



**Jeolojik ve Jeomorfolojik Yapının 1999 Depremleri Sonrası
Adapazarı Kent Dokusunun Oluşumundaki Etkisi**
*The Effect of Geological and Geomorphological Structure on the Formation of
Adapazarı Urban Fabric after the 1999 Earthquakes*

Seda Sakar^{*1} , Hidayet Taga² , Fikret Zorlu¹ 

¹ Mersin Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Yenişehir / Mersin

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yenişehir / Mersin

• Geliş/Received: 28.04.2023 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 31.08.2023 • Kabul/Accepted: 05.08.2023
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 14.08.2023 • Baskı/Printed: 20.08.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 (Mw 7,4) ve 12 Kasım 1999 (Mw 7,2) tarihlerinde meydana gelen depremler sebebiyle büyük ölçüde yıkıma uğrayan Adapazarı kent merkezinin, mevcut kentsel alanlar ve yeni gelişme alanlarının yer seçimi ile jeolojik ve jeomorfolojik yapının ilişkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Sakarya Nehri'nin taşıdığı alüvyon zemin yapısına sahip, yeraltı su seviyesinin oldukça yüksek olduğu Adapazarı Ovası'na kurulmuş olan Adapazarı kent merkezi; 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde meydana gelen sıvılaşmaya bağlı hasar oluşumunda, depremlerin etkilediği yerleşim alanları içerisinde ilk sırada yer almaktadır. 07.01.2010 tarihinde onaylanan Sakarya ili 1/100.000 ölçekli 2025 yılı Çevre Düzeni Planı kapsamında, Adapazarı kent merkezinin tamamını içine alan Merkez Planlama Bölgesi, çalışma alanı olarak kabul edilmiştir. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri ve kurumlardan elde edilen sayısal verilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak üst üste getirilmiş; çalışma alanına ait jeolojik – jeomorfolojik yapı ve kent formu arasındaki ilişki ortaya koyulmuştur. Temel amacı jeolojik ve jeomorfolojik yapının, deprem sonrası kent dokusu üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi olan bu çalışmada; kentsel gelişmeye etki eden jeolojik ve jeomorfolojik faktörler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle ağırlıklandırılarak; 1999 depremleri sonrası değişen kentsel dokuyla olan ilişkisi tartışılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen sentez haritası ile kentsel dokunun çakıştırılması sonucunda çalışma alanının %65'inin yerleşme için uygun olmayan yapıda olmasına rağmen yapılaşmanın devam ettiği; 1999 depremleri sonrası mevcut kent merkezinin kuzeyinde yer seçen yeni gelişme alanlarının ise jeolojik ve jeomorfolojik açıdan yerleşime uygun yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AHP, deprem, jeoloji, jeomorfoloji, kent morfolojisi.

Abstract: This study aims to reveal the relationship between the geological and geomorphological structure of the Adapazarı city center, which was largely destroyed by the earthquakes on 17 August 1999 (Mw: 7.4) and 12 November 1999 (Mw: 7.2), and the existing settlement areas and location selection of development areas. Adapazarı city center, which is located on the Adapazarı Plain, has an alluvial soil structure carried by the Sakarya River and where the underground water level is quite high. Adapazarı was the most affected city by the 17 August and 12 November 1999 earthquakes, due to liquefaction. The Central Planning Region, which includes the entire Adapazarı city center, has been accepted as the study area within the scope of the Sakarya province 1/100,000 scale Land Use Plan for 2025, which was approved on 07.01.2010. The relationship between the geological-geomorphological structure of the study area and the city has been revealed by overlaying aerial photographs, satellite images, digital elevation models, and digital data obtained by using Geographical Information Systems (GIS). The objective of the study is to investigate the effect of the geological and geomorphological structure on the urban pattern after the

* Yazışma / Correspondence: sedasakar@mersin.edu.tr

1999 earthquakes. The geological and geomorphological factors affecting the urban development were weighted by the Analytical Hierarchy Process (AHP) method and their relationship with the changing urban pattern was discussed. After obtaining the synthesis map by overlapping the thematic maps, it was found that the constructions on unsuitable land (65% of the study area) continued after the 1999 earthquakes. The newly developed areas located in the northmost part of the existing city center are suitable for settlement in terms of geology and geomorphological criteria.

Keywords: AHP, earthquake, geology, geomorphology, urban morphology.

GİRİŞ

Kentler, bir dizi sosyal kurumu ve sosyal ilişkiler ağını içeren çok yönlü bir organizasyon yapısından meydana gelmektedir. Bu nedenle kentleri yalnızca binaların, yol ağlarının, açık ve kapalı mekânların bütünü değil; kullanıcısı ile bütün bir sistem olarak ele almak gerekmektedir (Almusaed & Almsad, 2019). Kentsel yapıda meydana gelen değişimler sosyal, ekonomik ve yönetsel yapıda meydana gelen değişiklikler olduğu kadar, fiziksel yapıda meydana gelen değişiklikleri de bünyesinde barındırmaktadır. Bu anlamda kentsel alanların insan ve çevre etkileşiminden meydana gelen bir sürecin ürünü olduğunu söylemek mümkündür (Kropf, 1996).

Kentsel yerleşmenin fiziksel formu, kullanıcısı ve bulunduğu coğrafya kadar çevresel faktörler ve arazi formu ile de yakından ilişkilidir. Bu bağlamda kentsel dokunun planlanması ve gelişimi ile jeolojik ve morfolojik yapı arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu söylemek mümkündür. Artan nüfusun etkisi karşısında kentsel alanların gelişimi için seçeneklerin değerlendirilmesi, arazi uygunluğunun tespiti, kara ve demir yolu ulaşım bağlantılarının belirlenmesi ile yeni gelişme alanlarının yer seçimi ve gelişimi; kentin konumlandığı alanın jeolojik ve morfolojik özellikleri ile ilişkilidir. Ayrıca kentlerin gelecekte karşılaşılabileceği problemlerin öngörülmesi ve buna göre planlama stratejilerinin belirlenmesi ile endüstri, sanayi ve lojistik gibi üst ölçekli kullanımların yer seçiminde, jeolojik ve jeomorfolojik yapı ile kent dokusu arasındaki ilişkinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması;

doğal kaynaklara verilen zararın en aza indirilerek en fazla faydayla kullanılması hususunda önem taşımaktadır (Huggett, 2017). Erkal ve Taş (2013) çalışmasında jeomorfoloji ve kent formu arasındaki ilişkiyi üç gruba ayırarak ele almışlardır. Bunlardan ilki jeomorfolojik düzen yani yer şekilleri, ikincisi jeomorfolojik süreçler, üçüncüsü ise toprak ve toprak altı koşullarının belirlenmesi ile bu üç maddeye yönelik planlama kararlarının alınması şeklindedir (Erkal ve Taş, 2013).

