

## İç Torid Kenedinin Tecer Dağları (Sivas) Güneyindeki Kesiminin Sayısal Jeolojik Haritalanması ve ASTER Görüntüleriyle Analizi

*Digital geologic mapping and ASTER image analysis in the southern part of the Tecer Mountains on the Inner Tauride Suture*

**Mustafa YAKAN<sup>1</sup>, Kaan Şevki KAVAK<sup>2</sup>, Haluk TEMİZ<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>NETCAD, Cyber Plaza, B Blok No:409 Cyberpark 06800 Bilkent / Ankara

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas,  
kaank@cumhuriyet.edu.tr

### ÖZ

Bu çalışma, Sivas Tersiyer Havzası'nın güney kenarını içeren Tecer Dağları güneyindeki bölgenin sayısal jeolojik harita alımı ve ASTER görüntüleriyle incelenmesini amaçlar. İnceleme alanı DKD-BGB doğrultulu Deliler Bindirme Kuşağı ve Tecer Fay Zonu'nun kesiştiği bölgede yer alır. Bölgede, İç Torid kenet kuşağına ait ofiyolitik kayalar geniş bir bölgede yüzeyler. Bu bölge ayrıca Menderes-Toros Platformunun kuzey sınırına da karşılık gelmektedir. Bölgenin tektonostratigrafisi Deliler Fay Zonu tarafından ayrılan iki farklı çökel istifi ile temsil edilir. Deliler Fay Zonunun güneydeki kesiminde ofiyolitik bir temel üzerinde yer alan kalın bir Oligo-Miyosen karasal istifi gözlenirken kuzeyde kalan bölümde ise Alt-Orta Eosen denizel çökelleri, Oligosen jipsleri ve Alt Miyosen denizel çökelleri yer almaktadır. Deliler Fay Zonu boyunca Geç Miyosen karasal çökelleri kıvrımlanmaya uğramış, Pliyo-Kuvaterner akarsu çökelleri ise yatay olarak gözlenmişlerdir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı, tablet bilgisayar ve ArcPad yazılımıyla sayısal olarak haritalanmış; yüzeyleyen birimlerin alansal sınırları, fay ve kıvrım eksenleri gibi çizgisel jeolojik harita unsurları arazi çalışmaları sırasında zamandan kazanılarak sayısal olarak kaydedilmiştir. Buna ek olarak litolojik sınırları ve yapısal bileşenleri ortaya çıkarmak amacıyla bölgeye ait 14 bantlı ASTER uydu görüntülerine görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, arazi ve laboratuarda gerçekleştirilen görüntü işleme çalışmaları yardımıyla bölgeye ait ayrıntılı bir jeolojik harita hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ASTER, Deliler Bindirme Zonu, sayısal jeolojik harita, sayısal görüntü işleme, Sivas Tersiyer Havzası, tablet bilgisayar, uzaktan algılama,

**ABSTRACT**

*This study is aimed to perform digital geologic mapping and ASTER image analysis around southeastern part of the Sivas Tertiary Basin. The interest area is located at the intersection of ENE-WSW oriented Deliler Thrust Belt and Tecer Fault Zone. Ophiolitic rocks which were belonging to Inner Tauride Ocean Suture belt were outcropped in a vast region. This region also forms the northern boundary of the Menderes-Tauride platform. Tectonostratigraphy of the region is represented by two different sedimentary sequences separated by Deliler Fault Zone. While a thick cover of Oligocene-Miocene continental unit was observed on the southern section of Deliler Fault Zone, Lower-Middle Eocene marine, Oligocene gypsum and Lower Miocene marine sediments were outcropped on the northern part of this belt. Late Miocene continental deposits were folded while Plio-Quaternary fluvial sediments were observed horizontally along the Deliler Thrust Zone. Within the context of this study, interested region was mapped digitally using tablet pc and ArcPad software. Using this software, areas of outcropping units, linear geologic map elements like faults and fold axes were recorded digitally during field studies and some database queries such as formation name, age, and lithologies were determined in terms of saving time and digitization efforts. Additionally, a number of image processing efforts were applied to 14 channels ASTER image of the region to highlight geological features such as lithological boundaries and structural components. Thus, a detailed digital geologic map was formed at the end of this search. Furthermore, a number of image processing studies were acquired supporting geological mapping at field.*

**Keywords:** *ASTER, Deliler Thrust Zone, digital geologic map, digital image processing, remote sensing, Sivas Tertiary Basin, Tablet pc.*

**GİRİŞ**

Sayısal Jeolojik Haritalama (SJH), defter ve kâğıt haritaya dayanan geleneksel bir yaklaşımın dışında tablet bilgisayar ve Küresel Yer Belirleme Sistemi (GPS)'nin bazı özelliklerini kullanarak haritalama ve jeolojik veri toplama sürecidir. Son yıllarda tablet bilgisayar, GPS ve mobil coğrafi bilgi sistemleri donanım ve yazılımlarındaki teknolojik gelişmeler ve yenilikler yerbilimcilere arazide sayısal veriyi kaydetmeye ve haritalamaya izin vermektedir. Bu süreç sayısal haritalama olarak tanımlanır. SJH, 1980'lerin sonundan beri yerbilimciler ve diğer araştırmacılar tarafından, arazide doğrudan harita yapımında ve veri girişinde kullanılmaktadır (De Donatis ve Bruciatelli, 2006). Yerbilimciler, arazide sayısal jeolojik harita üretimini, daha önceki bilgi

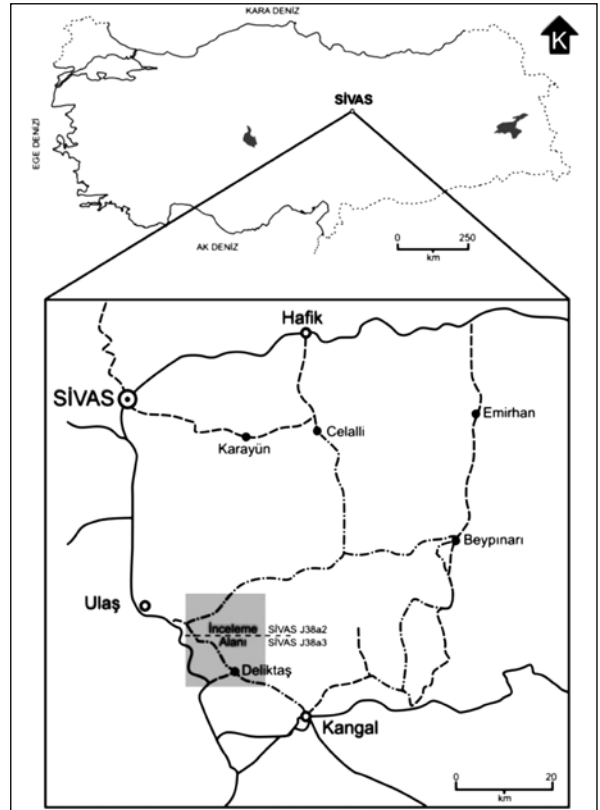
ve tecrübeleri ile araziden bilimsel yöntemler yardımıyla topladığı verileri (kaya türü, dokanak, tabaka durumu, fay, kıvrım, fotoğraf vb. özellikler) tablet bilgisayarlara aktararak gerçekleştirir. Bu nedenle, arazide toplanan jeolojik verilerin sayısal olarak kayıt edilmesinde grafiksel bir veri tabanı yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla son yıllarda yapılan çalışmalar kullanılarak bilgisayar teknolojisi ve coğrafi bilgi sistem yazılımları, daha karmaşık veri modellerini sayısal olarak oluşturmaya izin vermektedir.

Bu çalışmadaki ilk amaç, inceleme alanına (Şekil 1) ait 1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritaların HP Pavillion tx 2550 tablet bilgisayar ve coğrafi veri toplayıcı Mobile Mapper 6.0 GPS'e yüklendikten sonra ArcPad 7.1, MakroPad ve MakroMap yazılımları yardımıyla sayısal jeolojik

haritalanmasıdır. Bu amaçla arazide jeolojik yapıların ölçümünde kullanılan ve yine sayısal veri üreten Breithaupt Kassel Tecronic 4000 marka elektronik pusula-yapı ölçer ve Magellan Explorist GPS kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci amacını ise laboratuarda, inceleme alanını içine alan ASTER uydu görüntülerine uygulanan sayısal görüntü işlem yazılımları yardımıyla bölgeden jeolojik bilgi edinilmesine yönelik çalışmalar oluşturmuştur. Ayrıca inceleme alanında yüzeyleyen kaya birimlerinden petrografik amaçlı ince kesit örnekleri toplanmış, değerlendirilmiş ve bu noktaların ölçüm değerleri Küresel Yer Belirleme Sistemi (GPS) alıcısı ile kaydedilmiştir.

## İNCELEME ALANININ STRATİGRAFİSİ

İnceleme alanı, Sivas ilinin güneydoğusunda yer almakta olup Sivas Havzası'nın paleotektonik evriminin anlaşılması açısından önem taşımaktadır (Şekil 1). İç Torid Süturu üzerinde bulunan çalışma alanında yüzeyleyen birimleri alttan üstte doğru şöyle sıralamak mümkündür (Şekil 2). Bölgede temeli platform ortam ürünü Toros kuşağına ait Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı kristalize nitelikteki kireçtaşlarından oluşan Yılanlıdağ formasyonu (TrKy) oluşturmaktadır. Tabanda yüzeyleyen bu birimleri, tektonik olarak yerleşmiş Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı (Dof) üzerlemektedir. Karışığı genel olarak tabanda serpantinitik bir hamur içerisinde kireçtaşı ve radyolarit olistolitlerinden oluşan melanj niteliğindeki birimler oluşturur. Bu melanj seviyelerinin üzerinde ise eksikli bir ofiyolit dizisinden oluşan ve serpantinleşmiş dünit ve harzburjitlerden oluşan manto tektonitleri, bu tektonitleri kesen izole



