onlar üzerinde uyumsuz olarak oturan Ordovisiyen'den Karbonifer'e kadar geçen bir sürede çökelmiş, kalınlığı birkaç kilometreyi bulan transgresif bir çökel kaya topluluğu vardır. Jeoloji literatüründe "İstanbul Paleozoyik istifi" adı ile bilinen bu istif, zonun diğer kesimlerinde otokton nitelikli iken İstanbul'un her iki yakasında da kuzeye doğru Üst Kretase birimleri üzerine bir nap şeklinde yerleşmiş allokon bir kütleyle temsil etmektedir.

İstanbul Paleozoyik istifi (Şekil 3), metamorfik bir temel üzerinde Ordovisiyen yaşlı karasal çökeller ile başlamakta, denizel bir transgresyonu takiben Siluriyen'de sığ denizel kırıntılı ve karbonatlara, Devoniyen'de ise platform karbonatlarına geçmektedir. Bu transgresif istif İstanbul civarında Orta ve Geç Devoniyen'de giderek derinleşen bir ortamda derin denizel çörtlü kireçtaşları ile gelişimini sürdürmüştür. Karbonifer başında karbonat kompensasyon derinliği altına kadar çöken bölge bunu takiben önemli bir tektonik etkiye maruz kalmış, Karbonifer'de türbiditlerin çökeli ile regresif bir nitelik kazanıp giderek sığlaşmıştır (Görür vd., 1997 ve buradaki referanslar). Bu çökelim hikayesi İstanbul Paleozoyik istifinin pasif bir kıta kenarı istifi olduğunu, diğer bir deyişle Ordovisiyen-Karbonifer aralığında kıtasal bir temelin riftleşmesi ile bir okyanusa bakan pasif bir kıta kenarının geliştiğini, Karbonifer'de ise bu okyanusun kapanmaya başladığını göstermektedir.



**Şekil 1.** İnceleme alanının Google® Earth görüntüsü üzerindeki jeoloji haritası ve enine kesiti (Örtü birimleri dikkate alınmamıştır). Bindirme fayları sahada izlenerek haritalanmış, soru işaretli faylar ise sondaj verileri ışığında hipotetik olarak çizilmiştir.

**Figure 1.** Geological map and cross section of the study area on Google® Earth (cover sediments were not taken into account). Thrust faults were observed and mapped in the field, and faults with question marks were drawn hypothetically based on borehole data.



Şekil 2. Türkiye'nin tektonik birlikleri içerisinde İstanbul Zonu'nun konumu (Okay ve Tüysüz, 1999).

Figure 2. Position of the Istanbul Zone within the tectonic units of Turkey (Okay and Tüysüz, 1999).

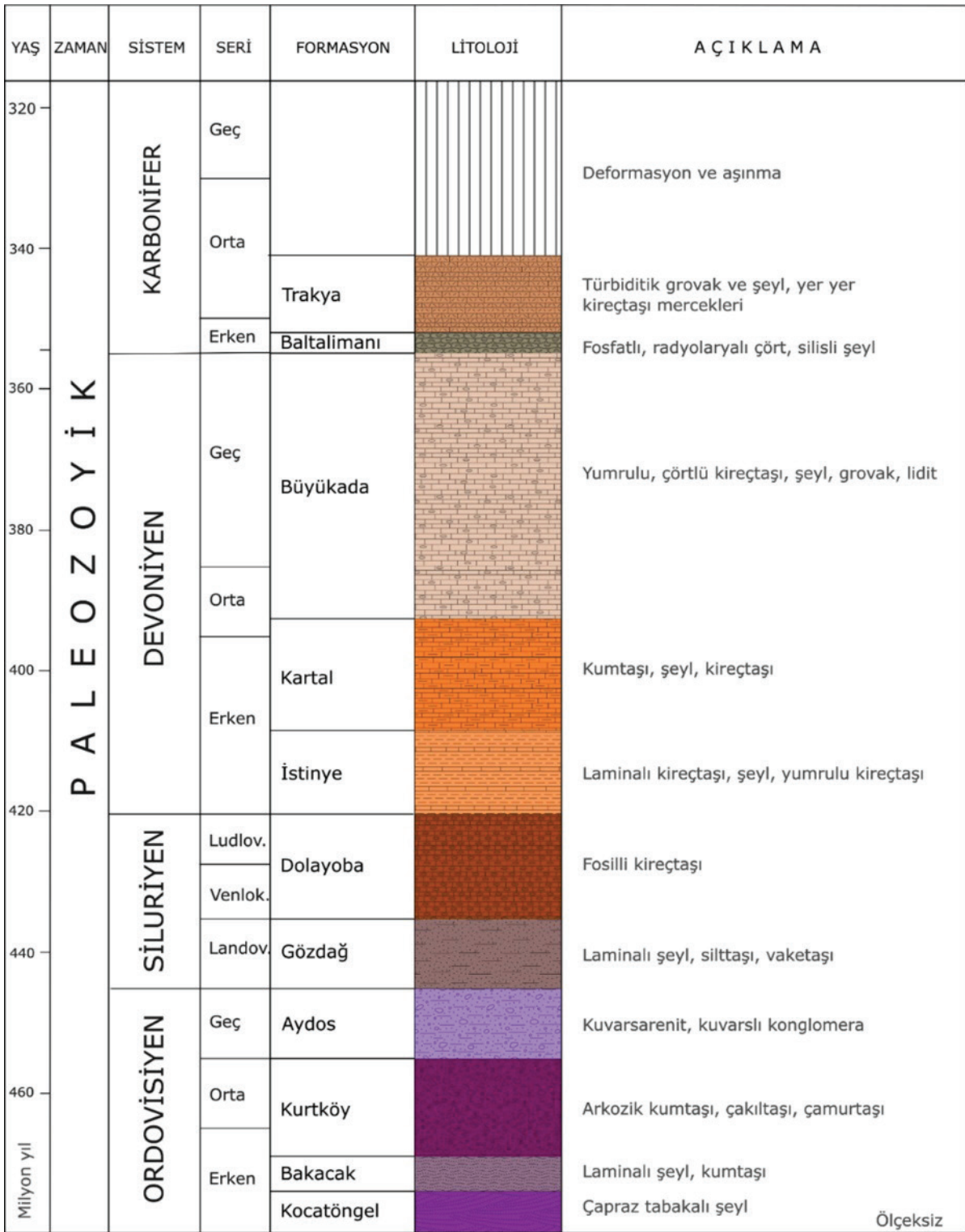
İstanbul Paleozoyik istifini Üst Permiyen ve Üst Kretase plütonik kayalarıyla kesilmekte, stratigrafik ilişkilerinin korunduğu bölgelerde ise birbirlerinden uyumsuzluklarla ayrılan Permo-Triyas, Üst Jura-Alt Kretase, Üst Kretase-Eosen, Neojen ve Kuvaterner çökelleri ile uyumsuz olarak örtülmektedir. Ancak Tersiyer dönemindeki tektonik olaylar bu birincil stratigrafik ilişkileri çoğu yerde etkilemiş ve tektonik nitelik kazandırmıştır.

## STRATİGRAFİ

İnceleme alanının güney kesimlerini kaplayan ve İstanbul Paleozoyik istifinin en üst birimini oluşturan Erken-Orta Karbonifer yaşındaki (Önalın, 1982) Trakya Formasyonu (Tüysüz

vd., 2004) incelenen alan içerisindeki (Şekil 1 ve 3) yegâne Paleozoyik birimidir ve bu alan içerisinde yüzeysel çökeller dışında altı ya da üstünde stratigrafik ilişkili başka bir birim bulunmamaktadır.

Tüysüz vd. (2004) Batı Karadeniz'deki Üst Kretase birimlerini Kuzey ve Güney Kuşak içerisinde ele almış, İstanbul'un kuzey kesimlerini de kapsayan Kuzey Kuşak'taki volkanik kayalar açısından egemen birimleri Yemişliçay Üst Grubu içerisinde ele alarak bunun içerisinde de Kurucaşile ve Amasra Grubu'nu ve bu grupları oluşturan çok sayıda formasyonu ve üyeyi tanımlamışlardır. Ancak İstanbul'un kuzeyindeki volkanik ve ilişkili kayalar Batı Karadeniz'in diğer kesimleri kadar yaygın değildir ve çok fazla litolojik ayrıtlar içermezler.



Şekil 3. İstanbul Paleozoyik istifinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.

Figure 3. Generalized stratigraphic section of the Istanbul Palaeozoic sequence.

Yenirol ve Ercan (1989/1990) tarafından (1) konglomera, (2) volkanik kırıntılı kumtaşı ve marn ve (3) volkanik kayalar olarak haritalanmış olan bu birimler Keskin vd. (2003 ve 2010) tarafından ise Kavaklar grubu olarak adlandırılmış ve içerisinde birbirleri ile uyumlu (1) Bozhane, (2) Garipçe ve (3) Kısırkaya formasyonları ayrıtlanmıştır. Keskin vd. (2003)'ün tanımına göre Bozhane formasyonu başlıca silisiklastik türbiditlerden; Garipçe formasyonu ise moloz akıntısı ürünü volkanoklastik çökeltme üniteleri, hyaloklastitler, volkanik breş, epiklastik kumtaşı ve az oranda lav akıntularından oluşur. Garipçe formasyonunun üst düzeylerine doğru tane boyu ve tabaka kalınlıkları incilir ve en üstteki Kısırkaya formasyonunun olivinli bazaltik lavları ve bunların epi- ve piro-klastiklerine geçilir. Keskin vd. (2003)'ün Kavaklar grubu olarak tanıttığı kayalar Yavuz ve Yılmaz (2010) tarafından ise tek bir formasyon olarak ve Sarıyer formasyonu adı altında tanımlanmıştır.

Bu birimler Kilyos-Sarıyer tüneline yönelik önceki çalışmalarda ise Garipçe formasyonu adı altında, içerisinde başka bir ayırt yapılmaksızın ele alınmışlardır. İstanbul Paleozoyik istifine sokulmuş olan Üst Kretase yaşlı Çavuşbaşı plütunu (Bürküt, 1966; Yılmaz-Şahin vd., 2012; Aysal vd., 2017; Ülgen vd., 2022) ile Paleozoyik istifine sık sık sokulmuş olan daykların da (en azından bir kısmının) bu volkanitlerle ilişkili olduğu kabul edilmektedir (Ülgen vd, 2022 ve buradaki referanslara bakınız). Gedik vd. (2005) ise Üst Kretase istifini Teksen, İshaklı ve Riva formasyonlarına ayırmışlardır. Teksen ve İshaklı formasyonları Keskin vd. (2003)'ün Bozhane formasyonuna, Riva formasyonu ise Garipçe ve Kısırkaya formasyonlarına karşılıktır.

İnceleme alanındaki Üst Kretase volkanik kayaları litolojik özellikleri açısından Keskin vd. (2003)'nin Garipçe ve Kısırkaya formasyonlarına karşılıktır. Ancak kataklasizma ve tektonizmanın orijinal stratigrafiyi bozmuş olması ve inceleme alanında mostralara çok sınırlı olması nedeniyle

inceleme alanında bu formasyon ayrıtlarını yapmak mümkün olmamıştır. Bu nedenle zaten resmi olmayan bu ayrıtlar göz ardı edilmiş, tüm volkanik kayalar önceki çalışmalara da uyumlu kalmak adına Garipçe formasyonu kapsamında ele alınmış ve içlerinde “Kataklastik kayalar”, “Lav ve piroklastik kayalar” ve “Kireçtaşları” olmak üzere litoloji esasına dayanan üçlü bir ayırda gidilmiştir. Volkanik istif içerisinde farklı stratigrafik seviyelerde Kaya (1971) tarafından Sarıyer kireçtaşı olarak tanımlanmış olan ince mikritik kireçtaşı ya da volkanik kırıntılı kireçtaşı seviyeleri vardır, ancak bunlar haritalanabilecek yayılıma sahip değildir. Tüm bu birimler kuzeyde Neojen yaşlı karasal-gösel çökeller ve diğer daha genç çökeller ile örtülmektedir.

### **Trakya Formasyonu**

Trakya Formasyonu'nun (Hochstetter, 1870; Penck, 1919; Kaya, 1971; Görür vd., 1997; Tüysüz vd., 2004) alt düzeyleri killi şeyl ve az oranda da kumtaşından oluşur. Birimde egemen litoloji orta-kalın katmanlı kumtaşı ve şeyl araldanmasıdır. Ancak bazı alanlarda kumtaşları ve diğer bazı kesimlerde ise şeylin egemen olduğu görülür. Kumtaşları genellikle grovak niteliğinde olduğundan bu formasyon için “Grovak Serisi” ya da “İstanbul Grovakı” gibi gayri resmi tanımlar da kullanılmaktadır. Trakya Formasyonu İstanbul'un Avrupa yakasında Eyüp, Kağıthane, Ayazağa gibi alanlarda geniş yayılım gösterir, Anadolu yakasında ise yayılımı sınırlıdır. Heybeliada, Kartal ve Cebeciköy dolaylarında istif içinde yer yer kireçtaşı bant ve mercceklerine de rastlanır. Birim Geç Turneziyen- Geç Vizeen dönemine ait fosiller içermektedir (Abdüsselamoğlu 1963; Kaya ve Mamet 1971; Mamet 1973). Trakya Formasyonu'nun kırıntılıları içerisindeki kalınlığı yer yer 100 m'yi aşan ve Cebeciköy kireçtaşı olarak bilinen karbonatlar intrasparudit ve biyosparudit nitelikli olup bazı kesimlerde killi ve dolomitiktir (Kaya,1968). Bunlar kumtaşı ve şeyller içinde yanal devamı pek fazla olmayan merccekler şeklindedir. Bunun yanı sıra istif içinde altta

seyrek olarak görülen kaba kırıntılı kesimler de alttan üste doğru kalınlık ve miktar olarak artarlar. Bu verilere dayanılarak Trakya Formasyonu'nun üste doğru sığlaşan (regresif) bir türbidit istifini temsil ettiği genel olarak kabul görmektedir.