Sakarya ilinin merkez ilçesi olan Adapazarı'nda kentsel yapıyı çevre göz önüne alındığında, 1999 depremlerinin neden olduğu zemin sıvılaşması ve diğer nedenlerle, toplam konut ve iş yerlerinden %36.4'ünün ağır hasara uğradığı; bu nedenle depremden etkilenen diğer kentlere oranla en fazla hasarın gözlemlendiği tespit edilmiştir (Özmen, 2000a, 2000b). Deprem sonrası kamu kurum ve kuruluşları, üniversiteler ve meslek odaları tarafından hazırlanan rapor ve etütlerde de kentte meydana gelen felaketin boyutu gözler önüne serilmiştir (Koçyiğit vd., 1999). Yaşanan deprem felaketi sonrasında ivedilikle gerçekleştirilen Sakarya ili ve ona bağlı yerleşkeler için yeni yerleşim alanlarının belirlenmesine yönelik zemin etütleri ve analizler sonucunda (Koçyiğit vd., 1999) mevcut kent merkezinin kuzeybatısında, zemin yapısı açısından Pliyosen ve Neojen yaşlı sedimanter çökellerden oluşan kaya birimlerin yüzelelendiği; düşük ve orta eğim aralığına sahip (%0-30); heyelan türü kütle hareketlerinin gözlemlenmediği alanlara doğru kentsel gelişiminin planlanmasına karar verilmiştir.

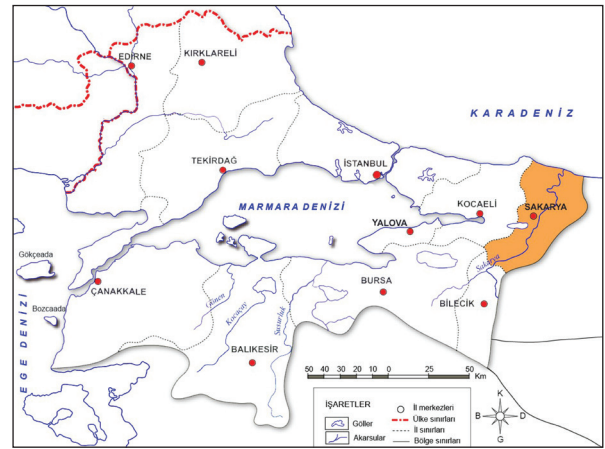
Bu çalışmada 1999 depremleri sonrasında Adapazarı kentsel gelişimi ile jeolojik ve jeomorfolojik yapı arasındaki ilişki; deprem tehlikesinden kaynaklanan ölçütlerin ağırlıklandırılarak analiz edilmesi metodu (Analitik Hiyerarşi Süreci) (AHP) ile gerçekleştirilmiştir. Tarafsız bir araştırma yöntemi üzerinden tutarlı bir değerlendirme yapmayı amaçlayan bu çalışmada; sayısal ve nicel verileri olduğu kadar sözel ve nitel özellikleri de sorgulamayı mümkün kılarak, araştırmalarda karar vermeyi kolaylaştıran bir yöntem olması sebebiyle AHP tercih edilmiştir. Kentlerin içerisinde buldukları çevresel koşullar ve bölgesel bağlam içerisinde ele alınarak farklı planlama ölçekleri arasında tutarlı yaklaşımların geliştirilmesi amacıyla jeolojik ve jeomorfolojik yapı ile kent morfolojisinin bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması; yerel yönetimlerin bu kapsamda hazırlayacağı planlama çalışmaları için yol gösterici olması açısından önem taşımaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Marmara Bölgesi'nin en doğusunda yer alan Sakarya ilinin nüfusu 2022 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), verilerine göre 1.080.080 kişi; Adapazarı merkez ilçesinin nüfusu ise 281.489 kişi olarak tespit edilmiştir (TÜİK, 2022). Kuzeyde Karadeniz'e kıyısı olan kentin batısında Türkiye'nin en önemli ticaret ve sanayi kentleri olan Kocaeli ve İstanbul, güneyinde Bilecik, doğusunda ise Düzce ve Bolu illeri bulunmaktadır (Şekil 1).

Kurulduğu dönemde Sapanca Gölü'nün kuzeydoğusunda konumlanan eski kent, 1990'lı yıllarda D100 otoyolunun inşasının tamamlanması ve artan sanayi yatırımlarının etkisi ile genişleyerek Sapanca Gölü kıyılarına kadar genişlemiştir. Türkiye'nin en önemli akarsularından biri olan Sakarya Nehri, kenti boyu boyunca kat ederek Sakarya il sınırları içerisinde Karadeniz'e dökülmektedir. Güneydoğusunda yer alan Samanlı Dağları yükselimi haricinde

yeryüzü şekilleri açısından düz bir topografyaya sahiptir. Kuzeyinde Aksu, batısında Kocaeli, doğusunda ise Düzce Ovalarının yer aldığı Adapazarı Ovası'nın güneybatısında konumlanan Adapazarı kent merkezinin büyük bölümü, Sakarya Nehri'nin taşıdığı alüvyonel zeminler üzerinde bulunmaktadır. Kentin nehir çökelleri üzerine kurulması sebebiyle, yeraltı suyu seviyesi oldukça yüksektir. Özellikle Sapanca Gölü'nün doğu kıyılarında bataklık alanlar mevcuttur.



Şekil 1. Sakarya İlinin Konumu.

Figure 1. Location of Sakarya Province.