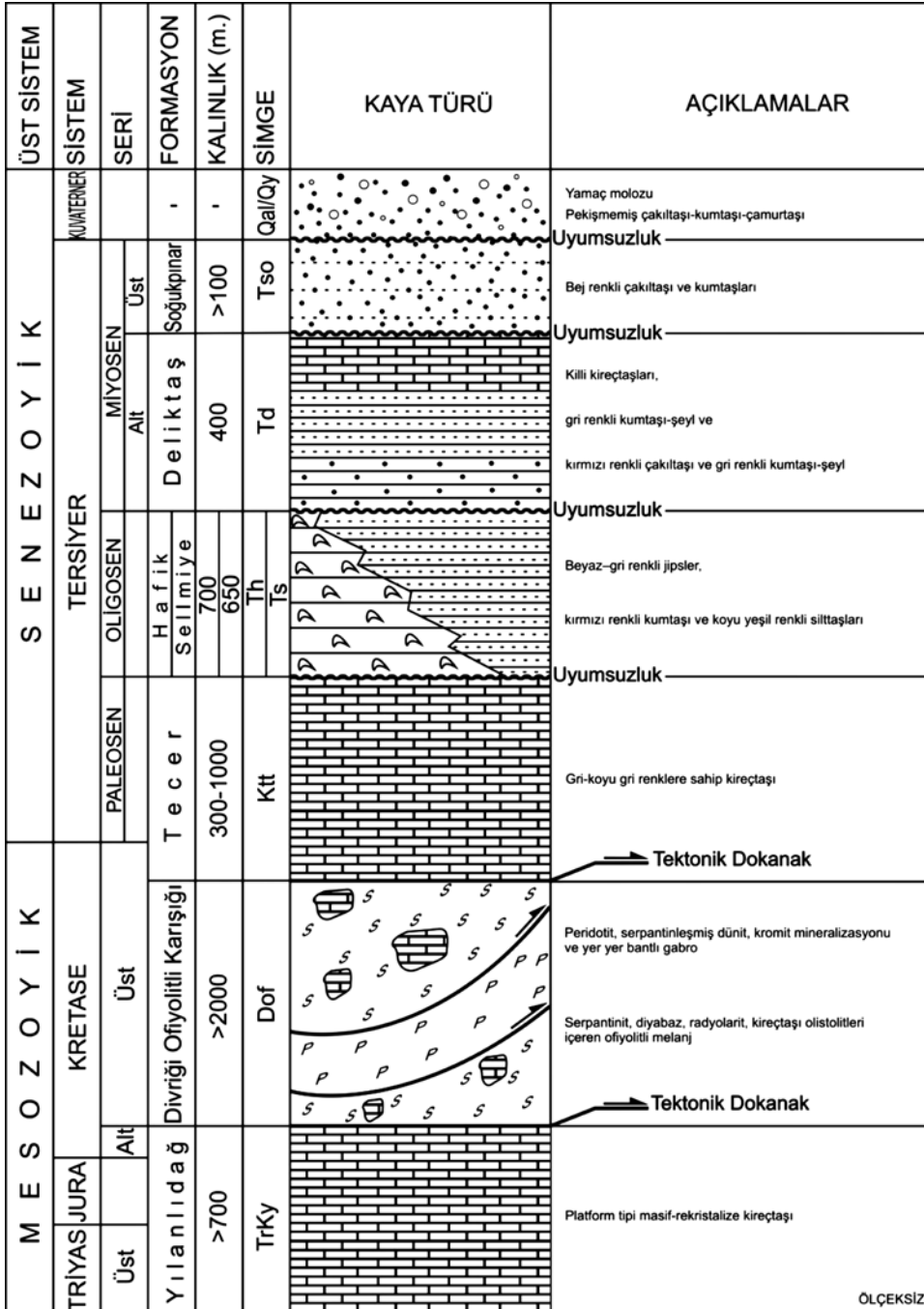
Şekil 1. İnceleme alanının gösteren yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

diyabaz ve piroksenit daykları yer almaktadır. Karışığın üzerine ise Üst Kretase-Paleosen yaşlı gri renge sahip resifal kireçtaşlarından oluşan Tecer formasyonu (KTt) tektonik dokanakla gelmektedir. Tecer formasyonunun üzerinde Oligosen yaşlı jips içeren karasal-sığ denizel çökel topluluğundan oluşan, düşey ve yanal geçişli Hafik/Selimiye formasyonu (Th/Ts) uyumsuz olarak yer almaktadır. Bu istif üzerinde uyumsuz bir ilişki sunan Alt Miyosen yaşlı kalın bir karasal çökel istifinden oluşan kırmızı renkli konglomera ve gri renkli kumtaşları-şeyl ile başlayıp görsel nitelikteki killi kireçtaşları ile tamamlanan Deliktaş formasyonu (Td) yer almaktadır. Deliktaş formasyonu üzerinde ise Üst Miyosen

yaşlı gri-bej renkli çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan Soğukpınar formasyonu (Tso) gelmektedir. İnceleme alanının en geç birimlerini ise

Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlar (Qal) oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti.

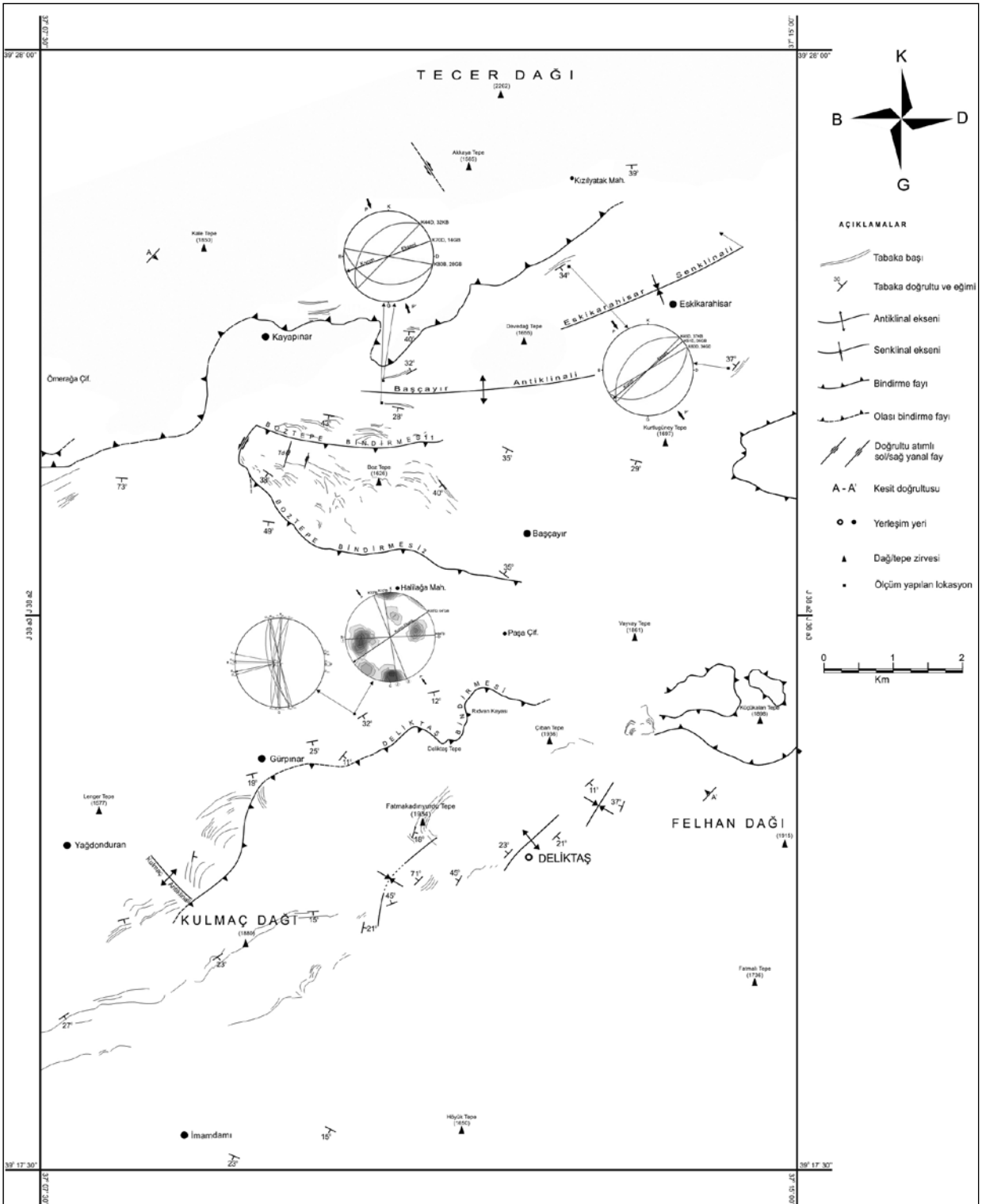
Figure 2. Stratigraphic section of study area.

## **İNCELEME ALANININ TEKTONİĞİ**

Arazi çalışmalarıyla birlikte uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının incelenmesi sonucunda hazırlanan inceleme alanının tektonik haritası Şekil 3' de görülmektedir. İnceleme alanı İç Torid Kenedi (Şengör ve Yılmaz, 1981; Gökten, 1993; Okay ve Tüysüz, 1999) üzerinde yer almaktadır. Bu kenet kuşağı boyunca Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı, Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı Yılanlıdağ formasyonunu oluşturan kireçtaşlarını tektonik olarak üzerlemektedir (Felhan Bindirmesi). İnceleme alanındaki en yaşlı birim olan Yılanlıdağ formasyonu ait kireçtaşlarında bölgede Alpin orojenik hareketlerine ve yoğun deformasyona uğraması nedeniyle kıvrımlı bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 3). Ancak bu kireçtaşları içerisinde gözlenen karstlaşmalar ve breşik doku katmanlanmaların gözlenmesini çoğunlukla olumsuz yönde etkileyen faktörler arasında bulunmaktadır. Bu temel üzerinde yer alan ve geniş alanda yüzeyleyen Alt Miyosen yaşlı Deliktaş formasyonuna ait birimlerden alınan katman doğrultu ve eğim ölçümlerini değerlendirmek için kontur ve gül diyagramları hazırlanmıştır. Buna göre iki farklı egemen katmanlanma düzleminin var olduğu ve bu katmanlanmaların da K 59° D / 09° GD ve K 52° D / 19° KB durumlarına sahip olduğu saptanmıştır. K 51° D / 05° GB durumlu Eskikarahisar senklinali, K 70° D / 14° GB durumlu Başçayır antiklinali bunlara örnek olarak verilebilir (Şekil 3). Egemen katman düzlemlerine bakıldığında,

bölgede yaklaşık KB-GD doğrultulu bir sıkışma rejiminin (P-P') hakim olduğu ve bunun etkisiyle kıvrımlanmaların meydana geldiği anlaşılmıştır. Ortaya çıkartılan kıvrım eksenin durumunun ise K 55° D gidişli ve 04° GB' ya dalımlı olduğu gözlenmiştir. Aynı ölçümlerden yararlanarak hazırlanan gül diyagramları formasyon içerisindeki egemen olan katmanlanma doğrultusunun KD-GB ve eğim yönünün ise KB ve GD yönlerinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 3). Selimiye formasyonuna ait birimler inceleme alanı içerisinde genel olarak güneye doğru eğimlidir. Soğukpınar formasyonu içerisindeki katmanlanma Kulmaç Dağı güney yamaçlarında güneye doğru eğimli olarak gözlenir ve güneye gidildikçe eğimin azaldığı ve yatay konum aldıkları gözlenmiştir.