Birimin inceleme alanındaki başlıca mostraları Çayırbaşı tünelinin kuzey çıkışında ve Maden Mahallesi'nden Zekeriyaköy'e kadar bazı sınırlı alanlarda izlenir (Şekil 1). Birim ileride değinileceği gibi hemen hemen her yerde makaslamalı, ezik, kıvrımlı, kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahiptir.

Trakya Formasyonu, sarı, kahverengimsi sarı, pas renkli, taze yüzeylerde ise koyu yeşilimsi gri renkli kumtaşı, siltli kumtaşı ve bunlarla ardalanmış lamine şeyllerden oluşur. Tane boyu değişkenlik göstermekle birlikte tüm bu birimler mineralojik olarak bol serisit pulları ve feldspat içerirler. Kumtaşlarının başlıca türleri arkozik grovak, felspatik grovak, litik grovak ve kuvars vake türü kayalardır. Birim yer yer farklı kalınlıktaki tümüyle ayrılmış andezit ve diyabaz daykları tarafından kesilmektedir.

Trakya Formasyonu'nun kırıntılıları türbidit akıntılıları ile oluşturulmuştur. Bu nedenle tabaka altları aşınmalı ve tabaka içleri derecelenmelidir. Türbiditik istiflerin karakteristik yapısı olan Bouma serilerini bu istif içerisinde kısmen tanımak mümkündür. Nispeten kaba taneli türbiditik grovak tabakaları 5-20 cm kalınlıkta olup yer yer lamine şeyller ile ardalanırlar. Birim çoğu zaman yüzey koşullarında ya da kırık hatları boyunca ayrılmıştır. Ayrışma yüzey koşullarında birimin tümüyle kil ve silt yığınlarına dönüştüğü rezidüel toprak oluşumuna kadar uzanabilmektedir. Baykal ve Kaya (1963), Kaya (1971) gibi araştırmacılar Trakya Formasyonu'nu 6 farklı üyeye ayırmışlarsa da çalışmanın amaçları, çalışma alanının sınırlı olması ve mostra azlığı yüzünden bu ayırtları tanımlamak bu çalışmada mümkün olmamıştır.

Trakya Formasyonu'nun orijinal kalınlığı uğramış olduğu tektonik etkiler yüzünden net olarak ölçülemediği de 2000 metreye varan

bir kalınlığa sahip olduğu, bu kalınlığın da tektonik etkilerle çok daha fazlaya ulaştığı tahmin edilmektedir. Yalçınlar (1951) bu istifin üst kesimlerinde Vizeen yaşlı Cebeciköy kireçtaşının varlığını, Kaya (1971) ise Trakya Formasyonu'nu altta transgresif, üstte ise regresif bir çökel istifi olduğunu belirtmiştir.

Akdemir sokak yol yarmasında (35T 670966/4560798<sup>1</sup>) tabakalı şeyller ve yer yer de orta kalın tabakalı grovak ardalanmasından oluşan birim içerisinde çok sayıda yelpaze biçimli bindirme fayı vardır (Şekil 4). Bir bindirme diliminde birim kalın tabakalı iken diğer dilimde ince tabakalı, bir başkasında ince-kaba taneli ardalanması şeklindedir. Bu durum söz konusu bindirmelerin atımının yüksek olduğunu ve buna bağlı olarak da deformasyonun şiddetli olduğunu işaret etmektedir. Şekil 4'te gösterilen fayların eğimi güneybatıya doğru azalarak yataylaşmakta, kuzeydoğuya ve yukarı doğru ise artmaktadır. Bu durum söz konusu fayların altta yatay ya da düşük açılı sıkışmalı bir sıyrılmaya (detachment) fayına bağlandığını işaret etmektedir. Açıları değişken olmakla birlikte tüm bindirmelerin verjansı güneybatıdan kuzeydoğuya doğrudur.

Trakya Formasyonu'nun bir diğer karakteristik mostrası Kilyos Caddesi üzerinde Nalbantçeşme otobüs durağına yakın olarak (35T 671422/4561375) izlenir (Şekil 5). Bu mostranın 50 m kadar doğusunda Trakya Formasyonu Üst Kretase volkanitleri üzerine bindirmektedir. Bu bindirme etkisi ile Trakya Formasyonu içerisinde de çok sayıda kırık sistemi ve faylar gelişmiştir (Şekil 5). Bu noktada K 45-50 B doğrultulu ve 15-20° GB ya eğimli iki düşük açılı bindirme düzlemi vardır. Bindirme düzlemleri boyunca 5 cm kadar ezik ve aşırı ayrılmış grovaklar vardır. İki yatay bindirme arasında K 45-50 B doğrultulu ve 55-60 GB eğimli ikincil bindirme düzlemleri vardır.

1 Bu makalede tüm koordinatlar WGS 84 , Universal Transversal Merkator projeksiyonuna göre verilmiştir.



**Şekil 4.** Akdemir sokak yol yarmasında Trakya Formasyonu'nun grovıkları içerisinde yelpaze biçimli bindirme fayları izlenmektedir. Bindirme düzlemleri ile sınırlanan grovıkların tane boyu ve tabaka kalınlığı açısından çok farklı olması bu bindirmelerin atımının yüksek olduğunu işaret etmektedir.

*Figure 4.* Fan-shaped thrust faults are observed within the graywackes of the Trakya Formation in the Akdemir street road cutting. The graywackes bounded by thrust planes are very different in terms of grain size and layer thickness, indicating that the offsets of these thrusts are high.



**Şekil 5.** Kilyos caddesi Nalbantçeşme civarında Trakya Formasyonu içerisinde gelişmiş dupleks bindirme yapıları. İki adet yatay ana bindirme düzlemi ve bunlar arasındaki tali dupleks yapıları izlenmektedir.

*Figure 5.* Duplex structures developed within the Trakya Formation around Kilyos street, Nalbantçeşme. Two horizontal main thrust planes and secondary duplex structures between them are observed.

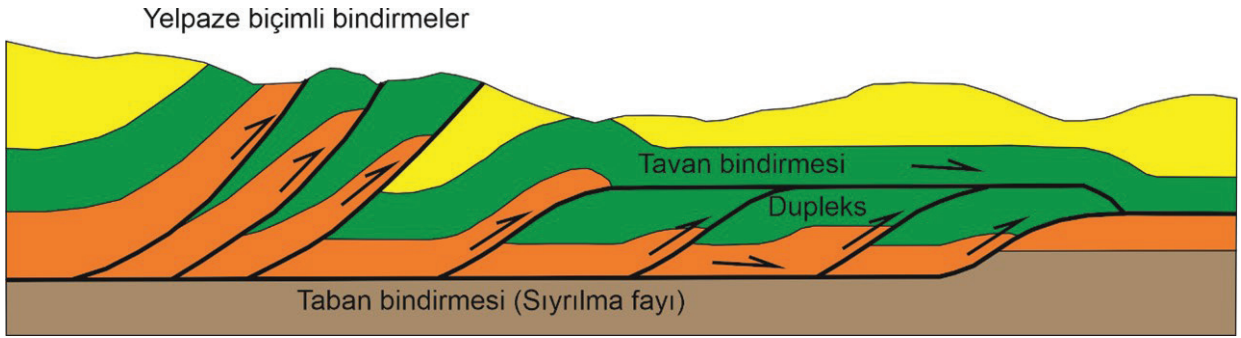
Şekil 4 ve 5'te verilen bindirme stilinin çok sayıda örnekleri Karadeniz kıvrım ve bindirme kuşağı boyunca ortaya konmuş, gelişme mekanizması ve nedenleri Sunal ve Tüysüz (2002) tarafından detaylı olarak tanıtılmıştır. Buradaki örnekler ile kıyaslanırsa:

- 1- Şekil 4'te verilen yelpaze biçimli bindirme düzlemleri genel olarak alttaki bir büyük bindirme düzlemine bağlı olarak gelişmektedir. Alttaki bu düşük açılı ya da yatay bindirme düzlemi sahada izlendiği gibi Trakya Formasyonu'nun Üst Kretase volkanitleri üzerinde yataya yakın bir biçimde ilerlediği dokanak olmalıdır.
- 2- Şekil 5'te yataya yakın iki bindirme düzlemi arasında gelişen dupleks yapılar, bindirmelerin ilerlemesi esnasında iki ana bindirme düzlemi arasında gelişmiş tali bindirmelerdir. Bu bindirme mekanizmalarının teorik yapısı Şekil 6'da verilmektedir.

Yukarıda tanıtılan iki küçük mostra Trakya Formasyonu'nun bölgedeki jeolojik yapısı ile ilgili önemli ipuçları vermektedir. Buna göre

- 1- Trakya Formasyonu, türbidit istifinin farklı kesimlerinin tektonik olarak dilimlenip birbirini üzerine bindirmesi ile kalınlaşmıştır. Bu nedenle farklı dokusal özelliklere sahip birimler tektonik düzlemler boyunca bir araya getirilmişlerdir. Bu jeolojik yapı saha gözlemlerimize göre santimetrik ve desimetrik ölçekten hektometrik belki de daha büyük ölçeğe kadar değişen boyutlara sahiptir, ancak mostra koşulları bunların detaylı olarak haritalanmasını imkânsız hale getirmektedir. Trakya Formasyonu içerisinde kalın-orta kalın tabakalı kumtaşları ile çok ince tabakalı hatta laminalı şeyller vardır. Kaba taneli ve kalın tabakalı kesimlerin gerek basınçlara gerekse ayrışmaya daha dayanımlı, ince taneli ve ince tabakalı kesimlerin ise daha zayıf olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Trakya Formasyonu içerisinde birbirinden tektonik hatlarla ayrılmış farklı fiziksel ve





**Şekil 6.** Kıvrım-bindirme kuşaklarında görülen bir taban bindirmesi (sıyrılmaya fayı) üzerinde gelişen yelpaze biçimli ve dupleks bindirmeler. Bu yapılar kıvrım-bindirme kuşaklarının karakteristiğidir. Şeklin sol tarafını Şekil 4, sağ tarafını ise Şekil 5'te verilen yapılar ile karşılaştırınız.

**Figure 6.** Fan-shaped and duplex thrusts developed on a basement thrust (detachment fault). These structures are characteristics of fold-thrust zones. Compare the left side of the figure with structures given in Figure 4 and the right side with structures given in Figure 5.

mekanik özelliklere sahip kesimlere yan yana rastlanılabilmektedir. Tektonik hatlar sahada tabakalanmaları kesmesi durumunda kolay tanınabilirken dupleks bindirmelerde sık görülen tabaka düzlemi boyunca uzanan hatlar ise detay yapısal jeolojik çalışmalar olmaksızın gözden kaçabilmektedir.

- 2- Trakya Formasyonu içerisindeki faylar boyunca tabakalara paralel ya da açılı ezik zonlar gelişmiştir. Bu ezik zonlarda kaya aşırı kırıklı hatta yer yer yapraklanmalı bir yapıdadır.
- 3- Fay/kırık zonları ayrışmanın yoğun olduğu bölgelerdir. Ayrışma kayada yaygın olarak bulunan feldspatın kil minerallerine dönüşmesine neden olmakta, bu da kırık ve çatlakların dolgulu bir yapı kazanarak gözden kaçmasına neden olmaktadır.

Kuzeyde grovakların Üst Kretase volkanitleri üzerine bindirdiği kesime yaklaştıkça grovak içerisinde gerek sistematik olan gerekse rastgele gelişmiş kırıklar ve fayların sayıca arttığı dikkat çeker. Kuzey verjanslı bindirme düzlemi boyunca gerek tavan gerekse taban blokları içerisinde şiddetli bir ayrışma gelişmiş, çoğu yerde bu

ayrışma nedeniyle tabakalanma ve çatlaklar hatta bindirme düzleminin kendisi bile silinmiştir.