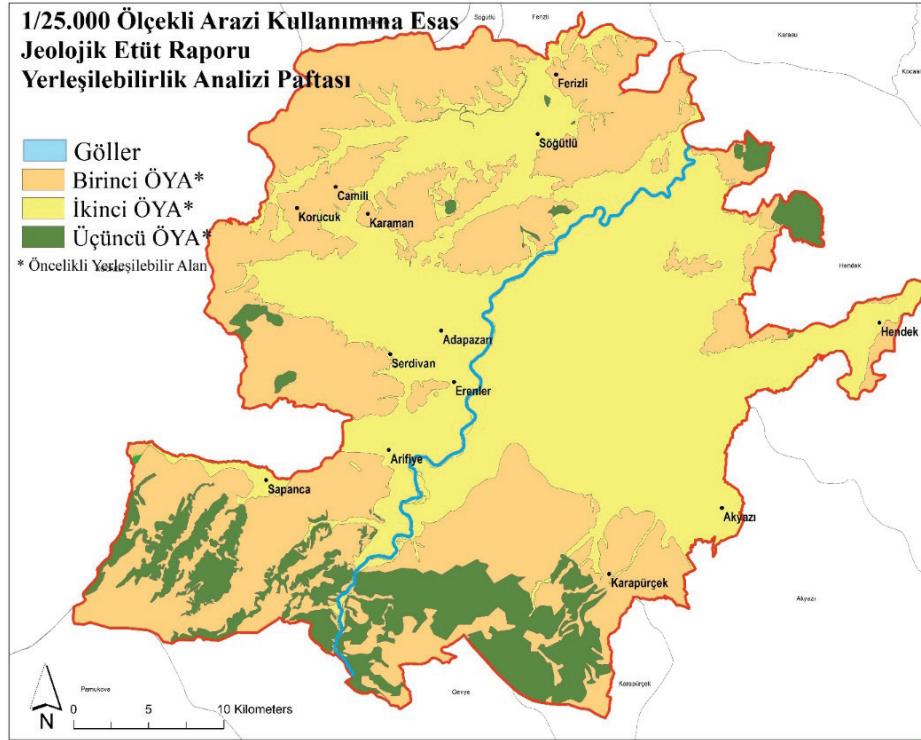
Orojenez (dağ oluşumları) ve tektonik hareketlerin sonucunda Adapazarı Ovası oluşmuştur. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAF) hareketiyle jeomorfolojik olarak biçimlenen Adapazarı kent merkezini de içine alan bölge; Türkiye'nin deprem tehlikesi açısından en tehlikeli bölgelerinden birisidir (Akyol, 2007). Kalınlığı 200 metreyi aşan alüvyal zemin üzerine kurulmuş olan Adapazarı kent merkezinde, depremler esnasında zemin özellikleri ve yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması gibi nedenlerle meydana gelen zemin sıvılaşması, hasarın çok daha büyük olmasına neden olmuştur (Çökelek, 2003). En büyük hasarın özellikle kentin merkez mahallelerinde, yerleşime uygun olmayan zemin koşullarının üzerine inşa edilen ve alt katlarının

dükkan ve pasajlardan oluştuğu apartman tipi yapılarda meydana gelmiştir. 1999 depremleri ile kentteki konut stokunun %70'inin ağır, orta ve hafif derecede hasara uğradığı tespit edilmiştir (Akyol, 2007).

Kent morfolojisinin bütüncül bir bakış açısıyla ele alınarak, kentleri içerisinde buldukları çevresel koşullar bağlamında değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmada, 07.01.2010 tarihinde onaylanan Sakarya ili 1/100.000 ölçekli 2025 yılı Çevre Düzeni Planı kapsamında belirlenen üç alt bölgeden biri olan Merkez Planlama Bölgesi çalışma alanı olarak kabul edilmiştir.

Deprem sonrası hızlı bir dönüşüm ve yeniden yapılaşma sürecine giren kent için 03.11.1999 tarihinde onaylanan 1/25.000 ölçekli Adapazarı Kuzey Gelişim Bölgesi ve Çevre Düzeni Planı

ile kentin kuzeybatısında yeni gelişme alanları planlanmıştır. Jeolojik ve jeomorfolojik yapısı bakımından Adapazarı, Serdivan, Erenler, Arifiye, Sapanca ilçelerinin tamamı ile Söğütli, Hendek, Akyazı, Ferizli ve Karapürçek ilçelerinin bir kısmını içerisine alan merkez planlama bölgesi, yaklaşık 143.610 hektarlık alana sahiptir. 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı'na altlık oluşturmak üzere hazırlanan 1/25.000 ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu'na göre topoğrafik yapısı, coğrafi durumu, iklim durumu, il genelinde mostra veren kaya birimlerinin litolojik-yapısal durumu, topoğrafik eğim durumu ve bölgenin depremselliği dikkate alınarak, arazi kullanım öneri haritasında üç (3) alt sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2) Sakarya İli, Birinci Etap Alanların Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüdü Raporu, 2012).



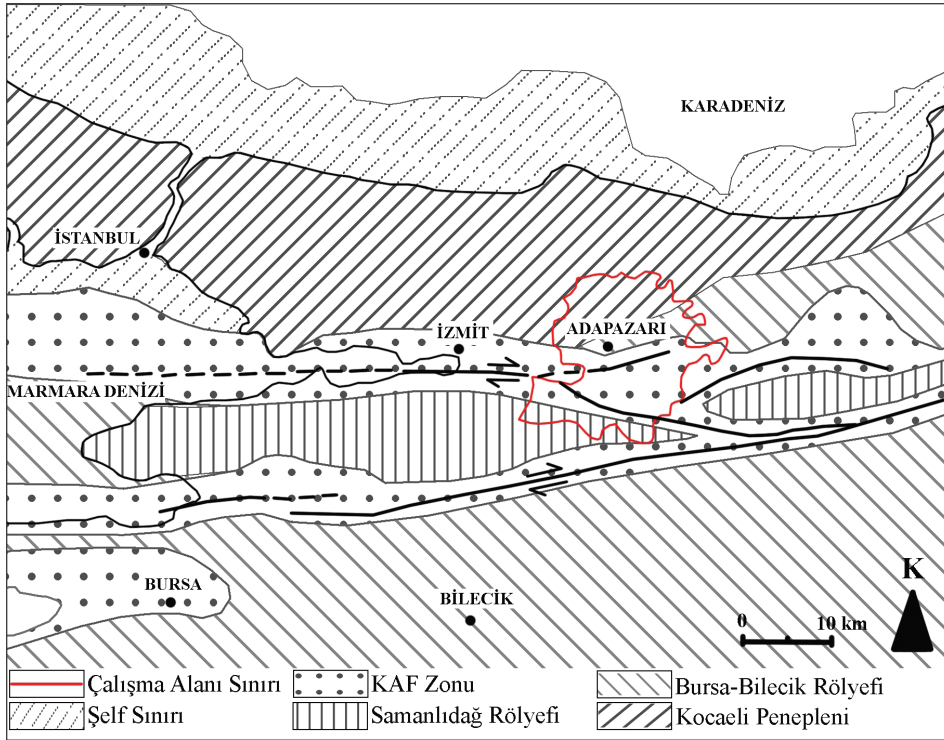
Şekil 2. 1/25.000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu Yerleşilebilirlik Analizi Paftası (Sakarya İli, Birinci Etap Alanların Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüdü Raporu, 2012).

Figure 2. Land Suitability Map Based on 1/25,000 Scale Land Use Geological Survey Report (Sakarya Province, Geological Survey Report Based on Land Use of First Stage Areas, 2012).