İnceleme alanında gözlenen bir diğer bindirme fayı da Alt Miyosen yaşlı Deliktaş formasyonunu oluşturan kumtaşı birimi içerisinde gözlenen yaklaşık KD-GB uzanımlı yüzlek veren Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı Yılanlıdağ formasyonuna ait kireçtaşı birimi arasındaki dokanakta gelişmiştir. Bölgedeki en yaşlı kaya birimini olan Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı Yılanlıdağ formasyonuna ait kireçtaşları KD' ya doğru Alt Miyosen yaşlı Deliktaş birimi içerisindeki kumtaşı birimi üzerine bindirdiği gözlenmiştir. Bindirmenin etkisi ile birlikte kireçtaşı biriminde yoğun bir şekilde deformasyon ve doğrultu atımlı faylanmalar gelişmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanının tektonik haritası.

Figure 3. Tectonic map of study area.

Alt Miyosen yaşlı Deliktaş formasyonuna ait kireçtaşları içerisindeki ve kireçtaşı-kumtaşı sınırındaki bindirme, inceleme alanının orta kesimlerindeki Boz Tepe civarında gözlenmektedir. Bölgede aynı kireçtaşları içerisinde birbirine paralel olarak gelişmiş iki farklı bindirme olduğundan bunlardan ilki ve kireçtaşı içerisinde gelişmiş olan bindirme Boztepe Bindirmesi 1, kireçtaşı-kumtaşı birimleri arasında gelişmiş olan bindirme ise Boztepe Bindirmesi 2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 3).

Deliler Bindirme Kuşağı (Sağiroğlu, 2004) olarak adlandırılan ve inceleme alanı içerisinde Tecer Deresi'ne paralel yaklaşık D-B bir uzanıma sahip bindirme fayı gözlenmektedir (Şekil 3 ve 9). Tecer Bindirmesi, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Tecer formasyonuna ait birimlerin Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı üzerine bindirmesi sonucu oluşmuştur. Tecer Bindirmesi'ne ait bindirme fayı yamaç molozları tarafından örtüldüğünden dolayı inceleme alanında açık bir şekilde görmek mümkün değildir (Şekil 3 ve 9).

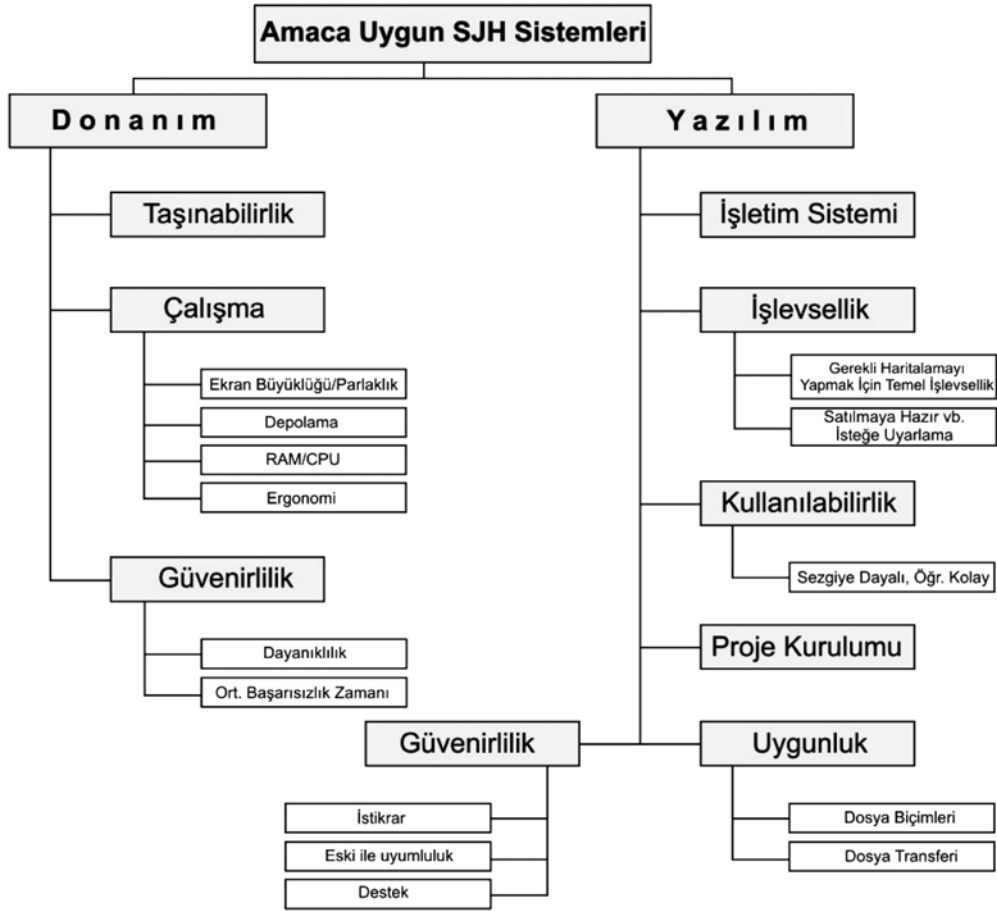
Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları yardımıyla belirlenen doğrultu atımlı faylardan Üst Kretase-Paleosen yaşlı Tecer formasyonu içerisinde gelişmiş olan doğrultu atımlı sağ yanal fay Kayapınar Fayı, Alt Miyosen yaşlı kireçtaşı birimi ile çakıltaşı birimini kontrol eden doğrultu atımlı sol yanal fay ise Başçayır Fayı olarak adlandırılmıştır. Ayrıca aynı bölgede yüzeyleyen Deliktaş formasyonuna ait kireçtaşı birimi içerisinde küçük boyutlu doğrultu atımlı faylanmalar da gözlenmiştir.

## **SAYISAL JEOLJİK HARİTALAMA**

Geleneksel jeolojik haritalamada, arazide yapılan veri toplama ve veri kayıt çalışmaları zaman alan işlemlerdir. Bu işlemlerde arazide kağıt haritalar altlık olarak kullanılmakta ve toplanan veriler ayrıca bir deftere kayıt edilmektedir. Daha sonra bu veriler büro çalışmaları ile tekrar gözden geçirilerek sayısal ortama aktarılmaktadır. Bu oldukça uzun, zahmetli ve dikkat isteyen bir süreçtir. SJH'nin birçok avantajı olmasına rağmen birçok yerbilimci geleneksel kağıt üzerinde haritalama yapmayı tercih etmektedir. Yerbilimcilerin bu konudaki ısrarının nedenleri, SJH yapımında kullanılan ekipman maliyeti ve güvenilirliği, bilişim teknolojilerine yatkınlık ve kullanılan tekniklerin öğrenilmesindeki zaman ve görece karmaşık sayısal haritalama sürecidir.

### **Sayısal Jeolojik Haritalama Sistem Gereksinimleri**

Geleneksel jeolojik haritalama ucuz, esnek, alışılmış ve güvenilirdir. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi bir SJH sistemi etkin olmanın yanı sıra belli avantajlar sunmak zorundadır. Burada önemli olan "amaca uygunluk" olup, SJH sistemi gereken görevlerini, haritalama sırasında karşılaşılan çevresel koşullar (aşırı soğuk ve sıcak, yüksek nem, çok ıslak veya kuru gibi) karşısında etkin, doğru ve tutarlı olarak yerine getirmelidir. Arazi çalışmalarından önce yapılacak çalışmanın amacına bakılmaksızın iyi tasarlanmış bir SJH sistemi için önemli olan kriterler Şekil 4'de verilmiştir (Clegg vd. 2006).



**Şekil 4.** Amaca uygun SJH sistemlerinin tasarlanması için önemli kriterler (Clegg vd. 2006).

**Figure 4.** Important criteria for the design of systems suitable for the purpose of digital geological mapping (Clegg et al., 2006).

Genel olarak iyi bir SJH sisteminde bulunması gereken özellikleri; güvenilirlik, dayanıklılık, amaca uygun fiyat, kullanılan yazılımın kolay, görsel bir ara yüze ve kullanıcı kontrolüne sahip olması gibi özellikler belirler. Geleneksel cihazlardan farklı olarak mobil cihazlar iki temel ayırt edici özelliğe sahiptir. Bunlar taşınabilirlik ve kapasitedir (bellek, işlemci hızı, ekran boyutu gibi). Kullanıcılar bir yandan daha küçük ve daha hafif taşınabilir cihazları tercih ederken diğer yandan grafiksel uygulamalar için geniş ekranlar ve güçlü işlemler

için de yüksek işlemci kapasitesine sahip cihazlara ihtiyaç duyarlar.

ArcPad, Mobil Coğrafi Bilgi Sistemi için ESRI firmasının geliştirilmiş özel bir yazılımıdır. ArcPad, kolay kullanıma sahip, düşük maliyetli ve arazide CBS fonksiyonlarından (zoom in/out/extent ve pan, seçili olan özelliklerin görüntülenmesi, grafik veri özelliklerinin görüntülenmesi, objelerle fotoğraf, video, dokümanların ilişkilendirilmesi, alan ve mesafe bilgilerini elde etme, veri girişi) bir kısmının



kullanımına izin vermektedir (Edmondo, 2003). ArcPad ve GPS alıcısının beraber kullanılması ile araziden direkt olarak coğrafi veriler hızlı ve kolay bir şekilde bilgisayar ortamında depolanabilir. ArcPad yazılımı, ESRI shape, raster (MrSID raster format, JPEG, BMP) formatlarını desteklemesi ile birlikte coğrafi koordinat (enlem/boylam), UTM, Gauss-Kruger, Lambert konformal konik gibi harita projeksiyonlarında da çözüm sunmaktadır. Windows CE 2.11, Windows 95/98, NT, 2000 ve XP işletim sistemlerini desteklemektedir.

Magellan Mobile Mapper 6.0 GPS, CBS amaçlı profesyonel veri toplama sistemlerinde kullanılan profesyonel bir sistemdir. Sistemin hem yazılımı hem de donanımı en kötü fiziksel şartlarda dahi en fazla verim alınmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Donanım; avuç içi boyutlarda, yaklaşık 225 gr ağırlığında, 2.7" dokunmatik ekrana sahip, tamamen su geçirmez ve düşmelere karşı dayanıklı kasaya sahip bir yapıdadır. Cihaz üzerinde fotoğraflı öznetelik verisi için 2 MP entegre kamera, ses için mikrofon

ve hoparlör, yön tayini için elektronik pusula, basınç için barometre, sınırsız veri kaydı için SD kart desteği, bluetooth ve USB bağlantısı yanında CBS çalışmaları haricinde Windows kişisel asistan uygulamaları gibi bir çok özellik bulunmaktadır. Ayrıca Türkiye’de geliştirilmiş ilk mobil coğrafi bilgi sistemi (MCBS) yazılım olması, Türkçe ara yüze sahip ve ArcInfo, AutoCad, Mapinfo, Netcad veri format desteği sağlaması gibi özelliklere de sahiptir.