Trakya Formasyonu'nun İstanbul jeolojisinde iyi bilinen bir özelliği andezit ve diyabaz daykları tarafından kesilmiş olmasıdır (Şekil 7). Birim içerisine sokulmuş olan bu dayklar genellikle birkaç cm'den birkaç metreye varan kalınlıklarda olup sokulum yapan volkanitler genellikle önemli oranda ayrışmış, hatta çoğu yerde tümüyle killeşmişlerdir. Andezit dayklarının çeperlerinde genellikle kayda değer bir başkalaşım, örneğin kontakt metamorfizma ya da pişirme etkisi görülmez. Bu da andezitlerin oldukça sığ seviyelere kadar yükselmiş olduğunu göstermektedir. Aysal vd. (2017)'nin İstanbul'daki dayklardan yaptıkları zirkon U-Pb yaş tayinleri Kampaniyen-Tanesiyen zaman aralığını göstermektedir, ancak inceleme alanındaki dayklardan yapılmış bir yaş tayini yoktur. Daykların Paleozoyik istifine içerisine bindirme öncesi mi yoksa sonrası mı yerleştiğine dair bir veri de gözlemlenmemiştir.



**Şekil 7.** Çayırbaşı tüneli Sarıyer çıkışı batısındaki Dereiçi sokak üzerindeki mostrada (35T670673/4560004) Trakya Formasyonu grovackları içerisine sokulmuş andezit daykı.

*Figure 7.* Andesite dyke intruded into the graywackes of the Trakya Formation in the outcrop on Dereiçi street (35T670673/4560004), west of the Sarıyer exit of the Çayırbaşı tunnel.

### Garipçe Formasyonu

Üst Kretase volkanik topluluğunun tipik mostraları Rumeli Kavağı, Garipçe ve Rumeli Feneri civarlarında izlenir. İnceleme alanının güney kesimlerde Çırçır deresi içerisindeki tektonik pencerede ve kuzeye doğru Sarıyer-Zekeriya köy yolu üzerinde Karbonifer kayaları altında izlenen volkanitler (Şekil 1) Keskin vd. (2003)'nin tanımladığı üç formasyondan da farklıdır, çünkü bunlar hem aşırı ezik (kataklastik) hem de neredeyse tümüyle ayrılmıştır. Buna karşılık Zekeriya köy'den Kilyos'a giderken kuzeye doğru giderek belirginleşen ve Kısırkaya formasyonu ile denestirilebilecek nitelikte lavlar ve piroklastik kayalar vardır.

Keskin vd. (2010)'nin İstanbul'daki Üst Kretase istifinin görülür en alt birimi olarak tanıttığı Bozhane formasyonu silisiklastik bir türbidit istifidir. İstifteki kumtaşları koyu yeşilimsi, ayrılmış kesimlerde sarımsı, kızılımsı, altta kaba, üstte ince taneli, yer yer yaygın mika ve feldspat tanelidir. Kumtaşları ile ardalanmış santimetrik

ya da desimetrik kalınlıktaki şeyl katmanları genellikle ayrılmıştır. İstifin kalınlığının 250 m'den fazla olduğu tahmin edilmektedir. Bu birim inceleme alanında gözlenmemiştir.

Keskin vd. (2010) türbiditlerin üzerine volkanoklastik kırıntılı kayalar, hyaloklastitler, volkanik breşler, epiklastik kumtaşları ve daha seyrek lav akıntılarında oluşan 2000 m'den daha kalın Garipçe formasyonunun geldiğini belirtmişlerdir. İnceleme alanındaki kataklastik kayalar olasılıkla bu birimin eşdeğeridir. Bu volkanoklastik-piroklastik istifi üste doğru olivinli bazaltik lavlar ile ve bunların epi- ve piroklastiklerinden oluşan lav egemen bir birim olan Kısırkaya formasyonuna geçer. İnceleme alanındaki Üst Kretase volkanik kayaları için Garipçe formasyonu kapsamında "Kataklastik kayalar", "Lav ve piroklastik kayalar" ve "Kireçtaşları" olmak üzere litoloji esasına dayanan üçlü bir ayırda gidilmiştir.

Keskin vd. (2003) ve Keskin ve Tüysüz (2018) jeokimyasal verilere dayanarak Üst Kretase volkanik-volkanojenik birimlerini oluşturan volkanizmanın zaman içinde litosferik kaynaktan türeyenden astenosferik kaynaktan türeyene doğru bir evrim geçirmiş olduğunu ve bu topluluğun bir yay volkanizması olarak başlayıp Batı Karadeniz Havzasının riftleşmesi sonucu bir yayardı havza açılmasına doğru evrildiğini belirtmişlerdir. Volkanitlerin yaş ve köken sorunları için söz konusu yayınlara ve buradaki referanslara başvurulması önerilir.

### Kataklastik Kayalar

Orojenik bölgelerde tektonik hareketlerin yarattığı basınçlar etkisiyle kayalarda veya kaya oluşturan minerallerde ortaya çıkan deformasyon bunların elastik limitlerini geçerse, kaya ve/veya mineraller kataklastik ya da kataklastik adı ile bilinen mekanik deformasyona uğrar, kırılır, ufalanır, daha ileri aşamalarda ise yeniden kristallenir ve/

veya içlerinde metamorfizma mineralleri gelişir. Kataklastik kayalar oluştuğu ortamın derinliği, sıcaklığı, ortamda mevcut sıvıların kimyası ve kökenlerini oluşturan orijinal kayaların niteliğine bağlı olarak farklı dokuda ve mineralojik bileşimde olabilirler. Kataklastik deformasyonun gelişiminde fayların önemi büyüktür. Yüksek açılı ve yüzeye ulaşmış faylarda ezilme/deformasyon faya yakın alanlarla sınırlı ve kırılğan iken sıyrılmaya türü düşük açılı faylarda ezilme zonunun kalınlığı fayın hareket ettiği derinliğe bağlı olarak yüzlerce metreyi veya daha fazlasını bulabilir. Daha derin faylarda ise sıcaklık artışı (jeotermal gradyan ve sürtünme ısı) yeterli ise kırılğan deformasyon yerini sünek makaslamaya bırakır.

Higgins (1971) kataklastik kayaları kohezyonlu ve kohezyonsuz olarak iki sınıfa ayırmıştır. Fay breşi ve fay kili olarak adlanan kohezyonsuz kataklastik kayalar sığ fay düzlemleri içerisinde ya da yakınında gelişirler. Scholz (1990) bu sınıfa ilave olarak foliasyonlu fay kilini tanımlamıştır. Kohezyonlu kayalar ise ufalanma/ezilme miktarı ile kataklazis sonucu oluşan rekristalizasyonun/yeni minerallerin varlığı ve bağlı oranına göre kendi içlerinde iki sınıfa ayrılmıştır. Rekristalizasyona uğrayan/yeni gelişen mineraller egemen ise bu metamorfik kayalar milonit gnays veya blastomilonit olarak tanımlanırlar. Bu tür kayalar genellikle kabuğun derin kesimlerinde gelişmektedir. Metamorfizma minerali gelişimi/rekristalizasyonun olmadığı ya da egemen olmadığı kayalar ise kataklastik foliasyonun (akma yapılarının) varlığına, klast boylarına ve hacimsel oranına göre sınıflanırlar. Foliasyonsuz kayalar mikrobreş ve kataklazit, foliasyonlu kayalar ise protomilonit, milonit ve ultramilonit sınıflarına ayrılırlar. Sibson (1977) ise kataklazitleri matriks oranına bağlı olarak protokataklazit (%10-50), milonit (%50-90) ve ultrakataklazit (>%90) olarak sınıflamıştır. Anılan tüm kaya türleri arasında dereceli geçişler olağandır.

Garipçe formasyonu ile yapısal olarak onun üzerinde yer alan Trakya Formasyonu arasındaki tektonik dokanak çalışma alanı içerisinde yüzeyde net olarak sadece bir noktada, Çırçır suyu çeşmesi civarındaki tektonik pencerede görülmektedir (Şekil 8, 35T 671025/4560577). Burada altta yer alan volkanik kayalar tümüyle ayrılmış ve killeşmiştir. Buna rağmen yer yer köşeli, çevresi kil boyu matriks ile sarılmış budenleşmiş kaya kırıntıları izlenmektedir.

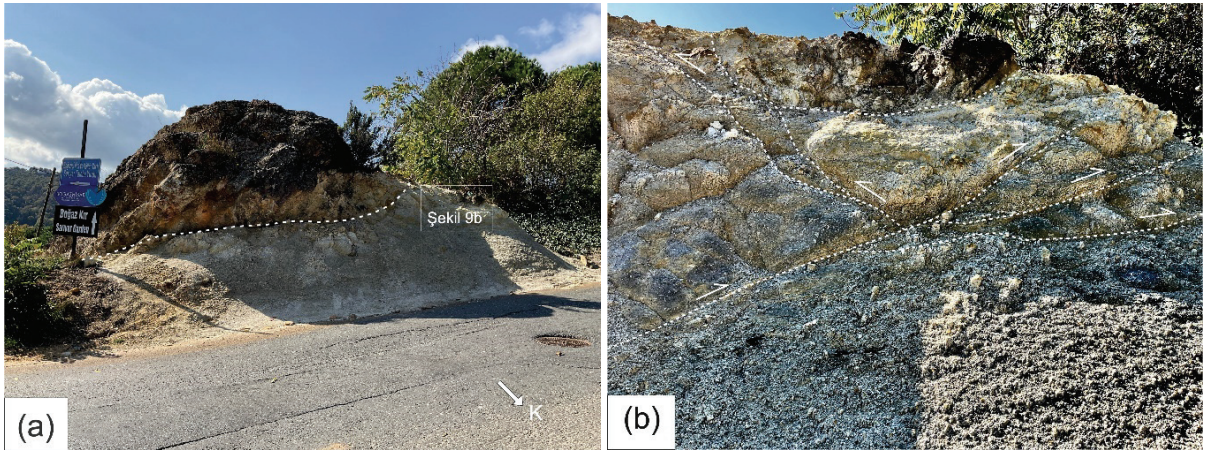
Boğazkent ve Yaylalı sokakların Kilyos Caddesi ile kesiştiği nokta (Şekil 9, 35T 671739/4560575) kataklastik kayaların en iyi görüldüğü yerlerden biridir. Burada oldukça geniş bir mostrada içerdiği kükürt nedeniyle sarı renkli ve dağılgan olan volkanik kayalar ile bunlar içerisindeki yer yer pirit cevherleşmesi açısından zengin ince kuvars damarları izlenmektedir. Piritin oksidasyonu nedeniyle pas rengi yüzeyler yaygındır. Mostrada beyazımsı renkli, dayanımlı felsik lavların bloklar şeklinde olduğu, blokların çevresinin daha koyu renkli, yer yer belirgin bir yönelim (akma foliasyonu) kazanmış kataklastik kayalar (protomilonit) ile sarılmış olduğu izlenir. Matriksi oluşturan taneler 1 cm ve daha küçük çapta, köşeli, kısmen rotasyon/uzama yapıları gösteren bir dokudadır (Şekil 9). Rotasyon/uzama yüzünden klastlar mercek biçimi kazanmışlardır. Matriks içerisinde makaslama düzlemleri vardır. Bu farklı yöndeki düzlemler kayaya yer yer büyük ölçekli buden görünümü kazandırmıştır. Matriks içerisindeki felsik lavlar (genellikle dasit-dasitik andezit) mikrokristalin yapıda, çok sert ve kırıklıdır.

Matriks ile bloklar arasındaki bazı sınırlar son derece keskin düzlemler şeklinde olup üzerlerinde kayma çizikleri içerirler. Bu tür kayma düzlemleri matriks ile blokun birlikte deformasyona uğradıklarını, ancak iki kaya türünün deformasyona verdiği farklı tepki yüzünden arada kayma düzlemleri geliştiğini işaret etmektedir (Şekil 10, 35T 671569/4560492). Bu düzlemlerin çoğu matriks içerisinde devam etmez ya da saçılırlar.



**Şekil 8.** Çırçirsuyu çeşmesi yakınında Trakya Formasyonu ile Üst Kretase kataklastik kayaları arasındaki yatay bindirme (Şekil 6'daki taban bindirmesi ile karşılaştırınız).

**Figure 8.** Horizontal thrust between the Trakya Formation and Upper Cretaceous cataclastic rocks near the Çırçirsuyu fountain (compare with the basal thrust in Figure 6).



**Şekil 9.** Boğazkent ve Yaylalı sokak kesişiminde izlenen mostrada **(a)** üstte dayanımlı felsik lav ile altta dağılgan matriks arasındaki keskin sınır boyunca kayma çizikleri vardır. Dikdörtgen Şekil 9b'nin yerini göstermektedir. **(b)** Bindirmenin taban blokunda köşeli lav taneleri ezilmiş matriks içerisinde yer almakta, kayada zayıf bir yönelme görülmektedir. Birim içerisinde ana bindirmeye paralel tali bindirmeler ve geriye doğru bindirmelerden oluşan dilimli bir yapı mevcuttur.

**Figure 9.** In the outcrop observed at the intersection of Boğazkent and Yaylalı streets, **a)** there are slickenlines along the sharp boundary between the competent felsic lava at the top and the weak matrix at the bottom. The rectangle shows the location of Figure 9b. **b)** In the footwall of the thrust fault, angular lava grains are located in a crushed matrix, and a weak orientation is observed in the rock. There is an imbricated structure within the unit, consisting of both secondary thrusts parallel to the main fault and backthrusts.