Yapılan yerleşime uygunluk değerlendirmesi analizine göre eğimi oldukça yüksek ($\geq \%45$); magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardan meydana gelen; muhtemel kaya düşmesi ve heyelan tehlikesi olan alanlar ile bataklıkların görüldüğü alüvyon birimlerinden oluşan yerleşilebilirlik açısından üçüncü öncelikli alanların büyük bir bölümü çalışma alanının güneyinde yer almaktadır (Sakarya İli, Birinci Etap Alanların Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüdü Raporu, 2012). Eğimi %10'a kadar olan alüvyon, alüvyon yelpazesi ve yamaç molozu bulunan alanların bataklık olmayan kısımlarını kapsayan; yeraltı su seviyesinin yüzeye oldukça yakın olduğu; büyük bir kısmı Sakarya Nehrinin

getirdiği alüvyon birimlerinden oluşan ve deprem esnasında "sıvılaşma" beklenen yerleşilebilirlik açısından ikinci öncelikli alanlar ise kent merkezi ve nüfusun büyük bir bölümünü içine almaktadır (Sakarya İli, Birinci Etap Alanların Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüdü Raporu, 2012).

1999 depremleri sonrası yeniden yapılaşma sürecine giren Adapazarı kent merkezi ve mevcut kent merkezinin kuzeybatısında inşa edilen yeni gelişme alanlarını da içerisine alan çalışma alanı içerisindeki ana morfolojik birimler (Şekil 3) Kocaeli Penepleni, KAF Zonu (Sapanca Çöküntüsü) ve Samanlı Dağları Yükselimi şeklindedir (Emre vd., 1998).



Şekil 3. Çalışma alanı sınırı (Altlık harita: Doğu Marmara Bölgesi genelleştirilmiş morfotektonik birimler haritası, Emre vd., 1998).

Figure 3. Study area map (Base Map: Generalized morphotectonic unit map of the Eastern Marmara Region Map, Emre et al., 1998).

Sapanca çöküntüsünün kuzeyinde, yükselti değerleri 100–200 metre arasında değişen Kocaeli Penepeni, düşük eğim (5° – 15°) derecesine sahip, doğu-batı uzanımlı yükselim göstermektedir (Koçyiğit vd., 1999). Çalışma alanı dışındaki alansal büyüklüğü oldukça geniş yayılım gösteren bu jeomorfolojik oluşum, Adapazarı dolaylarında KAF Zonunu meydana getiren faylar tarafından kesilmektedir (Şekil 3). Türkiye'nin en aktif fay zonlarından biri olan KAF Zonu, Kocaeli Penepeni ve Samanlı Dağları yükselimi bir birinden ayırmaktadır. KAF Zonuna ait İzmit-Adapazarı segmenti ile Düzce fayının etkileşimi sonucu meydana gelen Adapazarı Ovası; sağ yanal doğrultu atımlı özellik gösteren KAF hareketi etkisinde kalan kesimlerinin çökmesi sonucunda oluşan büyük graben yapıdaki çek-ayır havzası (Hoşgören, 2017) morfolojisine sahiptir (Emre vd., 1998). Aktif faylarla sınırlandırılmış,

ortalama yüksekliği 700-1000 metre arasında değişen, doğu-batı doğrultusundaki Samanlı dağları Yükseliminin yüzey morfolojisi bloklı yapı gösterirken; Sakarya Nehri ve Mudurnu Çayı'nın geçtiği boğazlar ile kuzey-güney yönünde kesilmektedir (Emre vd., 1998). KAF zonuna yakın kesimlerde gelişimi Kuvaterner'e rastlayan kısa akarsulardan meydana gelen genç bir direnaj yapısı mevcuttur (Emre vd., 1998).

Çalışma Alanı

Adapazarı örnek çalışma alanına yönelik jeolojik, jeomorfolojik ve kent formuna yönelik analizlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ilk olarak kurum, kuruluş ve erişime açık veri tabanlarından, alana ait raster ve vektör veriler temin edilmiştir. Çalışmaya altlık olması için temin edilen veriler Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Çalışmaya altlık olan veriler.

Table 1. Data and Map List.

Kaynak	Veri Türü	Çalışmaya Girdisi
Copernicus Land Monitoring Service	Arazi örtüsü (1990, 2000, 2006, 2012, 2018) Nehir ağı veri tabanı Mevcut kentsel kullanımlar (2012, 2018)	Akaçlama Drenaj ağı Kentsel alanlar Arazi örtüsü
Alaska Uydu Tesisi (Alaska Satellite Facility)	Hücre boyu 12,5*12,5 metre çözünürlük düzeyine sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model - DEM)	Eğim Bakı Topografya
Maden Tetkik ve Arama Genel M.	1/25.000 heyelan alanları 1/25.000 diri faylar	Heyelan alanları Diri faylar
Harita Genel Müdürlüğü	1979 yılına ait 22 adet hava fotoğrafı 1994 yılına ait 19 adet hava fotoğrafı 1999 yılına ait 62 adet hava fotoğrafı 2006 yılına ait 21 adet hava fotoğrafı 2015 yılına ait 60 adet hava fotoğrafı	1979, 1994, 1999, 2006 ve 2015 yılları kent dokusu
Harita Genel Müdürlüğü	Türkiye Mülki İdare Sınırları	İl ve ilçe sınırları
Devlet Su İşleri	Çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan 66 adet sondaj kuyusuna ait statik su seviyesi derinlikleri	YAS Seviyesi
Sakarya Büyükşehir Belediyesi, Şehir Planlama Şube Müdürlüğü	Sakarya ili 1/100.000 ölçekli 2025 yılı Çevre Düzeni Planı kapsamında hazırlanan 1/25.000 Adapazarı Kuzey, Merkez ve Güney Planlama Bölgelerine ait raporlar ve ekleri 1/25.000 ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu'nun sonuç ve öneriler kısmı	Hâlihazır

Jeomorfolojik ve jeolojik yapı

Veri tabanının oluşturulması sonucunda Adapazarı örnek çalışma alanına ait jeolojik, jeomorfolojik ve kent formuna yönelik analiz haritaları çalışma kapsamında üretilmiştir. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) raster verisi kullanılarak üretilen Adapazarı kent merkezini de içerisine alan Adapazarı Ovası'nın, yükseklik değerleri 50-100 metre arasında seyreden ve çalışma alanının %53'ünü kaplayan kısmı, yeryüzü şekilleri açısından düz bir topografyaya sunmaktadır (Şekil 4a). Yapılan analizler sonucunda minimum yükseklik değerinin 43 metre, maksimum yüksekliğin ise Samanlı Dağları'nda 1530 metre olduğu tespit edilmiştir. Sayısal yükseklik modeli (DEM) analizi ile elde edilen eğim haritası incelendiğinde (Şekil 4b), bölgenin topografyasına bağlı olarak çalışma alanının %50'sinden fazlası yumuşak eğimli ($0^{\circ} - 5^{\circ}$), %25'i düşük eğimli ($5^{\circ} - 15^{\circ}$), %15'i orta eğimli ($15^{\circ} - 30^{\circ}$) ve geriye kalan %3,5'lük kısmı ise yüksek ve çok yüksek eğimli (45° ve üstü), alanlardan meydana geldiği görülmektedir.