### **Materyal ve Metod**

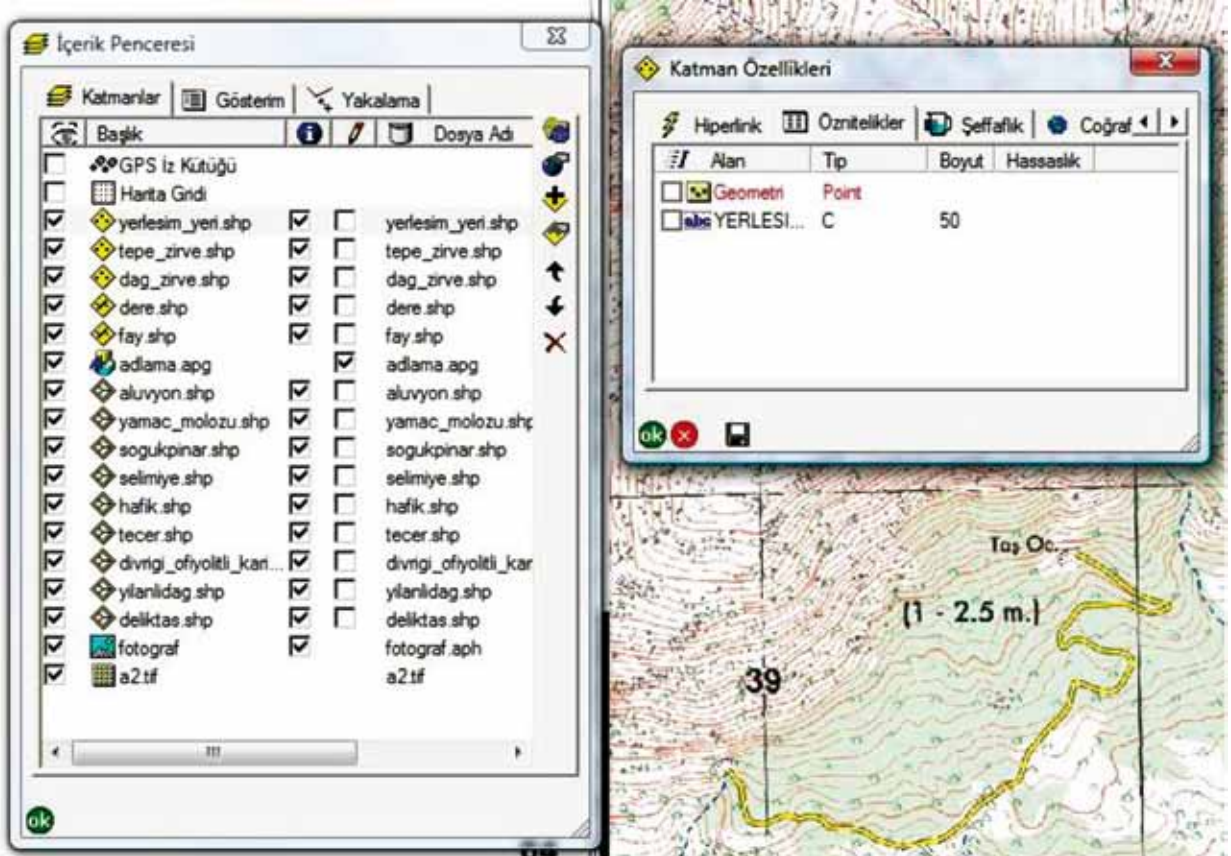
Bu SJH çalışmasında, inceleme alanına ait kaya türleri ve diğer jeolojik yapılar MCBS kapsamında tablet bilgisayar yardımıyla haritalanmıştır (Şekil 5). Bu işlemlere geçilmeden önce inceleme alanına ait J 38 a2 - J 38 a3 topografik haritaları içeren, HP Pavilion tx2550 tablet bilgisayar içerisinde kurulu olan ArcPad 7.1 ve Mobile Mapper 6.0 GPS içerisinde kurulu olan MakroPad yazılımları yardımıyla bir proje oluşturulmuştur. Tablet bilgisayar



**Şekil 5.** Arazide HP Pavilion tx2550 Tablet PC yardımı ile yapılan sayısal jeolojik haritalama çalışması.  
**Figure 5.** Digital geological mapping using HP Pavillion tx 2550 Tablet PC in field.

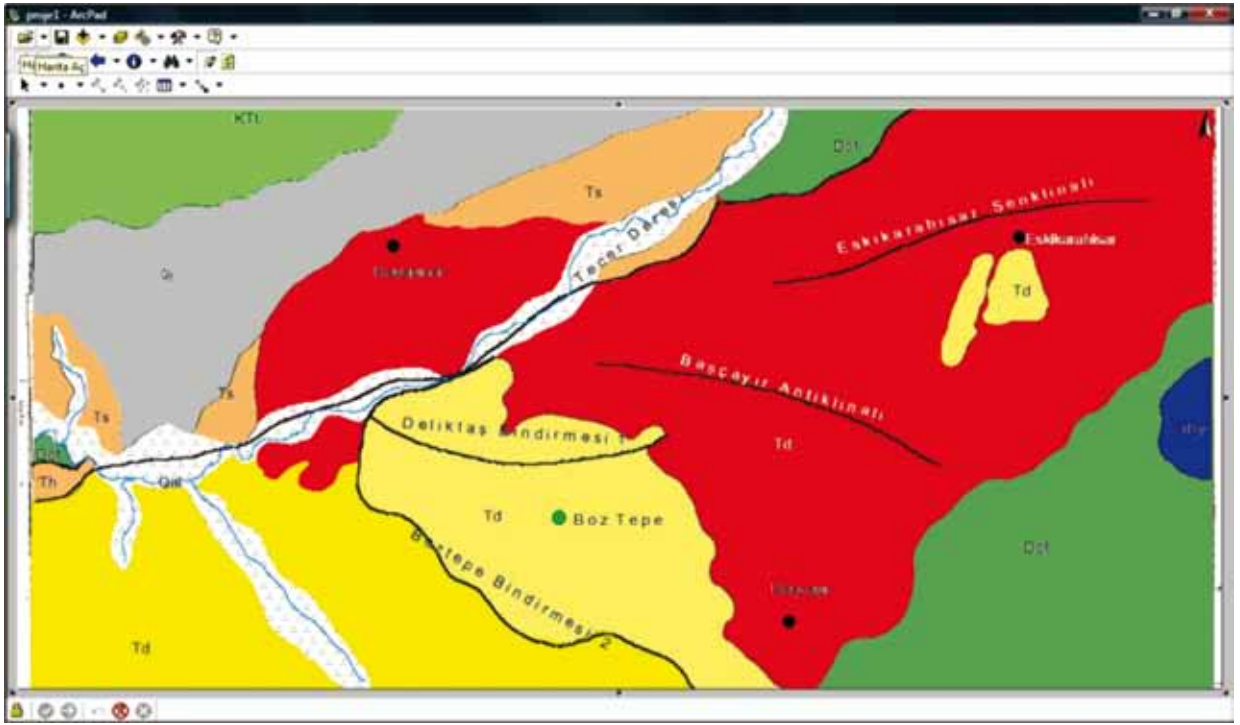
içerisinde kurulu olan ArcPad 7.1 yazılımı ile yapılan SJH çalışmasında GPS'den bağımsız bir haritalama gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında yapılan çalışmayla bölgede yüzeyleyen kaya türleri ve jeolojik yapılara ait özellikler belirlenerek oluşturulan her bir veri katmanını tablet bilgisayar üzerine çizilerek kayıt edilmiştir. Bu aşamada, bölgede yüzeyleyen kaya türü alanlarını temsil eden poligon özelliğindeki katmanlar; faylar, dereler ve yollara ait çizgi özelliğindeki katmanlar; yerleşim yeri, tepe ve dağ zirvelerine

ait nokta özelliğindeki katmanlar ve bu özelliklerin adlandırılması için metin özellikli katmanlarla birlikte fotoğraflandırılması için fotoğraf katmanı oluşturulmuştur. Şekil 6'da toplanan verilere ait katmanlar ve bu katmanlara ait geometrik özellikler gösterilmektedir. Oluşturulan her bir veri katmanına, kaya türleri ve jeolojik yapıların nitelikleri ve çalışma sırasında alınan fotoğraflar eklenmiş ve sayısal jeolojik haritalama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. HP Pavilion tx2550 Tablet PC yardımı ile sayısal jeolojik harita alımında toplanan verilere ait katmanlar ve bu katmanlara ait geometrik özellikler.

**Figure 6.** Beddings and their geometrical features gathered from digital geological mapping using HP Pavilion tx2550 Tablet PC.



Şekil 7. HP Pavilion tx2000 Tablet PC içerisinde kurulu olan ArcPad 7.1 yazılımı yardımıyla oluşturulan sayısal jeolojik harita.