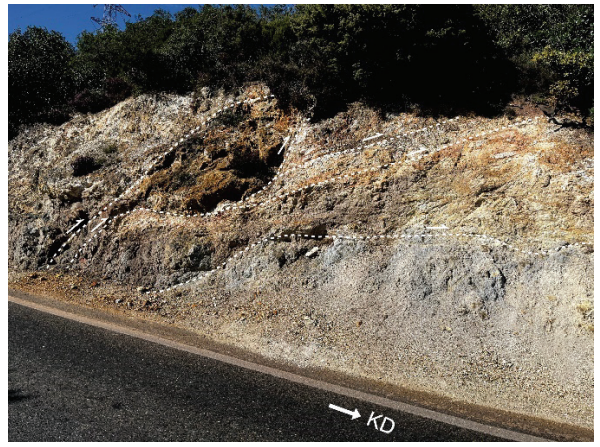


**Şekil 10.** Üst Kretase kataklastik kayalarının bloklu kesimlerinde matriks (ortadaki açık renkli ve yönlenme gösteren kesim) ile bloklar arasında üzerinde yer yer kayma çiziklerinin bulunduğu keskin sınırlar izlenmektedir.

**Figure 10.** In the blocky parts of the Upper Cretaceous cataclastic rocks, sharp boundaries with occasional slickenlines are observed between the matrix (light colored section in the middle) and the blocks.

Kataklastik volkanik kayaların iyi izlendiği ikinci nokta Sarıyer-Kilyos ana yolu olan Kilyos Caddesi üzerinde yer alır (Şekil 11, 35T 671567/4561454). Bu noktanın biraz batısında Trakya Formasyonu volkanitler üzerine bindirmektedir. Volkanik topluluk felsik lavlar ile aşırı ezilmiş ince taneli volkanitlerin (olasılıkla tüf kökenli) birbiri ile tektonik olarak dilimlenmesi ile oluşmuştur. Birim içerisinde Trakya Formasyonu bindirmesine paralel süreksizlik düzlemlerinin varlığı bu yapının söz konusu bindirme ile aynı rejim altında ve aynı dönemde geliştiğini işaret etmektedir.

Kataklastik volkanitlerin iyi izlendiği üçüncü geniş mostra Eski Zekeriyaköy yolu ile Tepeüstü Bayırı sokağının kesişme noktasında yer alır (Şekil 12, 671912/4560220). Bu mostrada öncekilerin aksine blok yoktur, birim tümüyle köşeli, boyutları 10 cm'yi aşmayan felsik lav klastları ile bunları çevreleyen tümüyle ezik bir matriksten oluşur.



**Şekil 11.** Kilyos Caddesi üzerinde aşırı ayrılmış Üst Kretase kataklastik volkanitleri felsik lav (beyaz ve pas rengi) ile aşırı ezik matriks (açık gri ve pas rengi) dilimlenmesinden oluşur.

**Figure 11.** Highly weathered Upper Cretaceous cataclastic volcanics on Kilyos Street consist of felsic lava (white and rust color) imbricated with extremely crushed matrix (light gray and rust color).

Matriksin ince taneli yapısı bu kayanın kökeninin bir kül-blok akıntısı olduğunu düşündürse de matriksin foliasyonlu olması, matriks ile klastlar arasında küçük ve devamsız kayma çiziklerinin varlığı kataklastik deformasyonu işaret etmektedir. Bu mostradaki birim ezilme breşi olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıdaki üç mostrada tanıtilan kataklastik kayalar sondaj loglarında Trakya Formasyonu'nun altında yer alırlar. Yapılan 20'den fazla sondajda bu birimin farklı nitelikte kesimlerine girilmiştir. Şekil 1'deki kesitte bu sondajlardan sadece bu makalenin hazırlanmasında kullanılanların yeri verilmiş, bunların tipik olanlarından sadece birkaç tanesi karot fotoları ışığında açıklanmıştır. Tüm karotlar IC Holding Kilyos tünel şantiyesinde muhafaza edilmektedir.



**Şekil 12.** Eski Zekeriyaköy yolu ile Tepeüstü Bayırı sokağının kesişme noktasındaki mostrada izlenen köşeli lav klastları ile bunların arasını dolduran kataklastik matriks

**Figure 12.** Angular lava clasts observed in the outcrop at the intersection of Eski Zekeriyaköy road and Tepeüstü Bayırı street and the cataclastic matrix filling in between.

SaK-8 sondajında (35T 671472/4560568) 42,00-49,50 m aralığında kataklastik volkanitler kesilmiştir (Şekil 13). Bilhassa 45,00-48,00 m aralığında yer alan kayalar yer yer iri klastlar içermekte, bunların araları ise çok daha ince ve ayrılmış malzeme ile doldurulmuş olarak izlenmektedir. Kaya bu niteliği ile farklı kesimleri de dikkate alınarak “Ezilme breşi” ve “Protomilonit” olarak değerlendirilebilir (Sibson, 1977).

Aynı sondajın 71,50-78,50 metreleri arasında ise daha iri taneli felsik lav klastları, bunların köşeli yapısı ve fay düzlemlerinin varlığı dikkat çekmektedir. Kaya “Protokataklazit -Protomilonit” olarak adlandırılabilir (Sibson, 1977). Bu metrelerde kayma izli fay düzlemlerinin kesilmiş olması volkanitler içerisinde de olasılıkla ana bindirmeye paralel birkaç bindirmenin mevcut olduğunu göstermektedir.



**Şekil 13.** SaK-8 sondajı 42,00-49,50 ve 71,50-78,50 metreleri arası karot fotoğrafları.

**Figure 13.** Core photos of SaK-8 well between 42.00-49.50 and 71.50-78.50 meters.

SaK-13 sondajının (35T 671397/4560994) 72,00-76,00 metreleri arasında (Şekil 14) ince taneli, killeşmiş birimlerde belirgin foliasyon gelişimi mevcuttur. Bu ince taneli kayalar “Milonit” olarak adlandırılabilir (Şekil 14).



**Şekil 14.** SaK-13 sondajının 72,00-76,00 metreleri arasına ait karot fotoğrafları.

**Figure 14.** Core photographs of SaK-13 well between 72.00-76.00 meters.

SaK-15 sondajının (35T 671308/4561205) 122,00-125,00 metreleri arasında milonit ve protomilonitler içerisinde 123,10 ve 124,20 metreleri arasında aşırı killeşmiş koyu gri renkli, foliasyonlu bir bölüm dikkat çeker (Şekil 15). Bu bölümün üst ve alt sınırları faylıdır. Bu durum da kataklastik zon içerisinde ezilmeye neden olan çok sayıda fayın mevcut olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 15. SaK-15 sondajının 122,00-125,00 metreleri arasına ait karot fotoğrafları.

**Figure 15.** Core photographs of SaK-15 well between 122.00-125.00 meters.

Yukarıda verilen gerek mostra gerekse karot gözlemleri Üst Kretase volkanitlerinin Trakya Formasyonu altına kalan kesiminin kalın bir kataklastik birim olduğunu, içerisinde yer yer kalın olabilecek daha dayanımlı lav tektonik dilim ve bloklarının bulunduğunu, bu homojen olmayan kaotik birim içerisinde “Ezilme Breşi” Protokataklazit” “Protomilonit”, “Milonit” çok seyrek olarak ise siyah renkli, çok ince taneli ve foliasyonlu ultramilonit türü kataklastik kayaların bulunduğunu göstermiştir. Makale hacmini artırmamak adına yukarıda bunlara dair sınırlı sayıda örnek verilmiş ancak kataklastik zonun geometrisi 70 kadar sondajın karotlarının incelenmesi ile Şekil 1’de izlendiği şekli ile tanımlanmıştır.

Kataklazitlerde plastik akma yapılarının genellikle görülmemesi, kohezyonun ve foliasyonun varlığı, metamorfizma minerali gelişimi olmaması gibi gözlemler stresin yüksek,

kırılgan deformasyonun etkin mekanizma olduğunu, gömülme derinliğinin ve sıcaklığın ise plastik akmaya müsaade edecek kadar yüksek olmadığını göstermektedir. Ayrışmanın yüksek olması ve feldspatların büyük ölçüde kil minerallerine dönüşmüş olması kayanın deformasyonu esnasında sıvı dolaşımının etkin olduğunu göstermektedir. Maden Mahallesinde eski pirit işletmelerinin varlığı ve kataklastik zon içerisine sokulmuş piritli kuvars damarlarının gözlenmesi de bindirme ile yaşıt veya bu zonu kullanan daha genç bir hidrotermal evrenin varlığını desteklemektedir.

Kataklastik kayaların üstü Trakya Formasyonu bindirmesi ile sınırlanmaktadır. Her ne kadar Trakya Formasyonu’nda şiddetli bir deformasyon varsa da milonitik kayalar izlenmemiş, sadece güney kesimdeki birkaç sondaj karotunda bu formasyonun tabanında kalınlığı seyrek olarak 10 m’yi biraz aşan sınırlı kataklazit gelişimi belirlenmiştir. Her ne kadar çoğu sondajlar tabanına kadar ulaşmamış ise de volkanik kayalardaki kataklastik zonun güneyde 200 m civarında bir kalınlığa sahip olabileceği eldeki verilere göre tahmin edilmektedir. Kuzeye doğru ise kataklastik zonun altında giderek daha sığda andezit-piroklastik istifi kesilmiştir. Kataklastik kayalar ile etkin bir kataklastik deformasyondan etkilenmemiş andezit-piroklastik istifi arasındaki dokanağın çok ani olmadığı, sondajlarda andezit-piroklastik istifinin içerisinde de çok sayıda makaslama zonunun görüldüğü ve kuzeye doğru daha dayanımlı bir istife geçişin dereceli olarak gerçekleştiği de sondaj verilerine dayalı olarak kabul edilebilir. Öte yandan Paleozoyik istifi ile volkanitler arasındaki ana bindirme cephesinin kuzeyinde de volkanitler içerisinde sınırlı kalınlıkta ezilme zonlarının bulunduğu gözlenmiş ve buna dayanılarak volkanik istif içerisinde de bazı bindirme zonlarının mevcudiyeti anlaşılmıştır. Ancak mostra koşulları bunların sahada doğrudan gözlenmesine ve takip edilmesine olanak vermemektedir.

## Lavlar ve Piroklastik Kayalar

İncelenen alanın Zekeriyaköy'den daha kuzeydeki kesimlerinde kayalar genellikle yoğun bir orman örtüsü ve kısmen de Neojen çökelleri altında kaldıkları için birkaç sınırlı küçük mostra dışında görülmez. Bu kesime ait veriler de büyük ölçüde sondajlara dayalı olarak belirlenebilmiştir. Buna göre yukarıda da değinildiği gibi kuzeye doğru kataklastik kayalar kaybolur, yerine yer yer yoğun kırık ve çatlaklar içeren yer yer de oldukça sağlam ve dayanıklı piroklastikler (volkanik breş, aglomera, lapilli ve tüf) ve bunlar içerisinde kuzeye gittikçe dayanımı artan ve kalın seviyeler oluşturan ortaç-bazik lav seviyeleri görülür. Ancak kataklastik kayalar kadar olmasa da bu birim içerisinde de faylı, yoğun kırıklı ve buna bağlı olarak ayrışmanın yoğun olduğu zonların varlığı hem sınırlı sayıdaki mostrada hem de sondaj karotlarında izlenmektedir. Böylece kırıklı/ezik yapı kuzeye doğru giderek yerini daha sağlam kayalara bırakmakta, en kuzey kesimlerde ise, örneğin Kilyos ya da Demirciköy sahilinde dayanımlı ve kırılğan deformasyondan önemli oranda etkilenmemiş piroklastik kayalar ve lavlar yer almaktadır.

Piroklastik kayalar atmosferik koşullarda şiddetli ayrışmaya uğramış, kayaları oluşturan ana mineraller olan piroksen ve feldspat mineralleri dilinim düzlemleri ve kenarlarından başlamak üzere farklı derecelerde killeşmiş ve kloritleşmiştir. Bazı alanlarda tümüyle killeşmiş piroklastikler görülür, bazı alanlarda ise ayrışma görünüşte daha zayıftır. Ancak mikroskopik incelemede bunların da farklı derecelerde ayrışmaya uğradığı görülmektedir. Ayrışmanın derine doğru azaldığı, ancak bu kesimlerde ise kırık zonları boyunca ayrışma geliştiği izlenebilmektedir.

Aglomeralar içerisinde boyutları birkaç cm'den 40-50 cm ye kadar değişen kötü boylanmış andezit taneleri tüf matriks içerisinde yer alır. Genellikle tane destekli olan birimdeki matriks ve taneler ileri derecede ayrışmaya uğramıştır. Ayrışma tanelerin kenarları boyunca daha etkin

olup bazı tanelerde soğan yapısı olarak da bilinen küresel ayrışmaya neden olmuştur. Bazı yerlerde ayrışmış andezitik lavlar ince taneli tüflerle aralanır.