Çalışma alanına ait DEM verisinden elde edilen yamaç yönelimi analizine göre Adapazarı Ovası'nda eğimin yok denecek kadar az olması sebebiyle tanımlı bir bakı yönü gözlenmemektedir. Alansal olarak en fazla yönelimin %24 oranla güneye yönelimli yamaçlar ile %22 oranla kuzeye yönelimli yamaçlar olduğu tespit edilen analizde, herhangi bir bakı yöneliminin gözlenmediği düz alanlar çalışma alanının %13'ünü oluşturmaktadır (Şekil 4c). Yılın üçte birinden fazla günde yağış alan kentteki en önemli akarsu, il sınırları içerisindeki uzunluğu yaklaşık 160 km olan Sakarya Nehri, Gevye Boğazı'nı aşarak kuzeye doğru ilerlemekte, Adapazarı kent merkezinin doğusundan geçerek oradan Karadeniz'e ulaşmaktadır. (Akyol, 2007). Çalışma alanının kuzeybatısında Çarksuyu; doğuda ise Dinsiz Çayı, Kanlıçay ve Karaca Dere'nin döküldüğü Mudurnu Çayı, bölgenin önemli akarsularındandır (Şekil 4d).

Alt Ordovisiyen'den başlayarak Kuvaterner'e kadar değişik yaş ve litolojideki birimlerinin gözlemlendiği çalışma alanında (Koçyiğit vd., 1999); Paleozoyik döneme ait Kurtköy, Çaputlu ve Yılanlı Formasyonları çalışma alanının kuzeydoğusunda Ferizli ile Adapazarı kent merkezinin kuzeyinde Taşkısığı mevkiinde yüzeylenmektedir (Şekil 5d). Mezozoyik döneme ait Sultaniye Metamorfittleri ile Akçay ve Yemişliçay Formasyonlarına ait birimlerin çalışma alanının güneyinde Samanlı Dağları yükseliminin tamamı ile kent merkezinin kuzey-kuzeydoğu aksında Çamyolu, Poyrazlar, Soğucak mevkilerinde yüzeylenmektedir (Şekil 5d). Tersiyer döneme ait Akveren, Çaycuma ve Karapürçek formasyonları ile Yığılca üyesinin ise Sapanca Gölü'nün kuzey yamaçları, çalışma alanının kuzeybatı sınırlarının tamamı ile güneyde Samanlı Dağları'nın hafif eğimli yamaçlarında mostra verdiği görülmektedir (Şekil 5d). Çalışma alanında alansal olarak en büyük yüzeylenmenin ise zemin özelliği yönünden orta-zayıf yapıdaki henüz oluşumunu tamamlamamış alüvyon birimlerin meydana getirdiği Kuvaterner döneme ait olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5d). Kent merkezinin büyük bir bölümü Kuvaterner döneme ait alüvyonlu zemin üzerinde bulunmaktadır (Koçyiğit vd., 1999).

Maden Tetkik Arama (MTA), elektronik ticaret sitesi (<https://eticaret.mta.gov.tr/>) üzerinden temin edilen 1/25.0000 ölçekli heyelan haritası incelendiğinde Sapanca Gölü'nün kuzeyi ve güneyi ile Karapürçek'in batısında yer alan tepelik alanlarda, aktif heyelanların yoğunlukta olduğu görülmektedir. Eski ve sığ heyelanların alansal büyüklüğü, aktif heyelanlara göre oldukça azdır (Şekil 5a).

Maden Tetkik Arama (MTA), elektronik ticaret sitesi (<https://eticaret.mta.gov.tr/>) üzerinden temin edilen 1/25.0000 ölçekli diri fay hatları haritasına göre ise Sapanca Gölü – Serdivan merkez arasında olası Kuvaterner fayı; Sapanca ilçe merkezinin güneyinden Karapürçek'e doğru

uzanan Kuvaterner fayı; Erenler'in doğusu, Karapürçek'in kuzey ve kuzeybatısı ile Sapanca Gölü'nün doğu kıyılarında bulunan Holosen fayları çalışma alanını kesmektedir. Kuzey Anadolu Fayı (yüzey kırığı) ise il sınırlarına doğuda Akyazı mevkiinden girerek batıya doğru ilerleyen, Arifiye'yi geçtikten sonra Sapanca Gölü içerisinde devam ederek İzmit – Yalova ve oradan da Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır (Şekil 5b).

Çalışma alanı sınırları içerisinde bulunan Devlet Su İşleri tarafından yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesi amacıyla açılmış kuyulara ait statik su seviyelerinin haritalandırılmasıyla elde edilen yeraltı su seviyesi (YASS) haritasına göre, özellikle kent merkezini kapsayan alüvyon yapıdaki ova tabanında yeraltı su seviyesi 0 – 5 metre aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 5c).