**Figure 7.** Digital geological map of study area using ArcPad 7.1 software.

MakroPad yazılımı, veri tabanı özelliği ile arazide çoktan seçmeli veri girişine imkan sağlamaktadır. Bu yazılımla, raster (.ecw) ve vektör (.dxf, .ncn, .shp, .mif) verileri mobil aygıtlarda açmak ve daha önceden yapılmış çalışmaları altlık olarak kullanmak mümkündür. İnceleme alanına ait topografik haritalar NetCAD GIS 5.0 yazılımı yardımıyla rektifiye edildikten sonra (.ecw) formatında kaydedilmiştir. Bu dosya daha sonra masaüstü bilgisayarda kurulu olan MakroMap yazılımında açılarak (.mpw) formatında bir proje oluşturulmuştur. MakroMap yazılımının amacı, MakroPad Mobile yazılımı ile oluşturulan projelerin düzenlenmesi, farklı formatlara dönüştürülmesi ve farklı formattaki verilerin MakroPad Mobile yazılımına aktarılmasıdır. Oluşturulan bu proje Mobile Mapper 6.0 GPS

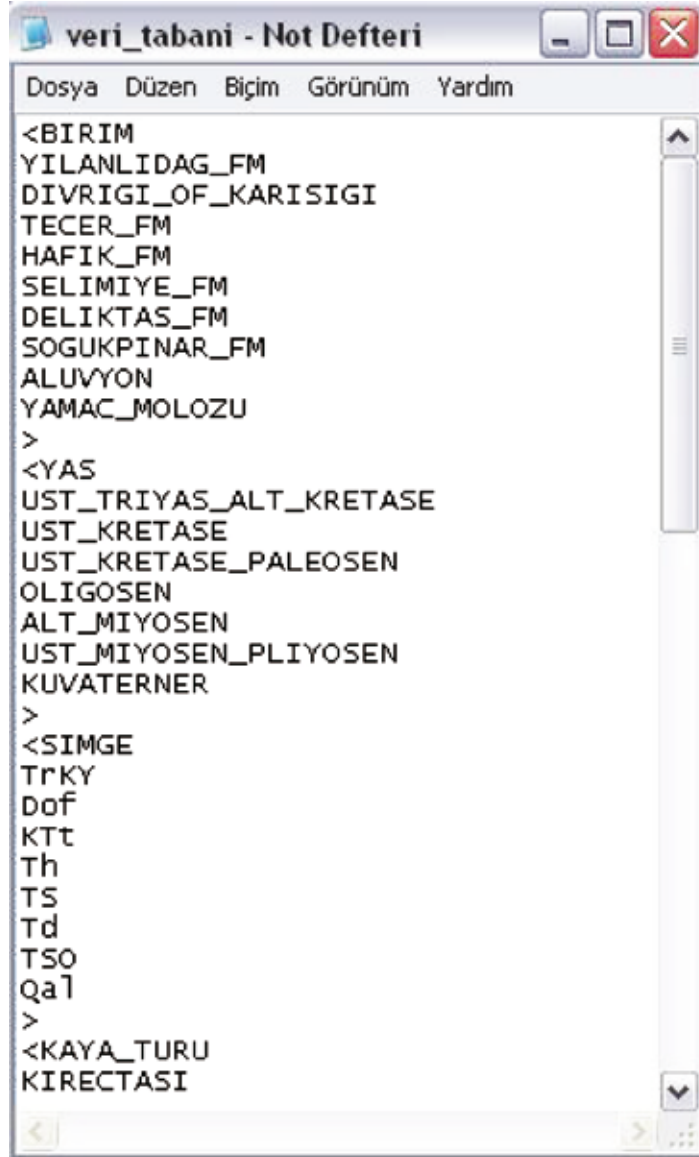
cihazı içerisine USB bağlantı kablosu yardımıyla aktarılmıştır.

Mobile Mapper 6.0 GPS cihazı içerisine aktarılan (.mpw) formatındaki veri MakroPad yazılımında açılmış ve yapılacak olan çalışmanın amacına uygun kaya türü ve jeolojik yapılarait özellikleri ifade eden veri katmanları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu katman içerisinde haritalama esnasında kullanılan tüm çizim unsurları (nokta, çizgi, kapalı alan, çoklu çizgi vb.) yer almaktadır. Katmanlara istenilen öznitelik sütunları eklenebilmekte ve nokta alımı sırasında veya daha önceden oluşturulan veri tabanından bu hücrelere veri girişi yapılabilmektedir. Veri tabanı, oluşturulan katman özniteliklerine sürekli girilen bilgileri çoktan seçmeli olarak listelemek ve bilgi girişini hızlandırmak için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada oluşturulan veri tabanı Şekil 8' de verilmiştir.

Mobile Mapper 6.0 GPS cihazı ve MakroPad yazılımı ile oluşturan SJH çalışmalarında inceleme alanında yüzeyleyen kaya türleri ve jeolojik yapılara ait veriler

cihazda bulunan dokunmatik kalem yardımı ile arazide ekran üzerinden çizilmiş ve her bir çizim unsuru için öznitelikler seçilerek kaydedilmiştir. Oluşturulan çizim unsurlarına ait özelliklerde kullanıcının isteğine bağlı olarak değişim yapmak mümkündür.

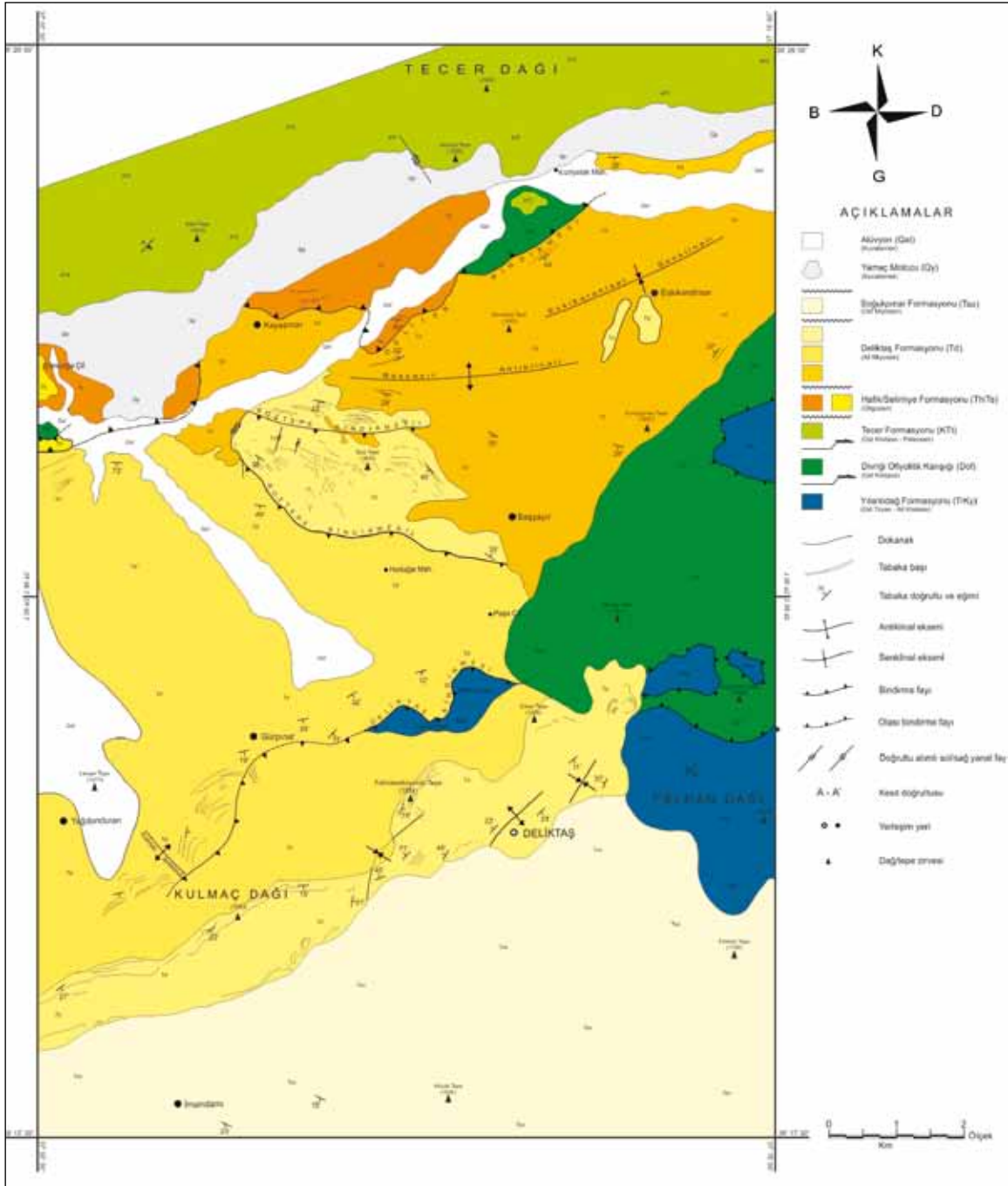


**Şekil 8.** Mobile Mapper 6.0 GPS ve MakroPAD yazılımı yardımıyla oluşturulan SJH veri tabanının bir bölümü.

**Figure 8.** A view of digital geological mapping database using Mobile Mapper 6.0 GPS and MakroPAD softwares.

Bu donanım ve yazılım yardımıyla inceleme alanına ait SJH oluşturulmuştur (Şekil 9). Oluşturulan proje dosyası USB bağlantı kablosu

yardımla masaüstü bilgisayara aktarılmış ve gerekli görülen düzenlemeler MakroMAP yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. İnceleme alanına ait sayısal jeolojik harita.

Figure 9. Digital geological map of study area.

## ASTER UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE JEOLJİK İNCELEME

İnceleme alanını içine alan pg-PR3A0100-2003122003\_005\_001 granül numaralı ASTER görüntüsüne, arazide gerçekleştirilen jeolojik haritalama çalışmalarını destekleyen ve kontrol etme olanağı sağlayan görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır. Söz konusu bu işlemler Er Mapper 7.01 görüntü işleme yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme yöntemleri olarak sırasıyla parazit azaltma, bant kombinasyonu oluşturulması, bant oranlama, temel bileşen analizi, dekorelasyon gerilmesi ve sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. Bilindiği gibi uydu görüntüleri ham veriler olup bu görüntülerden sağlıklı bilgiler ortaya çıkarılması amacıyla görüntüde algılayıcıdan, güneş ışınımından, atmosferik olaylardan kaynaklanan sorunların en baştan çözülmesi gereklidir. Bu kapsamda görüntüde topografya, algılayıcı ve güneş ışınımından kaynaklanan parazitlerin giderilmesine yönelik düzeltmeler yapılmıştır.