## Volkanoklastik Kayalar ve Kireçtaşları

Üst Kretase volkanik istifinin en az yayılıma sahip üyesini oluşturan bu kayalar Vadi Sokak üzerinde (Şekil 16, 35T 671180/4564596) ve Zekeriyaköy-Kilyos yolu üzerinde izlenir, çakıltaşı ve kumtaşı ile ve yer yer yaygın volkanik kırıntılar içeren biyoklastik kireçtaşları ile temsil edilirler. Kırmızı-bordo renkli çakıltaşı ve kumtaşları oldukça masif, belirgin bir tane dizilimi olan, gevşek tutturulmuş kötü boylanmalı, yuvarlak taneli, kum-silt matriksli ve bol fosil kırıntılıdır. Kireçtaşları ile bu birimlerin geçişli olduğu gözlenmekte, kireçtaşı içerisinde bol volkanik kırıntılı bulunması da bu görüşü desteklemektedir.

Garipe formasyonu içerisinde genellikle farklı seviyelerde yanal devamı sınırlı, ince mercerler şeklinde izlenen biyoklastik kireçtaşları Kaya (1971) tarafından "Sarıyer kireçtaşı" olarak tanımlanmıştır. Kireçtaşları pembe renkli, ince-orta tabakalı, bol fosilli ve fosil kırıntılı kaba dokuludur. Tabakalanma yanı sıra sık sistematik eklemeler içerirler. Kireçtaşının kalınlığı gerek mostralarda gerekse de sondajlarda genellikle birkaç metre dolayında olup en fazla 10-15 metreye ulaşır. Erdem vd. (2021) Zekeriyaköy formasyonu adı altında tanıttıkları birimin Geç Kampaniyen'i işaret eden Lepidorbitoides ve Siderolites fosilleri içerdiğini ve yüksek enerjili bir açık deniz ortamında çökelmiş olduğunu belirtmişler, bu veriden hareketle de kireçtaşlarını volkanik istifin en üst birimi olarak değerlendirmişlerdir. Ancak istifin üzeri aşınmalı olduğundan bundan daha üstte stratigrafik olarak hangi birim olduğu belirsizdir. Anadolu yakasında ise volkanik istifin üzerine dereceli geçişli olarak Akveren Formasyonu olarak bilinen (Tüysüz vd., 2004) kalsitübiditik kireçtaşları gelmektedir.





**Şekil 16.** Vadi Sokak'ta izlenen (a) kireçtaşı ve (b) kumtaşı-çakıltası mostraları. c) Biyoklastik kireçtaşı içerisindeki fosil ve fosil kırıntılarının yakın görünüşü

**Figure 16.** a) Limestone and (b) sandstone-conglomerate outcrops observed in Vadi Street. c) Close-up view of fossils and fossil fragments in bioclastic limestone (c).

## Örtü Birimleri

Bu çalışma büyük ölçüde Üst Kretase ve daha yaşlı kayalara yönelik olduğundan Çırçır deresi içerisindeki alüvyonlar, yamaç molozları, suni dolgular ve Demirciköy güneyindeki Neojen çökelleri topluca örtü birimleri olarak değerlendirilmiştir.

Özgül (2011) tarafından İstanbul formasyonu adı altında tanımlanan ve Kıraç, Kayalı Tepe ve Meşe Tepe üyelerine ayrılmış olan Neojen çökelleri Demirciköy güneyinde izlenir ve buradaki kısıtlı mostralarında alacalı renkli gevşek tutturulmuş kumtaşı, silttaşı, çakıltasından oluşur. Alt kesimlerinde Demirciköy güneyinde geçmişte işletilmiş ince kömür damarları da bulunana bu istifin kalınlığı 40-50 m civarındadır. Bu birim bazı araştırmalarda Pliyosen, bazılarında ise Oligo-Miyosen yaşlı göl, akarsu ve yelpaze çökelleri olarak değerlendirilmiştir.

## YAPISAL JEOLJİ

### Bölgesel Yapı

Jeoloji literatüründe Pontidler ya da Pontid kuşağı olarak bilinen (Ketin, 1966) kuzey Türkiye'nin tamamı Tetis Okyanusunun Kretase başından itibaren kapanmaya başlaması, Kretase-Eosen sürecinde kapanması ve sonrasında devam eden sıkışmalı bir tektonik rejim etkisinde kalmış, bunun sonucunda da Orta Eosen ve sonrasında tamamen karaya çıkarak bir kıvrım ve bindirme kuşağı karakteri kazanmıştır. Bu kıvrım-bindirme kuşağının Batı Karadeniz'deki iç yapısını detaylı olarak inceleyen Sunal ve Tüysüz (2002) Karadeniz bölgesindeki sıkışma sonucu meydana gelen kıtasal kısalma oranının %50'den fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. İnceleme alanında Trakya Formasyonu'nun Üst Kretase volkanik kayaları üzerine bindirmesi ve buna bağlı olarak kalın bir kataklastik zonun gelişimi de bu sistemin bir parçası olarak değerlendirilebilir. Her ne kadar inceleme alanından elde edilmiş bir yaş bulgusu

yok ise de tektonik stilin benzerliği dikkate alınarak Trakya Formasyonu'nun Üst Kretase volkanitleri üzerine olasılıkla Orta Eosen döneminde yerleştiği tahmin edilmektedir. İstanbul'un Avrupa yakasında deformasyon göstermeyen Üst Bartoniye-Priyaboniye kireçtaşları (Less vd., 2011) İstanbul Paleozoyik istifinde uyumsuz olarak oturduğundan bu bindirmenin bundan önce (olasılıkla 40-37 milyon yıl önce) gelişmiş olduğu söylenebilir.

İstanbul ve çevresindeki birimlerin yapısal özelliklerini detaylı biçimde ve bir bütün olarak tanımlayan bir araştırma bulunmamaktadır. Mevcut bilgiler Paleozoyik istifinin kıvrımlı ve bindirmeli bir yapısı olduğunu göstermekte ise de bu deformasyonun kaç defa, hangi evrelerde ve ne türde geliştiği yönündeki bilgiler küçük alanlarda yürütülmüş çalışmalara dayanmakta, bu da il genelinin yapısal stili hakkında bir yoruma gidilmesini engellemektedir. Bu bilgilere göre İstanbul il sınırları içerisindeki birimler en şiddetli deformasyonlardan Geç Karbonifer-Erken Permiyen (Okay vd., 2006 ve Özgül, 2012)' ve Eosen sonunda (Akartuna, 1963) etkilenmişler, çok daha sonra ise en azından güney kesimleri Batı Anadolu Gerilme Sistemi ve Kuzey Anadolu Makaslama Zonu içerisinde (Şengör vd., 2004) kalmıştır.

Paleozoyik yaşlı birimleri etkileyen deformasyonları gösteren en detaylı haritalardan biri Seymen (1995) tarafından yayınlanmıştır. Anadolu yakasının büyük bir kısmını haritalayan Seymen (1995) Paleozoyik istifi içerisindeki kıvrımları ve bindirmeli yapıyı belgelemiştir. İstanbul'un yapısal olarak en eski çalışılan bölgelerinden biri olan Çamlıca yöresinde bindirmeli bir yapının varlığı Paeckelmann (1938), daha sonra da McCallien ve Ketin (1947) tarafından ortaya konmuş, daha sonraki çalışmalarla da Siluriyen yaşlı birimlerin Devoniyen üzerinde yataya yakın bir bindirme fayı ile durduğu tespit edilmiştir (Seymen, 1995; Özgül, 2012; Lom vd., 2016). Seymen (1995) Paleozoyik istifini oluşturan

farklı birimlerin yaklaşık olarak K-G ya da KB-GD uzanımlı ve D-GD eğimli, genellikle düşük açılı bindirme düzlemleri boyunca birbiri üzerine yerleşmiş tektonik dilimler şeklinde olduğunu belirtmektedir. Yazarın Çamlıca-Ümraniye, Maltepe-Küçükbakkalköy-Ümraniye, Pendik-Yakacık-Ayazma, Tuzla-Şeyhli-Aydos arasında haritaladığı bindirmeler bunların en önemlileri arasındadır.

Paleozoyik yaşlı birimlerin bu kıvrımlı ve bindirmeli yapısının ne zaman geliştiğine dair doğrudan ya da dolaylı bir veri bulunmamaktadır. Paleozoyik istifini örten Permo-Triyas yaşlı kayaların (Babaoğlu vd., 2023) genellikle daha az deforme ve Alpin stilde deformasyon sergilemesi, Gebze civarındaki intrüzif Üst Permiyen (Bürküt, 1966; Yılmaz, 1977) granitlerin benzer deformasyondan etkilenmemiş olması gibi veriler dikkate alınarak İstanbul Paleozoyik istifini etkileyen olası ilk deformasyonun geç Karbonifer-Erken Permiyen arasında geliştiği genel kabul görmektedir.

İncelenen alanın güneyinde yapısal olarak en üstte Trakya Formasyonu, onun altında tektonik bir dokanakla kataklastik kayalar ve en altta da kuzeye doğru yüzeye çıkan kataklastik deformasyondan etkilenmemiş olan lavlar, piroklastik kayalar, volkanoklastikler ve kireçtaşından oluşan volkanik topluluk yer almaktadır (Şekil 1). Üst Kretase istifi ise önceki çalışmalarda belirlenen orijinal stratigrafik dizilime göre (Keskin vd., 2003 ve 2010; Keskin ve Tüysüz, 2018; Tüysüz, 2018) altta daha yaşlı kayalar üzerine uyumsuz olarak oturan silisiklastik çökeller ile başlayıp üste doğru volkanoklastik çökellere geçmekte, bunun üzerine ise andezitik-bazaltik lavlar ve bunların geçişli olduğu piroklastikler gelmektedir. Kataklastik kayaların köken kayasının büyük ölçüde tüfler ve kısmen de felsik lavlar olduğu gözleminden hareketle inceleme alanındaki Üst Kretase yaşlı kayalarda stratigrafik dizilimin yapısal olarak terslendiği, bir diğer deyişle stratigrafik üst birimin yapısal alt birim olarak bulunduğu, yani tümüyle

terslendiği ya da bindirme dilimleri halinde olduğu anlaşılmaktadır. Kataklastik istif içerisinde karotlarda izlenen aşırı ezik, tümüyle killeşmiş kesimler olasılıkla bu bindirmeler arasında gelişmiş olmalıdır. Bu durum tektonik olarak dilimlenmiş yapıya daha uygun görülmektedir. Sahada izlenen küçük ve orta boyutlu yapı ile benzer olan model Şekil 5'te grovaklar içerisinde gösterilen yapının kilometreler boyundaki bir eşdeğeri olabilir. Ancak yüzeyde mostranın çok kısıtlı olması nedeniyle bu görüşü sahada denetlemek mümkün olmamıştır.

İnceleme alanında Trakya Formasyonu'nun, Sarıyer-Şile arasında ise İstanbul Paleozoyik istifinin diğer birimlerinin ve Permo-Triyas yaşlı çökellerin Üst Kretase volkanik birimleri üzerine yerleşmesini sağlayan (Kaya ve Lys, 1980; Gedik vd., 2005) bindirme literatürde Sarıyer-Şile, Zekeriyaköy veya Sarıyer-Maden bindirmesi gibi adlarla ele alınmıştır. Chaput ve Hovasse (1930), Parejas ve Baykal (1938), Baykal (1943), Okay (1947), Yalçınlar (1953), Baykal ve Akartuna (1953) ve Akartuna (1963) tarafından öncül araştırmaları yapılan bu bindirme hattı batıda Sarıyer-Zekeriyaköy civarından doğuda Şile ve Riva'ya kadar izlenir. Bu ana yapısal unsur bazı araştırmacılar tarafından ters fay ya da bindirme olarak değerlendirilmiştir (Baykal, 1943; Akartuna, 1963; Baykal ve Kaya, 1966; Baykal ve Önal, 1979). Gerek Çırçır deresinde doğrudan izlenebilen mostradaki yapıya (Şekil 8), gerekse bu çalışmadaki sondaj karotlarının incelenmesine göre bu bindirme tabanda yatay ya da düşük açılı bir faydır ve atımı da olasılıkla kilometreler mertebesinde. Bindirmenin tavan bloku altında sınırlı olarak ve taban blokunda olasılıkla 200 m'yi bulan kalınlıkta gelişmiş olan kataklastik deformasyonun niteliği Trakya Formasyonu'nun bindirmesi nedeniyle meydana gelen gömülmenin en az birkaç km derin olduğunu ve birimin aşınma öncesi bugünkünden çok daha kalın olduğunu işaret etmektedir. Akartuna (1963) bindirmenin geometrisine bakarak atımın en az 5 km olduğunu

savunmuştur. Kanaatimiz, yukarıda anlatılan yapısal stil dikkate alındığında bu mesafenin daha fazla olabileceği yönündedir.

Şekil 1'de verilen enine kesitin iki kesiminde olası normal faylar izlenmektedir. Bunlar sondaj karotlarında izlenen bindirme düzleminin derinliğine bağlı olarak konulmuş hipotetik faylardır. Benzer normal faylar Amasra-Kurucaşile bölgesinde, Bartın-Amasra yolu üzerinde, Ayancık Usta burnunda ve Kuzey Marmara Otoyolu üzerinde bu otoyolun kenarlarında izlenmekte, kıvrım bindirme kuşağının sıkışmalı yapılarını kesmektedirler. İnceleme alanında doğrudan izlenemeyen bu hipotetik normal fayların Orta Eosen sıkışma dönemini takiben gravitasyonel rahatlama ya da daha genç bir tansiyonel rejimin eseri olabileceği düşünülmektedir.