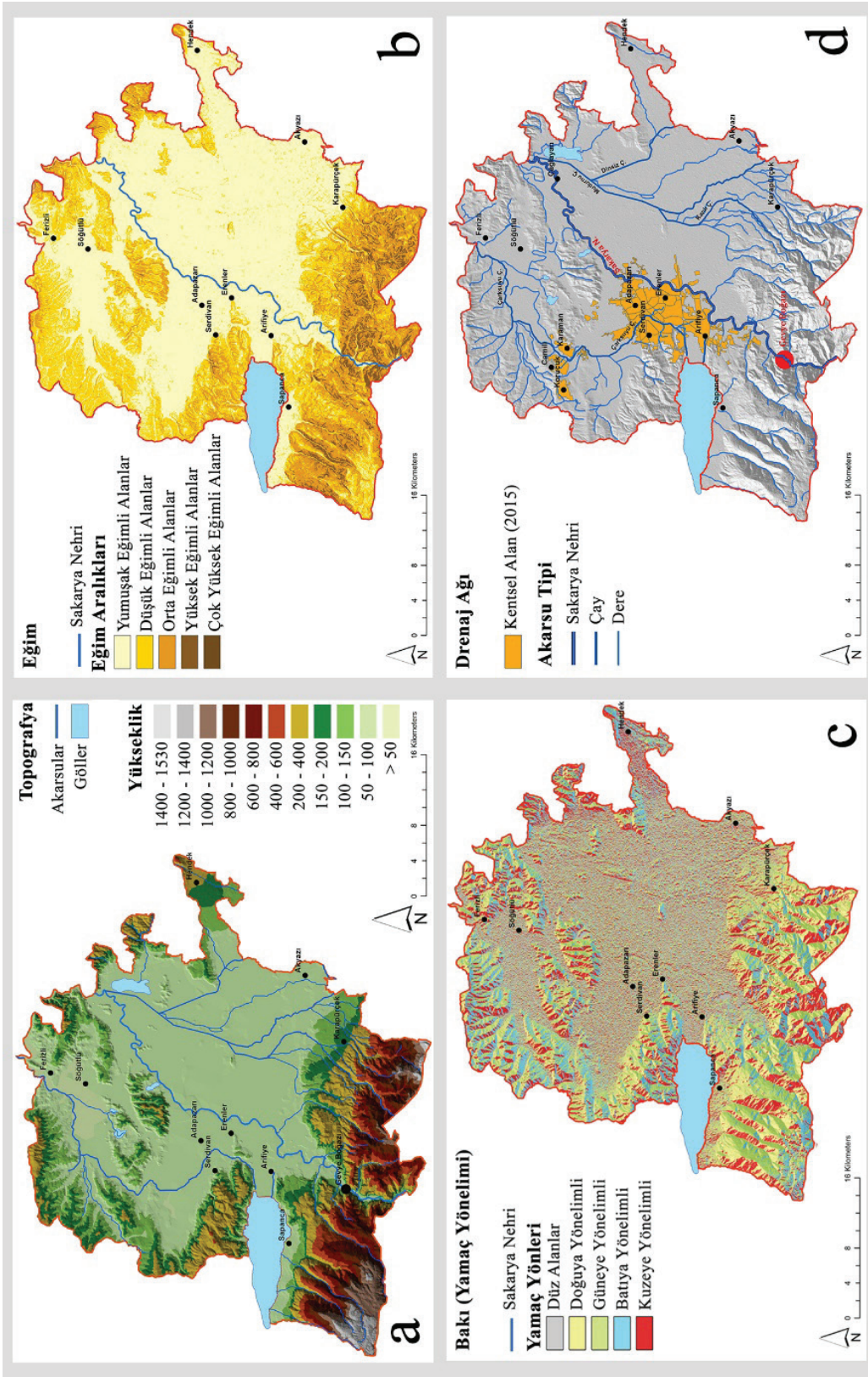
Arazi örtüsü ve kentsel kullanımlar

Çalışma alanına ait jeolojik ve jeomorfolojik yapı ile ilişkili olarak kent formunun değişimine yönelik bütünlük bir uygunluk değerlendirmenin yürütüldüğü çalışma kapsamında; Avrupa Birliği, dünya gözlem programı Copernicus aracılığıyla elde edilen CORINE Arazi Örtüsü veri tabanından elde edilen 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait arazi örtüsü sınıfları haritalandırılmıştır (Şekil 6).

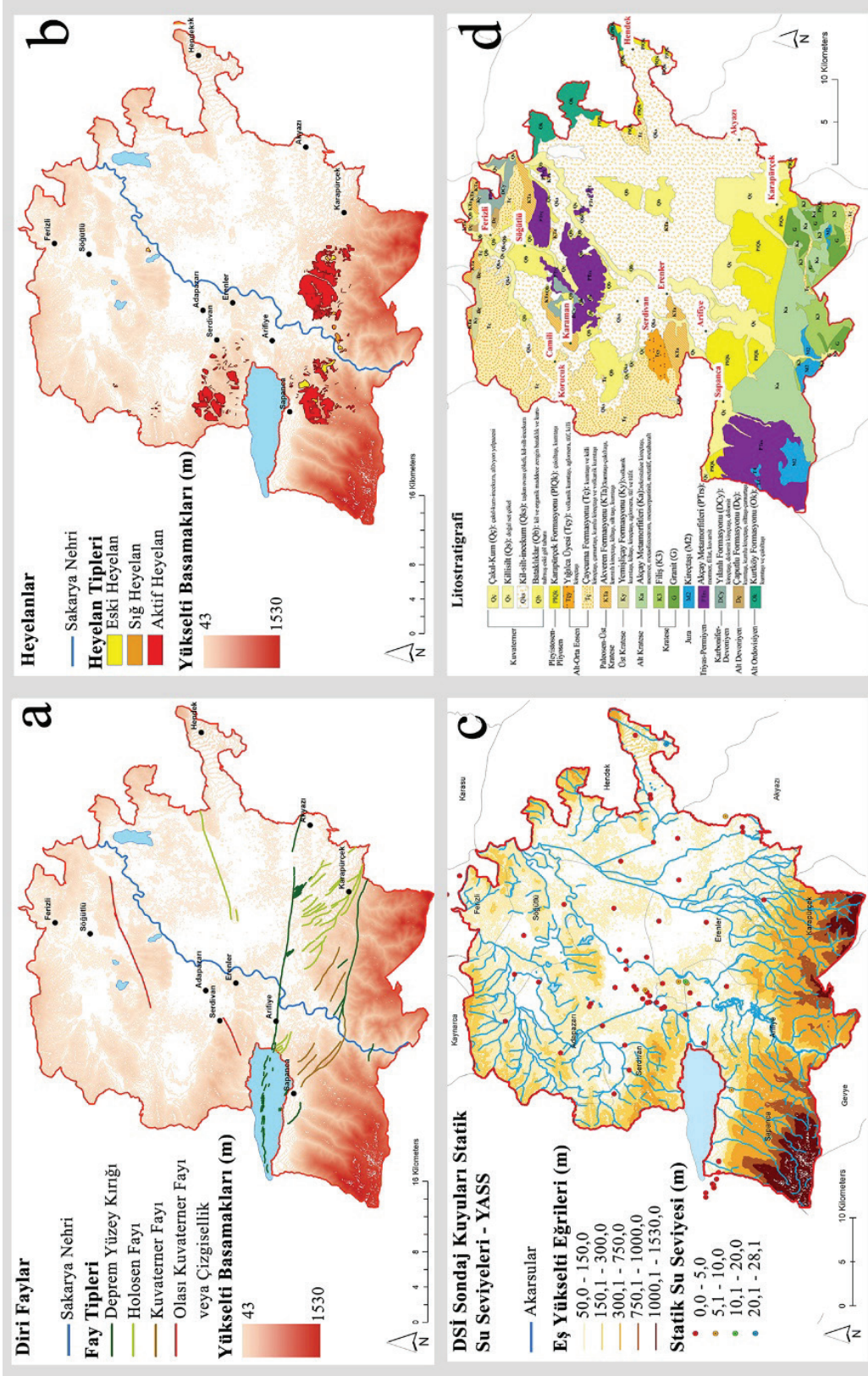
2000 yılına ait arazi örtüsü haritası incelendiğinde Sapanca Gölü'nün kuzeydoğusunda kent merkezi olmak üzere; Sapanca Gölü'nün güneyi ve kuzeyindeki yerleşimler, Akyazı, Hendek ve Ferizli yerleşim alanlarının konumu ile Adapazarı Ovası üzerinde yer seçen kırsal yerleşmelerin konumu net olarak görülmektedir (Şekil 6a). Arifiye mevkiinde yer alan endüstriyel ve ticari birimlerin kentsel dokunun güneyi