### ASTER Görüntü Verisi

ASTER algılayıcısı, yeryüzünden 705 km yükseklikteki bir yörüngede hareket eden Terra platformu üzerine monte edilmiştir. ASTER verileri; bitki örtüsü ve ekosistem dinamiği, doğal afet izleme, jeoloji ve toprak, kara alanların

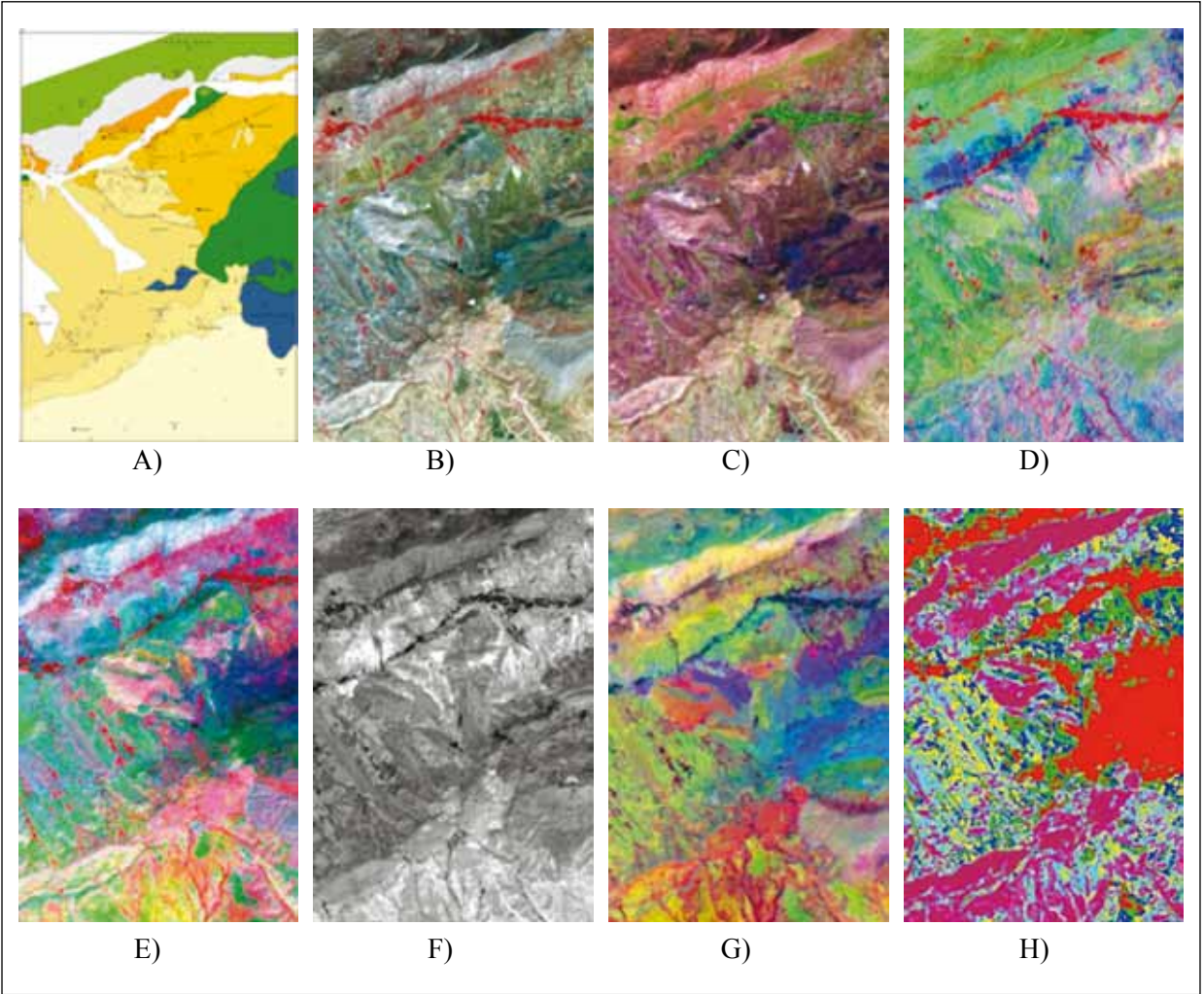
iklimselliği, hidrojeoloji ve kara alanların değişimi gibi çok değişik alanları kapsayan uygulama alanlarında tercih edilmektedir (ASTER User's Guide, 2005). ASTER görüntülerinin yersel çözünürlüğü dalga boyu aralığına göre değişiklik gösterir. Buna göre; görünür ve yakın kızıl ötesi (VNIR) dalga boyunda 15 m, kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) dalga boyunda 30 m ve termal kızıl ötesi (TIR) dalga boyunda ise 90 m'dir (Çizelge 1). Buna ek olarak görünür-yakın kızıl ötesi bölümündeki geriye-bakış özelliği algılayıcı stereo görüntü oluşturmaya olanak sağlamaktadır.

ASTER görüntüleri özellikle kayaç tipi tanımlaması, ayrıntılı volkanik aktivite haritalaması, çizgisel ve dairesel yapıların belirlenmesi, hidrotermal alterasyon alanlarının ve mineralojik zon haritalarının hazırlanması, jeotermal alanların belirlenmesi, stereoskopik üç boyutlu görüntü elde edilmesi vb. gibi jeolojik amaçlara yönelik olarak kullanılmaktadır (Rowan ve Mars, 2003; Gomez vd. 2005; Gad ve Kusky, 2007). ASTER görüntülerinden elde edilen stereoskopik üç boyutlu görüntülerle tektonik ve yersel çalışmalar yapılabilir. ASTER görüntüleri üzerine uygulanan bu görüntü işleme yöntemleri sonucunda ortaya çıkan görüntüler ile arazide yapılan çalışmalar ile elde edilen jeoloji haritası (Şekil 10.A) karşılaştırıldığında büyük ölçüde birbirine paralel sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür.

**Çizelge 1.** ASTER uydu görüntülerinin bant bilgileri ve birincil uygulama alanları.

**Table 1.** Band information and principal application areas of ASTER imagery.

Alt sistem		Bant	Spektral aralık (µm)	Alansal çözünürlük (m)	Birincil uygulama alanları
VNIR	görünür ve yakın kızıl ötesi (visible and near infrared)	1	0.52 – 0.60	15	jeoloji, demiroksit mineralleri, mercan resiflerinin haritalanması, sayısal yükseklik modeli, buzul izleme, kara alanların sınıflandırılması ve değişim belirleme, bulut sınıflaması, toprak nemliliği, yüzey enerji dengesi, yerleşim yeri gelişimi, bitki örtüsü kapsamı, volkanların izlenmesi, sulak alanların haritalanması.
		2	0.63 – 0.69	15	
		3 N 3 B	0.78 – 0.86	15	
SWIR	kısa dalga kızıl ötesi (short-wave infrared)	4	1.600 – 1.700	30	jeoloji, hidrotermal alterasyon alanları, toprak sınıflaması, karasal alanların sınıflandırılması, değişim belirleme, yüzey enerji dengesi, volkanların izlenmesi.
		5	2.145 – 2.185	30	
		6	2.185 – 2.225	30	
		7	2.235 – 2.285	30	
		8	2.295 – 2.365	30	
TIR	termal kızıl ötesi (thermal infrared)	9	2.360 – 2.430	30	jeoloji, yangın izleme, kara alanların sınıflandırılması, değişim belirleme, bulut sınıflaması, toprak nemliliği, yüzey enerji dengesi, yüzey kinematik ısısı, şehir gelişimi, bitki örtüsü, volkan izleme, sulak alanların haritalanması.
		10	8.125 – 8.475	90	
		11	8.475 – 8.825	90	
		12	8.925 – 9.275	90	
		13	10.25 – 10.95	90	
		14	10.95 – 11.65	90	



**Şekil 10.** İnceleme alanına ait jeoloji haritası ile ASTER görüntüsü üzerinde uygulanan görüntü işleme yöntemleri ile elde edilen görüntülerin karşılaştırılması. İnceleme alanının jeoloji haritası.

**Figure 10.** Comparison of geological map and ASTER digital image processing results. Geological map (A), ASTER 321 (RGB) combination (B), ASTER 631 (RGB) combination (C), ASTER 4/7, 4/3, 2/1 (RGB) (D), Decorrelation stretching (E), 2/1 iron content (F), Principal component analysis (PCA) and unsupervised classification (H) procedures.

### Sayısal Görüntü İşleme

ASTER görüntüsünün belirli bantları 321 (RGB) renk bileşiği olarak görüntülendiğinde litolojik birimlerin sınırlarını belirlemede yardımcı olmaktadır (Şekil 10.B). İnceleme alanında yüzey örtü tiplerini en iyi şekilde ifade eden bant kombinasyonunun oluşturulması için yapılan çalışmada ASTER 631 bant kombinasyonu en

uygun bileşiklerden birisi olarak ortaya çıkarılmıştır (Şekil 10.C). Bu kombinasyon Landsat TM algılayıcının 742 (RGB) bant kombinasyonuna denk gelmektedir (Pena ve Abdelselam, 2006). Şekilde görülebileceği gibi bitki örtüsüne karşılık gelen yeşil renk dışındaki bölgeler genel olarak inceleme alanında çoğunlukla arazi örtüsünü oluşturan yüzeyleşmiş kaya birimlerine karşılık



gelmektedir. Görüntünün batısında daha çok yaygın olarak yüzeyleyen pembe rengin inceleme alanının batısında yüzeyleyen Alt Miyosen yaşlı kırıntılı birimleri, doğuda izlenen koyu mavi, lacivert renkteki bölgelerin Üst Kretase yaşlı ofiyolitik karışığa ait birimleri temsil ettiği söylenebilir. Bu birimlerin güneyinde yüzeyleyen açık pembe ve krem renkli alanlarda yüzeyleyen birimlerin ise Üst Triyas-Kretase yaşlı kireçtaşı ve Kangal Havzası'na ait Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genç kırıntılı birimlere karşılık geldikleri söylenebilir (Şekil 10.C).

Oranlama, görüntü işleme çalışmalarında spektral kanalların matematiksel olarak birbirine bölümüyle ifade edilir. Bant oranlaması ile yeryüzüne ait farklı örtü tipleri arasındaki spektral farklılıklar belirginleştirilir. Bu işleme göre, yeryüzü objelerinin yüksek yansıma değerinin düşük yansıma değerindeki banda bölünmesiyle ortaya çıkan yansıma ve renk farklılıklarının inceleme alanında yüzeyleyen farklı kayaç gruplarının yayılımları hakkında sağlıklı yorumlar yapılabilmesi mümkün olmaktadır.

Elektromanyetik spektrumun dalga boylarındaki belirli soğurma değeri, bazı kimyasal element ve iyonların bulunuşu, bazı elementlerin iyonik yüklemesi ve elementler arasındaki kimyasal bağların geometrisi yüzey tipleri arasındaki bu farklılıkları yaratır. Örneğin,

demiroksit, hidroksit ve kil mineralleri gibi bazı hidrotermal alterasyon mineralleri belirli spektral aralıklarda yüksek yansıma gösterirken, bazı spektral aralıklarda ise soğurulma özellikleri gösterir. Bant oranlaması yöntemi ile söz konusu değerler birbirine bölünerek jeolojik birimlerin de içinde bulunabileceği yüzey örtü tipleri çevrelerine göre daha belirgin hale getirilebilir.