### **Trakya Formasyonu'nun Yapısal Özellikleri**

Trakya Formasyonu farklı bölgelerde farklı oranlarda birbiri ile ardalanan grovak nitelikli kumtaşı, çamurtaşı, yer yer kiltası, silttaşı ara katmanlarından oluşur. Bu kayalar olasılıkla magmatik bir kaynaktan beslendikleri için mineralojik bileşim olarak feldspat açısından zengindir. Öte yandan birimin çökeliminde türbidit akıntıları etkin olduğundan ince taneli (silt, kil) matriks oranı yüksektir. İncelenen alanda tane boyu ve tabaka kalınlığı açısından sistematik bir değişim izlenemez çünkü birim çok sık faylarla kesildiğinden farklı karaktere sahip kesimler faylar ile bir araya gelmiştir. O nedenle Trakya Formasyonu'nun yapısal özellikleri metrik hatta bazen desimetrik ölçekte farklılıklar arz edebilmektedir. Yoğun kırılğan deformasyon sonucunda grovaklarda iki, bazen de üç farklı doğrultuda gelişmiş sistematik eklem takımları, bunların yanı sıra düzensiz çatlaklar gelişmiştir. Saha gözlemleri sistematik çatlakların genellikle makaslama düzlemlerine paralel ya da onunla yüksek açılı olarak geliştiğini işaret etmektedir. Çatlak sıklığı metrede birkaç taneden makaslama

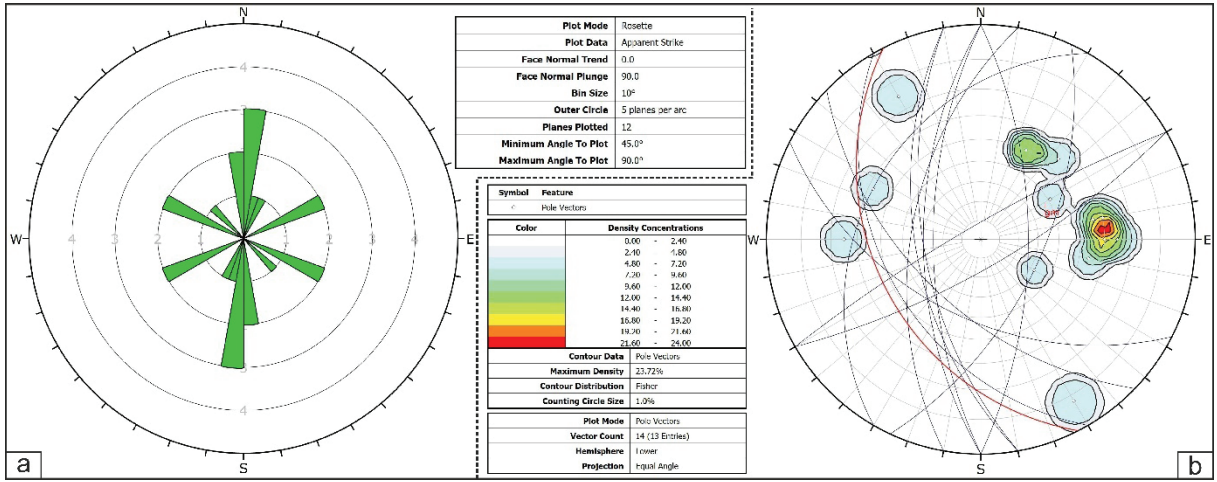
düzlemleri yakınında metrede 20-30 adete kadar artabilmektedir. Çatlak düzlemleri sıkı, pürüzlü, çoğu zaman kayma izli, seyrek olarak da düz ve düzlemseldir. Bilhassa faylara yakın kesimlerde çatlaklar boyunca zayıf su sızıntıları ve kuvvetli ayrışma görülür. Ayrışma arttıkça çatlak araları da kil dolgulu hale gelmektedir. Sondaj karotlarında Trakya Formasyonu'nun karot verimi ve RQD değerleri birimin çok kırıklı yapısını işaret edecek biçimde genellikle çok düşük olup %40'a ulaşmaktadır.

Trakya Formasyonu'nun inceleme alanındaki geniş bir mostrası Çayırbaşı tüneli Sarıyer çıkışının 300 metre kadar batısında Çırçır deresi kuzey yamacında ve Dereiçi sokakta (35T 670630/4559975) izlenir. Trakya Formasyonu grovıkları diğer kesimler gibi bu mostrada da birbiri üzerine bindirmiş dilimler olarak görülmektedir. 200 m kadar uzunluğa sahip alan bu yol boyu mostra boyunca 13 adet bindirme saptanmıştır. Mostra uzanımına kıyaslandığında Trakya Formasyonu ortalama her 15 m de bir bindirme fayı ile kesilmekte ve karakter değiştirmektedir. Bu fayların çoğu GGB ya eğimli, KKD verjanslıdır. Bazı bindirmeler belli kesimlerde dupleks geometriye uygun olarak tabaka düzlemlerini takip etmekte, belli kesimlerde de diğer tabaka düzlemlerine sıçramaktadır. Bu durum yukarıda da değinildiği gibi birimin tabanında düşük açılı bir ana bindirmenin varlığının da işaretçisidir. Öte yandan sistematik kırık gelişiminin bindirmelerin taban blokunda çok daha sık, tavan blokunda ise nispeten seyrek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 17). Bindirme düzlemlerinin eğim ve eğim yönleri ile stereonetteki dağılımı Şekil 18'de, bindirme dilimleri arasında ölçülen tabaka doğrultularına ait gül diyagramı ile tabaka düzlemlerinin streonetteki konumu ise Şekil 19'da verilmiştir.



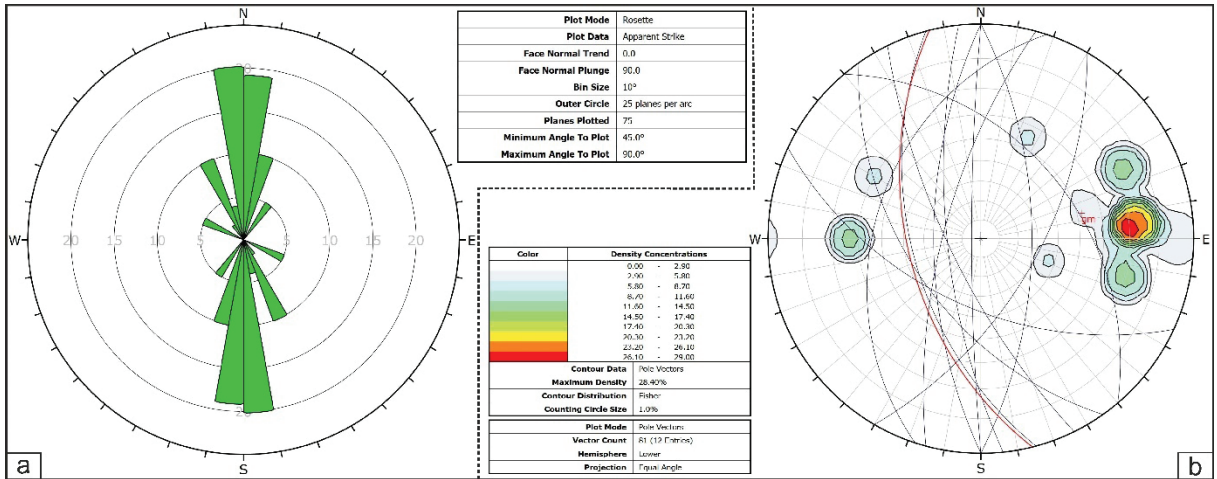
**Şekil 17. a)** Trakya Formasyonu'nun Dereiçi sokaktaki dilimi yapısını oluşturan bindirmeler, mavi cisim 60 cm yüksekliğinde bir kovadır. **b)** Aynı mostrada yatay bindirme düzlemi (üzerinde kalem bulunan düzlem) ve bu bindirmenin taban blokunda gelişmiş sistematik kırıklar.

**Figure 17. a)** Thrust structures imbricating the Trakya Formation in Dereiçi street, the blue object is a 60 cm high bucket. **b)** In the same outcrop, there is a horizontal thrust plane (the plane with a pencil on it) and systematic fractures developed in the footwall of this thrust.



Şekil 18. a) Trakya Formasyonu içerisindeki bindirme düzlemlerinin doğrultularına ait gül diyagramı ve b) bu düzlemlerin stereonetteki dağılımı. Bindirme düzlemlerinin ağırlıklı olarak KKD-GGB, kısmen de KD-GB ve KB-GD doğrultulu olduğu, eğim yönünün ise ağırlıklı olarak GB olduğu izlenmektedir.

Figure 18. a) Rose diagram of the strikes of the thrust planes within the Trakya Formation and b) the distribution of these planes in the stereonet. The thrust planes are predominantly in the NNE-SSW direction, partly in the NE-SW and NW-SE directions, and the dip direction is predominantly SW.



Şekil 19. a) Trakya Formasyonu içerisindeki tabaka düzlemlerinin doğrultularına ait gül diyagramı ve b) bu düzlemlerin stereonetteki dağılımı. Tabaka doğrultuları ile bindirme doğrultuları arasında benzerliğe dikkat ediniz. Bu durum bindirmelerin büyük ölçüde tabakaların zayıf düzlemlerini kullandığına işaret eder ve çoğu kıvrım ve bindirme kuşağının olağan yapısıdır. Benzerlik tabakaların ve bindirmelerin eğim yönü için de geçerlidir.

Figure 19. a) Rose diagram of the strikes of the bedding planes within the Trakya Formation and b) the distribution of these planes in the stereonet (b). Note the similarity between bedding and thrust directions, indicating that thrusts largely developed along the weak bedding planes, which is the characteristics of fold and thrust belts. The similarity also applies to the dip direction of layers and thrusts.

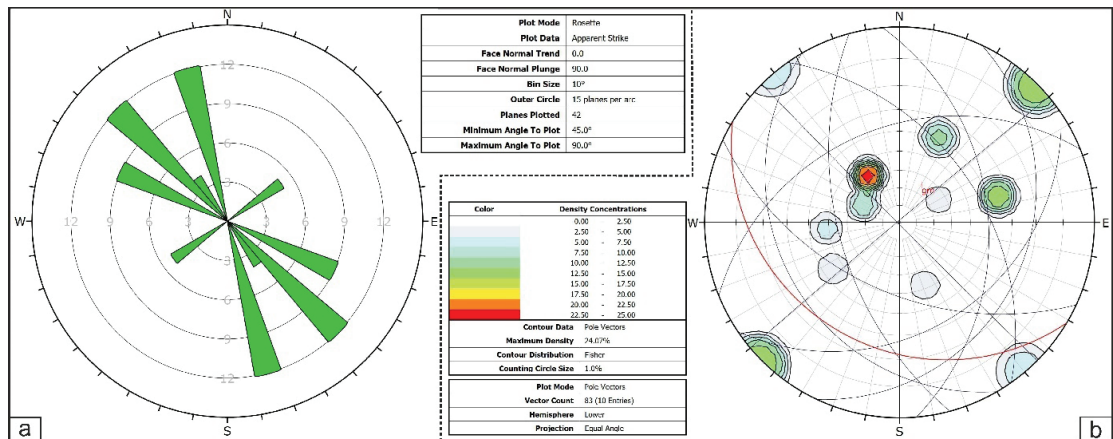
Mostrada belirlenebilen sistematik kırıklara ait ölçülere ait gül diyagramı ve stereonet Şekil 20'de verilmiştir. Buradan da izlenebileceği üzere belli bir kümelenmeden çok bir saçılma söz konusudur. Bu da birimin heterojen bir iç yapısı olduğunu ve bu yapının şiddetli ve progresif tektonik deformasyonun denetiminde geliştiğini belirtmektedir.

### Kataklastik Kayaların Yapısal Özellikleri

Üst Kretase volkanitlerinin mekanik olarak ezilmesi ile gelişmiş olan kataklastik kayalar homojen olmayan iç yapıları, farklı davranışa sahip lav ve piroklastik gibi farklı karakterdeki köken kayalardan gelişmiş olmaları, fay zonlarına yakınlığa göre değişen dayanım ve alterasyon farklılıkları ve nihayet barındırdıkları makaslama zonları ile yapısal açıdan karakterizasyonu güç birimlerdir.