ile Sakarya nehrinin batısında D100 otoyolu çevresinde geliştiği dikkat çekmektedir. Deprem sonrası hızlı bir yapılaşma sürecinin başladığı kentte, kuzeyde Camili – Karaman mevkiinde yeni gelişme alanlarının yapımına başlanmıştır (Şekil 6a). Endüstriyel ve ticari birimlerinin kuzeye, kentsel alanın iç bölgelerine doğru yayıldığı görülen 2006 yılına ait arazi örtüsü haritasında, kent merkezinin kuzeybatısındaki Camili ve Karaman mevkiinde yer alan inşaat sahaları tamamlanarak Korucuk mevkiinde de kentsel gelişimin devam ettiği gözlemlenmektedir (Şekil 6b).

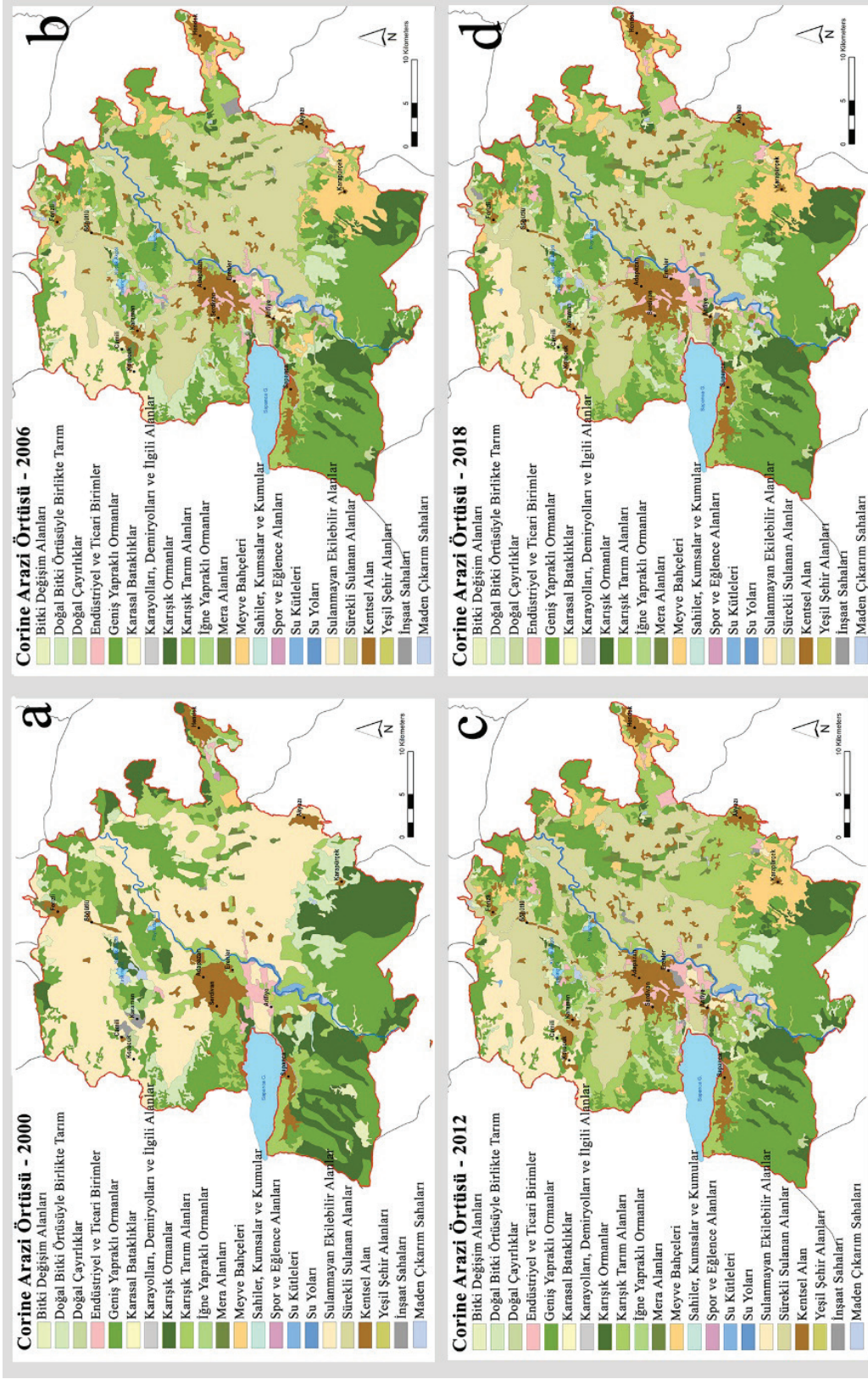
2012 yılına gelindiğinde kentsel dokunun genişlediği ve kuzeydeki Camili – Karaman yeni gelişme alanlarına Korucuk mevkiindeki yapılaşmanın da eklendiği görülmektedir (Şekil 6c). Ayrıca endüstriyel ve ticari birimlerin bir yandan Adapazarı kent merkezinin iç kesimlerine doğru güney – kuzey yönünde genişleme gösterdiği, diğer taraftan kentsel dokunun güneyine eklenen sanayi kullanımlarının ise dönüşmeye başladığı dikkat çekmektedir (Şekil 6c). 2006 yılında yaklaşık 7000 hektar olan kentsel dokunun (kent merkezi ve kırsal yerleşmeler dâhil), 2012 yılına gelindiğinde 8800 hektar büyüklüğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Son olarak 2018 yılı arazi örtüsü dağılımları incelendiğinde ise Arifiye ilçe merkezinin kuzeyindeki ekilebilir alanların içerisinde yer alan inşaat sahalarının varlığı, kentsel dokunun Arifiye' den Adapazarı kent merkezine doğru süreklilik gösterme eğiliminde olduğunu desteklemektedir (Şekil 6d). Kent merkezinin kuzeybatısındaki Karaman, Camili ve Korucuk gelişme alanlarına doğru kentsel dokunun yayılmaya başlaması, ilerleyen zamanda bu bağlantının kuvvetleneceğini göstermektedir. 2018 yılında kentsel dokunun büyüklüğü 9300 hektar civarındadır.