Jeolojik uygulamalar için oldukça önemli olan bant oranlama çalışmalarına örnek olarak Abram oranı olarak da bilinen ve ASTER görüntülerinde 4/7, 4/3, 2/1 (RGB) bant kombinasyonuna karşılık gelen renk bileşimi Şekil 10.D'de görülmektedir. Bu bileşikler oluşturulan 4/7 oranı kırmızı renk ile temsil edilmekte olup bitki örtüsüne karşılık gelmekte, 4/3 oranı kil ve karbonatlı kaya gruplarını ifade etmekte olup görüntüde yeşil renkli bölgelerin bu kayaları ifade ettikleri söylenebilir (Şekil 10.D). 2/1 oranı ise demir içeriğinin yoğun olarak bulunduğu bölgeleri göstermekte olup görüntüde yansımanın yüksek olduğu açık renkteki bölgeler olarak gözlenir (Şekil 10.F). ASTER görüntülerine uygulanan oranlama işlemi uygulamalarında hiperspektral veriler kadar sağlıklı olmasa bile mineral düzeyinde litolojik ayrımlanmaya sağlıklı bir yaklaşım yapılabilmektedir. Bu amaçla Kalinowski ve Oliver (2004)'ün geliştirdiği tablo ve referans çalışmalar Çizelge 2'de görülmektedir.

**Çizelge 2.** Jeolojik ayrışma ve mineral haritalaması için kullanılan bazı oranlamalar (Kaliknowski ve Oliver, 2004).

**Table 2.** Template ratioing values for geological differentiation and mineral mapping (Kaliknowski and Oliver, 2004).

Özellik	Bant Oranı	Açıklamalar	Referans
<b>Demir</b>			
Ferrik demir, Fe <sup>3+</sup>	2/1		Rowan ve Mars, 2003, Hewson ve diğ., 2001-2004
Demirli demir, Fe <sup>2+</sup>	5/3 + 1/2		Rowan ve Mars, 2003
Laterit	4/5		Bierwith ve diğ., 2002
Gossan (Demir Şapka)	4/2		Volesky ve diğ., 2003
Demirli silikat (Biyotit, klorit, amfibol)	5/4	Fe oksit Cu-Au Alterasyon	Hewson ve diğ., 2001-2004
Ferrik oksitler	4/3	Mutlak olabilir	Hewson ve diğ., 2001-2004
<b>Karbonatlar / Mafik Mineraller</b>			
Karbonat / Klorit / Epidot	(7+9)/8		Rowan ve Mars, 2003
Epidot / Klorit / Amfibol	(6+9)/(7+8)	Endoskarn	Hewson ve diğ., 2001-2004
Amfibol / MgOH	(6+9)/8	MgOH yada karbonat olabilir	Hewson ve diğ., 2001-2004
Amfibol	6/8		Bierwith ve diğ., 2002
Dolomit	(6+8)/7		Rowan ve Mars, 2003
Karbonat	13/14	Ekzoskarn (kalsiyum/dolomit)	Bierwith, Ninomiya, Hewson ve diğ., 2001-2004
<b>Silikatlar</b>			
Serizit / muskovit / illit / simektit	(5+7)/6	Fillik alterasyon	Rowan ve Mars, 2003 Hewson ve diğ., 2001-2004
Alunit / kaolinit / pirofillit	(4+6)/5		Rowan ve Mars, 2003
Phengitic	5/6		Hewson ve diğ., 2001-2004
Muskovit	7/6		Hewson ve diğ., 2001-2004
Kaolinit	7/5	Sadece tahmini	Hewson ve diğ., 2001-2004
Kil	(5x7)/6 <sup>2</sup>		Bierwith ve diğ., 2002
Alterasyon	4/5		Volesky ve diğ., 2003
Host rock	5/6		Volesky ve diğ., 2003
<b>Silis</b>			
Kuarsca zengin kayalar	14/12		Rowan ve Mars, 2003
Silis	(11x11)/10/12		Bierwith ve diğ., 2002
Bazik derece indeksi (gnt, cpx, epi, chl)	12/13	Ekzoskarn (gnt, px)	Bierwith ve diğ., 2002 Hewson ve diğ., 2001-2004
SiO <sub>2</sub>	13/12	14/12 gibi	-
SiO <sub>2</sub>	12/13		Ninomiya, 2002
Silisiye kayaçlar	(11x11)/(10x12)		Ninomiya, 2002
Silis	11/10		Hewson ve diğ., 2001-2004
Silis	11/12		Hewson ve diğ., 2001-2004
Silis	13/10		Hewson ve diğ., 2001-2004
<b>Sülfat</b>	(10x12)/(11x11)		Öztan ve Süzen., 2011
<b>Diğer</b>			
Bitkiler	3/2		-
NDVI	(3-2)/(3+2)	Normalden farklı bitki indeksi	-

Temel bileşenler analizi (Principal Components Analysis-PCA), aralarında korelasyon bulunan değişkenler setini aralarında korelasyon olmayan yeni bir değişken setine dönüştüren istatistiksel bir görüntü işlem yöntemidir. PCA dönüşümü genelde spektral fazlalığı azaltmak için diğer bir anlatımla, verinin boyutunu azaltmak amaçlanır. Ancak bunu yaparken içerilen değerli bilginin bazen % 95'inden fazlası gibi çok büyük bir oranı korunur. Ayrıca PCA dönüşümü, ham veride gizlenmiş ya da görülemeyen spektral özellikleri daha belirgin hale getirir. Analiz, benzer verileri sıkıştırarak veri tekrarını önler ve orijinal veriden daha yorumlanabilir bir görüntü elde edilmesini sağlar. Bu teknik hidrotermal alterasyon minerallerinin görsel olarak yorumlanmasında ve tanımlanmasında yararlıdır (Erdas Field Guide, 2003; Abera, 2005).

Esası temel bileşenler analizi olan dekorelasyon gerilmesi ise korelasyonu yüksek olan çok bantlı görüntüler için bir renk zenginleştirme tekniğidir. Renklerdeki abartı sayesinde görsel yorumlama geliştirilir ve özellikler daha kolay tanımlanır. Dekorelasyon gerilmesi bantlar arasındaki varyasyonu artırarak yüksek derece ilişkilendirilmiş bantları görüntüleme için kullanılan bir yöntemdir. Görüntülere dekorelasyon gerilmesi uygulamak aslında bantların ilişkilendirilemediği spektrum alanlarını öne çıkarmak ve bantlar arasındaki azami ilişkilendirmeyi sağlamaktır (Şekil 10.E). Özellikle bitki örtüsü olmayan bölgelerde başarılı sonuçlar alınır. Bölgenin ASTER görüntüsüne dekorelasyon gerilmesi (decorrelation stretching) uygulanmıştır. Bu yöntemin esasını bantlar arası korelasyonun küçültülmesi ve ek olarak yorumun görsel açıdan artırılmasına yönelik aralık dinamik bir uzanım işleminin uygulanması oluşturur. Bu yöntem ile karbonatlı kayalara ait yüzleklerin açık pembe renkte gözlemlendiği ve diğer birimlerle olan sınırı net

bir şekilde ortaya konulduğu halde doğudaki koyu yeşil-mavi renkte gözlenen ofiyolitik karışığa ait kayalar içindeki ayrımlanmanın belirgin olmadığı izlenebilmektedir (Şekil 10.E).

ASTER görüntülerine uygulanan ve ortaya çıkan en iyi sonuçlardan birisini SWIR bantlarına uygulanan temel bileşen analiz işlemi vermiştir (Şekil 10.G). Bu görüntüde de izlendiği gibi uygulanan PCA işleminde bölgede özellikle ofiyolitik karışığa ait kayaların doğudaki bölgelerde mavi renklerde, Alt Miyosen yaşlı çakıltaşları eflatun, kireçtaşları kırmızı ve diğer kırıntılılar ise yeşil-açık yeşil renklerde görülmektedir. Ayrıca inceleme alanının güneydoğusunda bulunan Üst Triyas-Alt Kretase yaşlı birimleri açık pembe-gri renkte görülür.

Sayısal görüntüler olan uydu görüntülerinin sınıflandırmasının amacı, bir görüntüdeki aynı spektral özellikleri taşıyan pikselleri arazi sınıflarına veya konularına göre otomatik olarak sınıflara ayırma işlemidir. Normalde sınıflandırma için çok bantlı görüntü verisi kullanılır ve gerçekte her bir pikselin içindeki veride bulunan spektral desen, sınıflandırmadaki nümerik temel için kullanılır. Yani, farklı coğrafi detaylar kendi spektral yansıma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı parlaklık değer kombinasyonu gösterirler. Bu bilgiler ışığında, piksellerin bilinen özelliklerine göre birbirleriyle karşılaştırılarak, benzer piksel gruplarını bir araya toplayarak kullanıcıların uzaktan algılama verisini tanıyabilecekleri sınıflara ayırmak mümkündür. Bu sınıflar görüntü veya harita üzerindeki bölgelerini şekillendirir. Sınıflandırmadan sonra, dijital görüntü sembol veya renk ile tanımlanan düzenli sınıflar gibi görünür.

Sınıflandırma yöntemleri kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olarak farklı iki şekilde incelenmektedir. Jeolojik uygulamalarda sınıflama yöntemleri tamamen litolojik birimler

olan yüzey örtü tiplerinin birbirinden ayrılmasını amaçlamaktadır. Kontrollü sınıflandırmada, analiz bilgisayara örnek bir alanı tanımasını ve buna göre sınıflandırmayı yapmasını isterken, kontrolsüz sınıflandırmada insiyatif tamamen bilgisayarda olup analiz sadece spektral sınıf sayısını belirler ve bilgisayar görüntü işlem yazılımı yardımıyla görüntüyü ilgili spektral sınıf sayısına bölerek birbirinden ayrılacak yüzey örtü tiplerini belirler. İnceleme alanına ait ASTER görüntüsü üzerine uygulanan son görüntü işleme yöntemi kontrolsüz sınıflandırma oluşturmuştur. Şekil 10.H da görülebileceği gibi izodata yöntemi ile inceleme alanında yer alan farklı yüzey örtü tiplerinin spektral sınıflara bölünerek sınıflandırılması yapılmış ve jeolojik harita ile karşılaştırıldığında diğer görüntü işleme yöntemlerine göre litolojik ayrımlanmanın bir dereceye kadar saptandığı sonucuna varılmıştır.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 2008 yaz ve 2009 bahar aylarında yapılan arazi çalışmalarında, inceleme alanına ait 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır (Şekil 9). Arazide yapılan çalışmalar sonucunda inceleme alanına ait iki farklı yazılım ve donanımda hazırlanmış sayısal jeolojik harita oluşturulmuştur. Bu harita, daha sonra yapılacak olan bir başka çalışma için erişimi kolay ve kısa zaman alan bir veri tabanı özelliğine sahip sayısal jeolojik harita olacaktır.