Kataklastik kayaçların mekanik davranışı, yüzeyden gözleme ve analiz etme, saha araştırmaları sırasında numune alma, numune hazırlama ve laboratuvar testlerindeki zorluklar nedeniyle aslında tam olarak anlaşılammıştır. Bu kayalardan karakteristik yüzey örneklerinin alınmasında ve bunların laboratuvar deneylerinin

değerlendirilmesinde de büyük güçlüklerle karşılaşılır, çünkü alınacak örnekler çoğu zaman tüm birimi temsil etmezler. Günümüzün mühendislik çalışmalarındaki yaklaşım bu tür zayıf kataklastik kayaların kökeni, litolojisi, yapısal ve mineralojik farklılıklarına bakılmaksızın “milonit”, “ezilmiş kaya” veya “zayıf kaya” gibi genel tanımlar altında ve en zayıf kaya sınıfı içerisinde değerlendirilmesidir. Çoğu durumda Barton vd. (1974), ISRM (1981), Bieniawski (1989), gibi kurum ya da araştırmacılar tarafından önerilen metotlarla yapılan kaya kalitesi değerlendirmesine esas parametreler zayıf kayaları karakterize etmekten uzak kalmaktadır. Bu yöntemlerin önerdiği eklem sıklığı, basınç dayanımı, eklem yüzeylerinin niteliği gibi parametreler zayıf kayaları karakterize etmekten uzaktır. Kataklastik yapıların niteliklerini tanımlamada önemli sorunlardan biri de ölçek sorunudur. Kataklastik yapılar mikroskopik ölçekten yerel ya da bölgesel ölçeğe kadar farklı büyüklüklerde gelişirler bu da etkiledikleri kayaların heterojen bir yapı kazanmasına neden olur. Tektonik hatlarla sınırlanan her ölçekte paneller birbirinden çok farklı jeolojik ve jeomekanik özellikler sunarlar, bu da bu tür kayaların kalitesinin mühendislik çalışmaları için karakterize edilmesini önemli oranda engeller.



Şekil 20. a) Trakya Formasyonu içerisindeki sistematik kırıkların doğrultularına ait gül diyagramı ve b) stereonet. Sistematik kırık doğrultuları KD-GB Yönlü sıkışmayı işaret etmektedir.

**Figure 20. a)** Rose diagram of the strikes of systematic fractures within the Trakya Formation and **b)** stereonet. Systematic fracture directions indicate NE-SW compression.

İster çökel isterse tektonik kökenli olsun matriks içerisinde bloklardan oluşan kayaların mühendislik anlamında karakterizasyonunda önemli faktörlerden biri blokların matriks içerisindeki hacimsel oranıdır. Yapılan araştırmalar blok hacmi oransal olarak düşük olan (%25'ten az) bu tür kayalarda blokların niteliklerinin çok önemli olmadığı, buna karşılık matriks dayanımının önemli olduğunu göstermiştir. Saha ve karot gözlemlerimize göre Üst Kretase kataklastik kayaları içerisinde blok oranı %25'ten azdır. Bu da birimin davranışının büyük ölçüde matriks kontrollü olacağını göstermektedir. Öte yandan sahada farklı ölçeklerde yapmış olduğumuz gözlemlere göre matriks ile bloklar arasında gerilmeye karşı gösterilen reolojik farklılık yüzünden tektonik sınırlar gelişmiştir. Bu tür birimlerdeki gözlem ve deneyler en zayıf noktaların blok-matriks sınırı olduğunu, yenilmenin büyük ölçüde blok-matriks sınırları boyunca olduğunu göstermiştir. Bu gerçeklerden hareketle volkanik/volkanojenik kökenli kataklastik kayaların ince kesitlerde incelenmesinden tatmin edici sonuçlar alınmamıştır. Bloklardan alınan örneklerde blok sınırlarına yakın kesimler ile blok ortası kesimler arasında kataklasizma şiddetinde farklılıklar vardır. Matriksten alınan karotlarda ise alterasyon ve sondaj kaynaklı mekanik örselenme orijinal yapının incelenmesini önemli oranda engellemektedir. Bu makalenin yazıldığı tarihte inşası devam eden tünel güzergahından alınacak sistematik örnekler üzerinde yapılacak bir ince kesit çalışmasının doyurucu bilgi sağlayacağı düşünülmektedir.

### **Lav ve Piroklastik Kayaların Yapısal Özellikleri**

Çalışılan alanda ender olarak mostra veren bu kayalarda sistematik bir kırık izlenmemiştir. Sondaj karotları üzerinde ölçülen RQD değerleri dikkate alınarak şu sonuçlara ulaşılabilmektedir:

1. Ağırlıklı olarak piroklastiklerden oluşan kayalarda kataklastik yapıların görülmemesine

rağmen belli aralıklarda görülen ezilme ve makaslama düzlemleri vardır. Karot verimi ve RQD değeri %100'ü bulan seviyeler arasında bu değerlerin sıfıra yaklaştığı desimetrik ya da metrik kalınlıktaki zonlar bu tür makaslama zonlarını işaret etmektedir. Lav seviyeleri ince piroklastikler ile ardalanmaktadır ve kuzeye doğru bindirmelerin etkisi büyük ölçüde ince tabakalı birimlerde yarı plastik bir deformasyonla, lavlarda ise kırılğan deformasyonla karşılanmaktadır.

2. Kuzeye doğru lavlar ve piroklastikler giderek daha dayanımlı hale gelirler. Bu kesimde deformasyon izleri güneye oranla çok daha az izlenir.

### **İstanbul Paleozoyik İstifinin Yapısal Konumu Üzerine**

İstanbul Paleozoyik istifi neredeyse 200 yıldır araştırılmakla birlikte bu araştırmaların çok büyük bir kısmı bu kilometrelerce kalın istifin stratigrafisine yönelik olmuştur. Buna karşılık birimin yapısal özelliklerine yönelik araştırmalar yok denecek kadar azdır. Eski çalışmaların bir kısmında yersel bazı yapısal çalışmalar olmakla birlikte bunlar da tüm istifin yapısını hatta yapısal stilini anlamaya yeterli değildir. Bugün artık İstanbul'da ölçüm yapacak mostra bulmak da pek mümkün değildir. Her ne kadar mühendislik projelerinde çok sayıda ve giderek artan yeraltı bilgileri elde edilmekte ise de bunlar da çoğu zaman o proje kapsamında kullanılarak jeolojik bilgi dağarcığına katılmamaktadır.

Akartuna (1963) "Şariyaj Bölgesi" başlığı altında Şile ve Mahmut Şevket Paşa köyü civarında izlenen tektonik hattın Zekeriyaköy'e kadar uzandığını belirterek boğaz vadisinde V şekli oluşturan bu hat boyunca Paleozoyik istifinin Üst Kretase üzerinde en az 5 km hareket ettiğini, Üst Kretase tüfleri içerisinde sık sık fayların bulunduğunu ve üstteki Paleozoyik istifin

milonitik yapı kazandığını belirtmiştir. Akartuna (1963) ilk defa Üst Kretase istifi içerisinde de milonitlerin bulunduğu değinmekte ancak buna dair detay vermemektedir. Oysa bu araştırmanın sonuçları asıl kataklasizmanın bindirmenin taban blokundaki volkanitlerde olduğunu belgelemiştir. Bindirme düzleminin 30° kadar güneye eğimli olduğunu belirten Akartuna (1963) Üst Kretase istifi içerisinde Paleozoyik istifine ait tektonik merceklerden söz ederek bunların gelişim mekanizması için dupleks bindirmeli bir model önermiştir. Akartuna (1963) her ne kadar doğrudan bir veri olmasa da bu yapının İpresiyen-Lütesiyen'de gelişmiş olabileceği görüşündedir.

Baykal ve Kaya (1966) ise Akartuna (1963) tarafından ileri sürülen tüfler içerisinde Paleozoyik tektonik mercekleri modelini kabul etmemişler, tüfler içindeki farklı litolojide, değişime uğramış yabancı bloklarla Karbonifer kayaçları arasında benzerlik bulunmadığını belirtmişlerdir. Bu yazarlar tüflerin hidrotermal alterasyon geçirdiğini, içlerindeki mineralizasyonunun bununla bağlantılı olduğunu ve tüflerin Üst Kretase andezitlerinden farklı bir istifi temsil ettiğini ileri sürmüş, ancak bunların yaşı ve ilişkileri konusunda bilgi vermemişlerdir. Baykal ve Kaya (1966) da bindirmenin Eosen başında oluştuğu görüşündedirler.

Bu araştırmada küçük bir alandan elde edilen sonuçlar, İstanbul Paleozoyik istifinin Üst Kretase volkanik kayaları üzerine kuzey verjanslı bir bindirme ile yerleştiğini göstermektedir. Bu makalede verilen örnekler dupleks yapıların, yelpaze biçimli bindirmelerin Paleozoyik istifi içerisinde egemen olduğunu göstermiş, Üst Kretase içerisinde de varlığına dair kuşku ortaya koymuşsa da mostra koşulları nedeniyle bunu teyit etmek mümkün olmamıştır. Bu durum Karadeniz Bölgesi'nin çoğu kesiminde izlenen, ancak bugüne kadar üzerinde Sunal ve Tüysüz (2002) tarafından Cide-Kurucaşile civarında yayınlanan makale dışında pek durulmamış Karadeniz kıvrım-bindirme kuşağının İstanbul'u

da kapsadığını göstermektedir. Kretase sonunda Tetis Okyanusu'nun kapanması ile güneydeki Sakarya ve kuzeydeki İstanbul zonları çarpışmış, çarpışma sonrası devam eden sıkışmalı tektonik rejim Pontid kuşağının bindirmelerle dilimlenmesine ve bir kıvrım-bindirme kuşağı niteliği kazanmasına yol açmıştır. Bu kuşak kuzeyde daha sığ ve düşük açılı (thin-skinned) güneyde ise daha yüksek açılı ve derin (thick skinned) bindirmeler ile temsil edilmektedir (Sunal ve Tüysüz, 2002). İstanbul ve çevresinde güney alanlar bu yapının gelişiminden çok sonra, Geç Miyosen döneminden itibaren Kuzey Anadolu makaslama ve Ege gerilme sistemleri etkisinde kalmışlardır. Bu durum güneydeki yüksek açılı bindirmelerin bugün niçin izlenmediğini açıklıyor olabilir. Önerilen bu yapısal denetleme doğru ise İstanbul Paleozoyik istifi, en azından bir kısmı ile, bugünkü yerine düşük atımlı bir bindirme ile değil, atımı çok daha yüksek bir nap şeklinde yerleşmiş olabilir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada ulaşılan başlıca sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- 1- İstanbul Paleozoyik istifinin stratigrafik en üst birimi olan Trakya Formasyonu düşük açılı bir fay boyunca kuzeye doğru Üst Kretase yaşlı volkanik topluluk üzerine bindirmiş, bu esnada kendi içerisinde de bindirmelerle dilimlenmiştir. Bu birim içerisinde görülen yelpaze biçimli ve dupleks bindirmeler Trakya Formasyonu'nun önemli ölçüde kısalıp kalınlaşmasına neden olmuştur.
- 2- Trakya Formasyonu düşük açılı bir bindirme düzlemi üzerinde duran bir nap şeklindedir.
- 3- Trakya Formasyonu tarafından tektonik dokanakla örtülen Üst Kretase volkanitleri içerisinde farklı davranışa sahip kesimler ayırtlanmıştır. Yapısal olarak üstte duran kesim kataklastik deformasyondan etkilenmiş



ve bütünüyle milonitleşmiştir. Bunların kalınlığı güneye doğru artarak 200 metreyi bulmaktadır. Kataklastik kayalar olasılıkla tuf ya da kül-blok akıntısı kökenli tümüyle ezilmiş bir matriks içerisinde tektonik düzlemler ile sınırlanan lav blok ve tektonik dilimlerinden oluşur. Yapısal olarak en altta ise dayanımlı lav ve piroklastikler vardır.

4- Batı Pontidler'de önceki araştırmalarla tanımlanmış olan Tersiyer yaşlı kıvrım-bindirme kuşağı İstanbul yöresini de kapsamakta olup Sarıyer-Şile bindirmesi bu sistemin önemli bir unsurudur.