Sayısal jeolojik harita alımlı için gerekli donanım ve yazılımlar hakkında bilgi edinildikten sonra arazide haritalama çalışmalarına başlanmıştır. Bu inceleme kapsamında yapılan SJH çalışmaları hem tablet bilgisayar ve ArcPAD yazılımı hem de Mobile Mapper 6.0 GIS ile MakroPad-Map yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan donanım ve

yazılımların fazla olmasından dolayı SJH çalışmalarında kullanılan donanım ve yazılımları karşılaştırma fırsatı bulunmuş ve arazi şartları dikkate alınıp donanımların taşınabilirliği açısından bakıldığında, Mobile Mapper 6.0 GIS donanımı ve MakroPad-Map yazılımının daha kullanışlı olmasına rağmen kullanılabilirlik için dokunmatik ekran boyutunun küçük ve çok hassas olmasından dolayı pek uygun olmadığı görülmüştür. Bu makalenin yazıldığı tarih itibarıyla bu çalışma haricinde, Türkiye’de arazide sayısal jeolojik harita alımına yönelik herhangi bir kayda rastlanmamıştır.

İnceleme alanı ve civarında daha önce yapılan çalışmalar taranmış ve bu çalışmalarda bahsedilmeyen faylanmalar (Deliler Bindirme Kuşağı, Deliktaş Bindirmesi, Boztepe Bindirmesi 1-2, Başçayır Fayı) ve kıvrımlanmalar (Başçayır antiklinali, Kulmaç antiklinali) ortaya çıkarılmıştır.

İnceleme alanına ait ASTER görüntüsü üzerinde görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır. Genel olarak spektral zenginleştirme yöntemleri Er Mapper 7.01 yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Spektral zenginleştirme yöntemleri olarak parazit azaltma, bant kombinasyonu, bant oranlama, temel bileşen analizi, dekorelasyon gerilmesi ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır.

ASTER görüntüleri üzerine uygulanan bu görüntü işleme yöntemleri sonucunda ortaya çıkan görüntüler ile arazide yapılan çalışmalar ile elde edilen jeoloji haritası karşılaştırıldığında büyük ölçüde birbirine paralel sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y146 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## **EXTENDED SUMMARY**

*Digital data has gained importance in earth sciences during the recent years increasingly. Measuring, collecting and recording geological data such as planar and linear structural elements as well as area based boundaries and point based observations during field studies are required for an accurate and trustworthy mapping procedure. As it is well known, conventional approach at geological mapping is to produce analogue, paper based products from field surveys to be digitized later at office. Whereas, mapping geological features digitally during field efforts would save time and reduce the paper work with user-friendly hardware and software components.*

*As of now, currently there are no digital geologic mapping efforts observed rather than this research in Turkey. A wide spectrum of hardware, software and generic tools has been used in this geological research. HP Pavillion tx 2550 tablet pc, Mobile Mapper 6.0 GPS, and Breithaupt Kassel Tectronic 4000 electronic compass can be counted as examples of used hardware and digital tools. On the other hand, ArcPad 7.1, MakroPad/Map, Er Mapper 7.1 and NETCAD software have also been utilized both for data input and image analysis procedures.*

*Research area is located on the Inner Tauride Suture and has an importance in understanding the paleotectonic evolution of the region (Şengör and Yılmaz, 1981; Gökten, 1993; Okay and Tüysüz, 1999). Southern part of the Tecer Mountains in Sivas Tertiary Basin on the Inner Tauride Suture Zone has been selected as the test area due to its sparse vegetation which would not obstruct the lithological differentiation.*

*The exposed units in the study area are geologically located on the inner Tauride suture and is possible to list from bottom to top as:*

*Upper Triassic-Lower Cretaceous crystallized platform limestones of Yılanlıdağ formation from Tauride belt (TrKy) forms the basement in the region. These base units are tectonically overlain by Upper Cretaceous Divriği ophiolitic melange (Dof). The ophiolitic melangé is characterized by a serpentinitic matrix and limestone and radiolarian olistolith clasts in the form of a melangé. Above this unit an incomplete series of ophiolite and serpentinitized dunite and harzburgites mantle tectonites are present which were cut by isolated diabase and pyroxenite dykes. The melange is overlain tectonically by the Upper Cretaceous-Paleocene grey reefal limestones of Tecer formation (KTt). Oligocene gypsum bearing terrestrial-shallow marine sediments with both vertical and horizontal transitions named as Hafik / Selimiye formation (Th / Ts) unconformably overlies Tecer formation. Furthermore, this sequence is unconformably overlain by Lower Miocene Deliktaş formation (Td), that starts with a thick terrestrial sedimentary sequence characterized by red conglomerates and greyish sandstone shale alternations, ends with lacustrine argillaceous limestones. Upper Miocene conglomerates and sandstones of gray-beige color Soğukpınar formation (Tso) is overlain conformably with Deliktaş formation. The youngest units of the study area are Quaternary talus deposits and alluvium (Qal).*

*Late Cretaceous Divriği ophiolitic melangé tectonically overlies Upper Triassic-Lower Cretaceous Yılanlıdağ limestones (Felhan Thrust) along Inner Tauride suture zone. Yılanlıdağ formation limestone which is the oldest unit of the region of the Alpine orogenic movements suffered intense folding deformation. However karsts and brecciated texture often hampers the observation of beddings in region. In order to evaluate the strike and dip measurements of the beddings,*

rose diagrams are prepared from the Lower Miocene Deliktas formation which forms the basement and covers extensive areas in the study region. Accordingly, the existence of two different dominant bedding planes, N 59 ° E, 09 ° SE and N 52 ° E 19 ° NW are observed respectively. N 51 ° E, 05 ° SW oriented Eskikarahisar syncline, K 70 ° E, 14 ° SW oriented Başçayır anticline are given as examples. The orientation of dominant bedding in the region suggests approximately a NW-SE compressional regime (P-P<sub>1</sub>) resulting in folding. The fold axis is observed to have a trend of N 55 ° E with a plunge of 04 ° SW. Rose diagrams prepared using the same measurements with in the same formation revealed that dominant bedding direction is NE-SW whereas NW/SE is found as dip direction. On the other hand, the dip directions of Selimiye formation are generally dipping towards south. The bedding of Soğukpınar formation at south flanks of Mount Kulmaç are observed as southwards dipping, while in further south the dips are becoming gentle even to flat position. Tectonically, there are a number of folding (Başçayır and Kulmaç anticlines) and faulting (Deliler Thrust Belt, Deliktaş Thrust, Boztepe 1-2 Thrust and Başçayır Fault) events, that were documented in test area.

Within this framework, a number of studies which were blended with geological field and laboratory studies were realized firstly. Both tablet pc and mobile GIS mapper have also been used together within the context of this digital geologic mapping research.

Image processing analyses of ASTER data have been formed another focus in this research. To differentiate geological units in this region, particularly spectral enhancement methods have been applied to 14 bands ASTER satellite data. Principal component analysis, decorrelation stretching and classification methods can be counted among them.

Although Mobile Mapper 6.0 and MakroPad-Map are user-friendly software considering that the field conditions and portability, they are not so convenient due to screen dimension. It has been found that both results from image processing studies with the aid of ASTER imagery and results of geological mapping in field studies yielded in comparable outputs.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Abera, G.B., (2005), "Application of Remote sensing and Spatial Data Integration Modeling to Predictive Mapping of Apatite-Mineralized zones in the Bikilal Layered Gabbro Complex, Western Ethiopia", International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- ASTER Users Guide, Parth II, 2005, ver. 4.
- Bierwirth, P.N., Blewett, R. S., and Huston, D. L., 2002, Hyperspectral mapping of mineral assemblages associated with gold mineralization in the West Pilbara, W.A. Economic Geology, 97: 4, 819-826.
- Clegg, P., Bruciatelli, L., Domingos, F., Jones, R. R., De Donatis, M., Wilson, R. W., 2006. Digital geological mapping with tablet PC and PDA: A Comparison. Computers & Geosciences 32, 1682-1698.
- De Donatis, M., Bruciatelli, L., 2006. MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc. Computers & Geosciences 32, 673-680.
- Edmondo G. P., 2003. Digital Geologic Field Mapping Using Arcpad, Digital Mapping Techniques '02 -- Workshop Proceedings U.S. Geological Survey Open-File Report 02-370.
- Erdas Field Guide, (2003), Seventh Edition, Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, Atlanta, Georgia, USA.
- Gad, S. ve Kusky, T., 2007. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian\_Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt, Gondwana Research, 11, 326-335.
- Gomez C., Delacourt C., Allemand P., Ledru P., Wackerle R., 2005. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia. Physics and Chemistry of the Earth 30, 97-108.
- Gökten, E., 1993. Ulaş (Sivas) doğusunda Sivas Havzası güney kenarının jeolojisi: İç Toros Okyanusu'nun kapanımıyla ilgili tektonik gelişim, TPJD Bülteni, V.5/1. 35-55.

- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Huntington, J.F., 2001 Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data., IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 9–13 July (2001).
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Brutt, A.C., Okada, K. and Mauger, A.J., 2004, Assessment of geological mapping potential using ASTER imagery within the Broken Hill and Olary domains. In:12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Perth, 2004. Proceedings, p. 12.
- Kalinowski A. ve Oliver S., 2004. ASTER Mineral Index Processing Manual, Remote Sensing Applications Geoscience Australia.
- Mobile Mapper 6, MakroPad, MakroMap Kullanıcı Başvuru Rehberi, Geomatics Hrt. Müh ve Müş. Ltd. Şti.
- Ninomiya, Y., 2002. Mapping quartz, carbonate minerals and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. P SPIE, 4710, pp. 191-202.
- Okay, A.Ü. & Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: DURAND, B. JOLIVET, L. HORVTH, F. & S.RANNE, M. (eds), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications 156, 475-515.
- Öztan, S. ve Süzen, L., 2011, Mapping evaporate minerals by ASTER, International Journal of Remote Sensing., 32-6, 1651-1673.
- Pena, S.A., and Abdelsalam, M.G. 2006. Orbital remote sensing for geological mapping in southern Tunisia: Implication for oil and gas exploration. Journal of African Earth Sciences – Remote Sensing for Africa. 44, 203-219.
- Rowan, L. C., Mars, J. C., 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data, Remote Sensing of Environment 84, 350–366.
- Sağıroğlu, A., 2004. Ulaş (Sivas) batısında Deliler fayının tavan bloğunun tektonik deformasyon biçimi ve kinematığı, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Volesky, J.C., Stern, R.J. ve Johnson, P.R., 2003, Geological control of massive sulphide mineralization in the Neoproterozoic Wadi Bidah shear zone, southwestern Saudi Arabia, inferences from orbital remote sensing and field studies, Precambrian Research, 123, 235-247.

---

Makale Geliş Tarihi : 26 Kasım 2012  
Kabul Tarihi : 14 Mart 2013

*Received* : 26 November 2012  
*Accepted* : 14 March 2013