#### **EXTENDED SUMMARY**

*In the north of Istanbul between Şile and Sarıyer, the Carboniferous-aged Trakya Formation, forming the uppermost stratigraphic unit of the Istanbul Palaeozoic succession, is emplaced over an Upper Cretaceous volcanic assemblage along the north-vergent Şile-Sarıyer thrust.*

*The Carboniferous unit is represented by thin- to medium-grained, highly weathered turbiditic greywackes. The volcanic assemblage at the base consists of a thick pile of andesitic, basaltic, and dacitic lava flows, their pyroclastics, and turbiditic volcanoclastic sediments, together with some sandy limestone interlayers. The emplacement of the Trakya Formation over the volcanic assemblage, probably during the Late Eocene, caused the development of intense deformation in both units. As the structurally higher Trakya Formation emplaced northward along a low angle on a flat thrust, it can be regarded as a nappe. It was also internally and intensely imbricated by north-vergent fan-shaped and duplex thrusts connected to the base thrust (compressional detachment). This imbrication caused internal thickening and shortening of these siliciclastic turbidites together with the development of the Şile-Sarıyer thrust.*

*The volcanic assemblage below the Trakya Formation was probably affected by similar tectonic imbrications. Intense cataclastic deformation, which affected only a limited part of the base of the Trakya Formation, commonly and deeply affected the Upper Cretaceous volcanic assemblage and caused the development of cataclastic rocks such as protomylonites, whose thickness increases towards the south and can probably reach up to 200 m. The absence of plastic flow structures in these rocks despite the presence of cohesion and foliation and the absence of metamorphic mineral assemblages show that brittle deformation was the effective mechanism during cataclasis, while burial depth and temperature were not high enough to allow plastic flow. This huge thickness of cataclastic rocks implies that the cataclastic rocks were also tectonically imbricated and thickened. However, the cataclastic zone thins and disappears toward the north, where the Trakya Formation is directly located on the volcanic rocks, apparently free of penetrative cataclastic deformations.*

*In the north of the present thrust front, there are also some north-vergent thrusts within the volcanic assemblage, but cataclastic deformation is absent or very limited in thickness. Within the Upper Cretaceous volcanic rocks, layers with different behaviours were also distinguished. The upper part structurally is represented by lava blocks and tectonic slices bounded by a cataclastic matrix, probably originating from lava flows, tuffs, and block-and-ash flows. The lower part structurally is represented mainly by lavas and pyroclastics, affected less or not affected by cataclastic deformation.*

*The results obtained in this study from a small area show that duplex structures and fan-shaped thrusts, which are regarded as characteristic structural styles in fold and thrust belts, are dominant in the Palaeozoic succession, and they also exist in the Upper Cretaceous unit. This implies that the Black Sea fold-thrust belt, which*

was documented in the Western Pontides (Sunal and Tüysüz, 2002), also extends towards the Istanbul region, and the Sarıyer-Şile thrust is an important element of this system. At the end of the Cretaceous, with the closure of the Tethys Ocean, the Sakarya Zone in the south collided with the Istanbul Zone in the north. The compressive tectonic regime that continued after this collision caused the Pontides to gain fold-thrust belt character.

## KATKI BELİRTME

Bu makale Karayolları Genel Müdürlüğü adına IC Holding tarafından inşası yapılmakta olan Kilyos-Sarıyer Tüneli güzergahının jeolojisinin anlaşılması için yapılan sondaj verilerine ve ilk yazar tarafından yapılan yüzey jeolojisi gözlemlerine dayanmaktadır. Söz konusu verilerin bu yayında kullanılmasına müsaade eden kurumlara; yine bu kapsamda yapılan çalışmaların kullanılmasına müsaade eden SYSTRA Firması Genel Müdürü Paolo Occidente'ye, eleştirileri ile makalenin zenginleşmesinde önemli katkıları olan hakemlere teşekkür ederiz.

## ORCID

Okan Tüysüz  <https://orcid.org/0000-0001-8372-6998>

Caner Balkaya  <https://orcid.org/0009-0004-8786-5716>

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Abdüselamoğlu, Ş. (1963). İstanbul Boğazı doğusunda mostra veren Paleozoyik arazide stratigrafik ve paleontolojik yeni müşahedeler, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 60, 1-6.
- Akartuna, M. (1963). Şile şaryajının İstanbul Boğazı kuzey yakalarında devamı. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 61, 14-20.
- Aysal, N., Keskin, M., Peytcheva, I. & Duru, O. (2017). Geochronology, geochemistry and isotope systematics of a mafic–intermediate dyke complex in the İstanbul Zone. New constraints on the evolution of the Black Sea in NW Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 464, SP464. <https://doi.org/10.1144/SP464.4>
- Babaoğlu, C., Topuz, G., Okay, A.I., Köksal, S., Wang, J-M. & Toksoy-Köksal, F. (2023). Middle Permian basic and acidic volcanism in the Istanbul zone (NW Turkey): evidence for post-Variscan extensional magmatism, *International Geology Review*, 65(21), 3435–3452. <https://doi.org/10.1080/00206814.2023.2188551>
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. (1974) Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 6, 189-236.
- Baykal, A. F. (1943). Şile bölgesinin jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri*, 3, 81s.
- Baykal, F. & Akartuna, M. (1953). Reponse à «Nouvelles Observations sur la tectonique de la region de Sarıyer-Zekeriya köy (NW de la Turquie)» de İ. Yalçınlar. *C.R.S. Soc.Geol. de France*, 13, 250-253.
- Baykal, F. ve Önalın, M. (1979). Şile Sedimenter Karışığı (Şile Olistostromu). *Altınlı Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu/İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi*, 6-7 Mart 1979, 15–25.
- Baykal, A. F. ve Kaya, O. (1963). İstanbul Bölgesinde bulunan Karbonifer'in Genel Stratigrafisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 61, 1-11.
- Baykal, A. F. ve Kaya, O. (1966). İstanbul Boğazı kuzey kesiminin jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 10(1-2), 31-44. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/53189/705699>
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum Engineering*. New York, Wiley, 251s.
- Bürküt, Y. (1966). *Kuzeybatı Anadolu'da Yer Alan Plutonların Mukayeseli Jenetik Etüdü* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 271s.
- Chaput, E. & Hovasse, R. (1930). Notice preliminaire sur le Cretace superieur de Zekeriya Köy, au Nord de Constantinople. *Bulletin de la Faculté des Sciences de Stamboul*, 4, 1-16.
- Erdem, M. E., Özcan, E., Yücel, A. O., Okay, A. İ., Erbay, S., Kaygılı, S. & Yılmaz, İ. (2021). Late Campanian larger benthic foraminifera from the

- Zekeriya köy Formation (İstanbul, NW Turkey): taxonomy, stratigraphy, and paleogeography. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 1-21. <https://doi.org/10.3906/yer-2007-9>
- Gedik, İ., Timur, E., Duru, M. ve Pehlivan, Ş., 2005. 1/50.000 Ölçekli Türkiye Jeolojisi haritaları, İstanbul – F22d paftası: Pafta No. 10. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Görür, N., Monod, O., Okay, A. I., Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Sakıncı, M. & Akkök, R. (1997). Palaeogeographic and tectonic position of the Carboniferous rocks of the western Pontides (Turkey) in frame of the variscan belt. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 168(2), 197-205.
- Higgins, M. W. (1971). Cataclastic rocks, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 687, 97p.
- Hochstetter, F. V. (1870). Die geologischen Verhältnisse des östlichen Theiles der europäischen Türkei. *Jahrbuch der Kaiserlich Königlich Geologischen Reichsanstalt*, 20(3), 365-461.
- ISRM (1981). *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Brown, E. (Ed.), Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- Kaya, O. (1968). *İstanbul bölgesi Karbonifer stratigrafisi* [Doktora Tezi]. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi.
- Kaya, O. (1971), İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14(2), 143-199. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/54955/753491>
- Kaya, O. ve Lys, M. (1980). İstanbul Boğazının Batı Yakasında (Kilyos) Yeni Bir Triyas Bulgusu. *MTA Dergisi*, 93-94, 20-26.
- Kaya, O. & Mamet, B. 1971. Biostratigraphy of the Visean Cebeciköy limestone near İstanbul, Turkey. *Journal of Foraminiferal Research*, 1, 77-81.
- Keskin, M. & Tüysüz, O. (2018). Stratigraphy, petrogenesis and geodynamic setting of Late Cretaceous volcanism on the SW margin of the Black Sea, Turkey. In M. D. Simmons, G. C. Tari & A. I. Okay (Eds), *Petroleum Geology of the Black Sea*. Geological Society, London, Special Publications, 464. <https://doi.org/10.1144/SP464.5>
- Keskin, M., Ustaömer, T. ve Yenyol, M. (2003). İstanbul kuzeyinde yüzeylenen Üst Kretase yaşlı volkano-sedimenter birimlerin stratigrafisi, petrolojisi ve tektonik konumu. *İstanbul'un jeolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 19-22 Aralık 2003. Jeoloji Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 23-35.
- Keskin, M., Ustaömer, T. ve Yenyol, M. (2010). İstanbul kuzeyindeki Üst Kretase volkanojenik istiflerinin magmatik evrimi ve jeodinamik ortamı. Y. Örgün, ve S. Yılmaz Şahin (Ed.ler), *İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu-III Kitabı*. İTÜ, İstanbul, 130-180.
- Less, G., Özcan, R. & Okay, A. I. (2011). Stratigraphy and Larger Foraminifera of the Middle Eocene to Lower Oligocene Shallow-Marine Units in the Northern and Eastern Parts of the Thrace Basin, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 793-845. <https://doi.org/10.3906/yer-1010-53>
- Lom, N., Ülgen, S. C., Sakıncı M. & Şengör, A. M. C. (2016). Geology and stratigraphy of İstanbul region, In Sen S.(ed.), Late Miocene mammal locality of Küçükçekmece, European, Turkey. *Geodiversitas*, 38(2), 175-195.
- Mamet, B. L. (1973). Foraminiferal biostratigraphy of the Lower Carboniferous Trakya and Heybeliada formations, İstanbul region, Turkey. Kaya, O. (Ed), Paleozoic of İstanbul. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi*, 137-143.
- McCallien W. J. & Ketin, İ. (1947). The Structure of Çamlıca etc. *Annales de l' Université d'Ankara*, 1, 209-226.
- Okay, A. C. (1947). Geologishe und petrographische Untersuchung des Gebietes zwischen Alemdağ, Karlıdağ und Kayışdağ in Kocaeli Bithynien, Türkei. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası Serie B, XII*, 269-288.
- Okay, A. İ., Satır, M. & Siebel, W., 2006. Pre-Alpide Palaeozoic and Mesozoic orogenic events in the Eastern Mediterranean region. D. G. Gee & R. A. Stephenson, (Eds.), *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society of London, *Memoirs*, 32, 389-405
- Okay, A.I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. B.Durand, L. Jolivet, F. Horvath, & M. Seranne (Eds), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine*

- Orogen. Geological Society of London, Special Publications, 156, 475-515.*
- Önalın, M. (1982). *Pendik bölgesi ile Adaların jeolojisi ve sedimenter özellikleri* [Doçentlik tezi]. İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü.
- Özgül, N. (2011). *İstanbul il alanının jeolojisi* (yayımlanmamış rapor). İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü.
- Özgül, N. (2012). Stratigraphy and some structural features of the Istanbul Paleozoic. *Turkish Journal of Earth Sciences, 21*, 817-866.
- Paeckelmann, W. (1938). Neue Beiträge zur Kenntnis der Geologie, Palaontologie und Petrographie der Umgegend von Konstantinopel. *Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge, 186*, Berlin.
- Parejas, E. & Baykal, F. (1938). Une lame de charriage à Şile (Anatolie). *Publ. Inst. Geol. Univ. İstanbul, nouv ser., 1*, 1-5.
- Penck W. (1919). Grudzüge der Geologie des Bosphorus. *Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde an der Universität Berlin, Geographisch-naturwissenschaftliche Reihe, IV*, 1-71.
- Scholz, C. H. (1990). *The mechanics of earthquakes and faulting*. New York. Cambridge University Press. 439 p.
- Seymen, İ. (1995). İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi. E. Meriç (Ed.), *Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı, 1-22*.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society (London), 133*, 191-213.
- Sunal, G. & Tüysüz, O. (2002). Palaeostress analysis of Tertiary post-collisional structures in the Western Pontides, Northern Turkey. *Geological Magazine, 139*(3), 343-359.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2004). The North Anatolian Fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33*, 37-112. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- Tüysüz, O. (2018). Cretaceous geological evolution of the Pontides. M. D. Simmons, G. C. Tari & A. I. Okay (Eds.), *Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464*. <https://doi.org/10.1144/SP464.9>
- Tüysüz, O., Aksay, A. & Yiğitbaş, E. (2004). *Batu Karadeniz Bölgesinin Litostratigrafi Birimleri*. Litostratigrafi Birimleri Serisi 2, Stratigrafi Komitesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ülgen, S. C., Şengör, A. M. C., Keskin, M. & Aysal, N. (2022). The Bosphorus Volcano: remnants of an ancient volcano on an ancient city. *International Journal of Earth Sciences, 111*, 2017-2035. <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02213-1>
- Yalçınlar, İ. (1951). İstanbul civarının Paleozoik Arazisine Dair Yeni müşahedeler. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 3*(1), 125-130. <https://dergipark.org.tr/pub/tjb/issue/50637/659588>
- Yalçınlar, İ. (1953). Nouvelles Observations sur la tectonique des regions de Sarıyer -Zekeriyaköy et de Şile (NW de la Turquie). *C. R. Somm. Soc. Géol. France, 5*, 71-73.
- Yavuz, O. ve Yılmaz, Y. (2010). İstanbul kuzeyi volkanitlerinin jeolojik, petrografik ve mineralojik özellikleri, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 9*(3), 38-46.
- Yenişol, M. ve Ercan, T. (1989/1990). İstanbul kuzeyinin jeolojisi, Üst Kretase volkanizmasının petrokimyasal özellikleri ve Pontid'lerdeki bölgesel yayılımı. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 7*(1-2), 125-147.
- Yılmaz, İ. (1977), Sancaktepe granitinin (Kocaeli Yarımadası) mutlak yaşı ve jenezi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20*, 17-21. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/64643/987497>
- Yılmaz-Şahin, S., Aysal, N. & Güngör, Y. (2012). Petrogenesis of Late Cretaceous Adakitic Magmatism in İstanbul Zone (Çavuşbaşı granodiorite, NW Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences, 21*: 1029-1045. <https://doi.org/10.3906/yer-1005-15>