Şekil 4. Çalışma alanına ait a) topografya, b) eğim, c) bakı ve d) drenaj haritaları.
Figure 4. Maps of study area. a) Topography, b) slope, c) aspect, and d) drainage.



Şekil 5. Çalışma alanına ait a) heyelan, b), diri fay, c), YASS ve d) litostratigrafi haritaları. Figure 5. Maps of study area. a) Landslides, b) faults, c) underground water level, and d) lithostratigraphy.

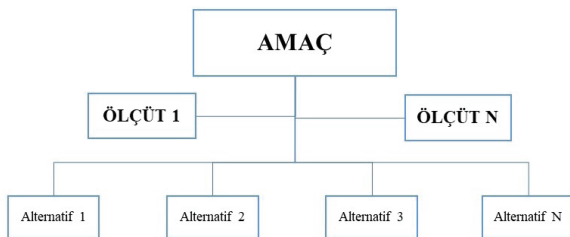


Şekil 6. Çalışma alanına ait a) 2000, b) 2006, c) 2012, d) 2018 yıllarına ait arazi örtüsü haritaları.
Figure 6. Land cover maps of study area, by year: a) 2000, b) 2006, c) 2012, and d) 2018.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Çalışma alanına ait verilerin toplanarak analiz edilmesinin ardından, 1999 depremleri sonrasında Adapazarı kentsel gelişimi ile jeolojik ve jeomorfolojik yapı arasındaki ilişkinin sentezlenerek değerlendirilmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Amerikalı matematikçi Thomas L. Saaty tarafından ortaya konulan Analitik Hiyerarşi Süreci (*Analytic Hierarchy Process*); bir senteze veya sonuca ulaşmak için aynı anda birkaç faktörü göz önünde bulundurarak, önceliklendirme tekniğiyle bir dizi alternatif arasından en iyisini seçmek için tasarlanan bir karar verme yaklaşımıdır (Saaty ve Vargas, 2012). Yöntem karmaşık bir problemi alt öğelerine ayırarak çözmeye yönelik ölçütlerin ortaya koyulması; ölçütlerin birbirleri ile ilişkili olarak ne derecede önemli olduğunun hiyerarşik olarak belirlenmesi; yapılan önceliklendirme sonrası sentez ve duyarlılık analizleri ile en iyi seçeneğin test edilmesi olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır (Saaty, 1995).

Problemi çözmeye yönelik ortaya koyulan amaç, ölçüt, alt ölçüt ve alternatiflerin belirli bir hiyerarşi içinde tanımlanmasıyla başlayan AHP yöntemi kapsamında (Şekil 7), çalışmaya ait hiyerarşik yapının oluşturularak genel hedef ve hedefe ulaşmayı sağlayacak ölçütlerin belirlenmesi ile bütünleşik bir araştırma yaklaşım ortaya koyulması amaçlanmıştır (Saaty ve Vargas, 2012).



Şekil 7. AHP'de Hiyerarşik Yapı.

Figure 7. Hierarchical Structure of AHP.

Ölçütlerin hiyerarşik yapıya göre oluşturulmasının ardından, belirli bir düzeyde yer alan ölçütlerin hiyerarşide bir üst düzeyde yer alan ölçütlere göre önem derecelerinin belirlendiği ikili karşılaştırmalar matrisi hazırlanmıştır. Bir veya birden fazla karar verici tarafından yapılan her bir ikili karşılaştırmada sözlü olarak eşit, orta, güçlü, çok güçlü ve aşırı olarak ifade edilen yargılar, 1'den 9'a kadar olan mutlak sayılarıyla ilişkilendirilir (Saaty, 2005).

Çizelge 2'de yer alan ve Saaty tarafından belirlenen karşılaştırma ölçeklerinden 1, 3, 5, 7 ve 9 sayıları, ölçütlerin birbirlerine göre eşit, orta, güçlü çok güçlü ve aşırı öneme sahip önem derecelerini temsil ederken; 2, 4, 6 ve 8 sayıları, aralık belirten ortalama değerlere karşılık gelmektedir.

İkili karşılaştırmalar matrisinin hazırlanmasının ardından karşılaştırma matrisindeki her sütuna ait elemana verilen değerler, sütunun toplam değerine bölünerek ikili karşılaştırmalar matrisi normalize edilir (Topel, 2006). Normalize edilen değerler toplamının aritmetik ortalaması alınarak ölçütlerin ağırlıklandırılması gerçekleştirilmiş olur. Ölçütler matrisinin normalleştirilmesi sonucu elde edilen özvektör (W) değerinin tutarlı olup olmadığına dair sağlamlasının yapılması amacıyla tutarlılık oranının (CR) hesaplanması gereklidir. CR değeri hesaplanırken, ilk olarak ikili karşılaştırmalar matrisindeki bütün değerler, W değeri ile çarpılarak yeni bir matris elde edilir. Elde edilen matrisin satırları toplamından elde edilen her bir değer, W değerine bölünerek; elde edilen değerler toplamının ölçüt sayısına (aritmetik ortalama) bölünmesi sonucunda λ_{max} (en büyük özdeğer) elde edilmiş olur. Tutarlılık Oranının (CR) hesaplanabilmesi için λ_{max} değeri kullanılarak Tutarlılık İndeksi'nin (CI) hesaplanması gereklidir. Tutarlılık İndeksi değerinin, Emshoff ve Saaty (1982) tarafından hazırlanmış olan Rassallık İndeksi (RI) (Çizelge 3) değerindeki n (ölçüt) sayısına karşılık gelen değere bölünmesi sonucunda Tutarlılık Oranı (CR) elde edilmiş olur.

Çizelge 2. AHP ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1988).

Table 2. AHP Pairwise Comparison Matrix (Saaty, 1988).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	İki faaliyet amaca eşit katkıda bulunur.
2	Eşit – Orta arası öneme sahip	
3	Orta derecede önemli	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine biraz daha fazla tercih eder.
4	Orta – Güçlü arası öneme sahip	
5	Güçlü öneme sahip	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine güçlü bir şekilde tercih eder.
6	Güçlü – Çok Güçlü arası öneme sahip	
7	Çok güçlü veya kanıtlanmış öneme sahip	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilir.
8	Çok, çok güçlü öneme sahip	
9	Aşırı öneme sahip	Bir faaliyeti diğerine tercih eden kanıt, mümkün olan en yüksek doğrulama derecesine sahiptir.

Çizelge 3. Rassallık İndeksi (RI) değerleri (Emshoff & Saaty, 1982).

Table 3. Randomness Index (RI) values (Emshoff & Saaty, 1982).

N (ölçüt sayısı)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

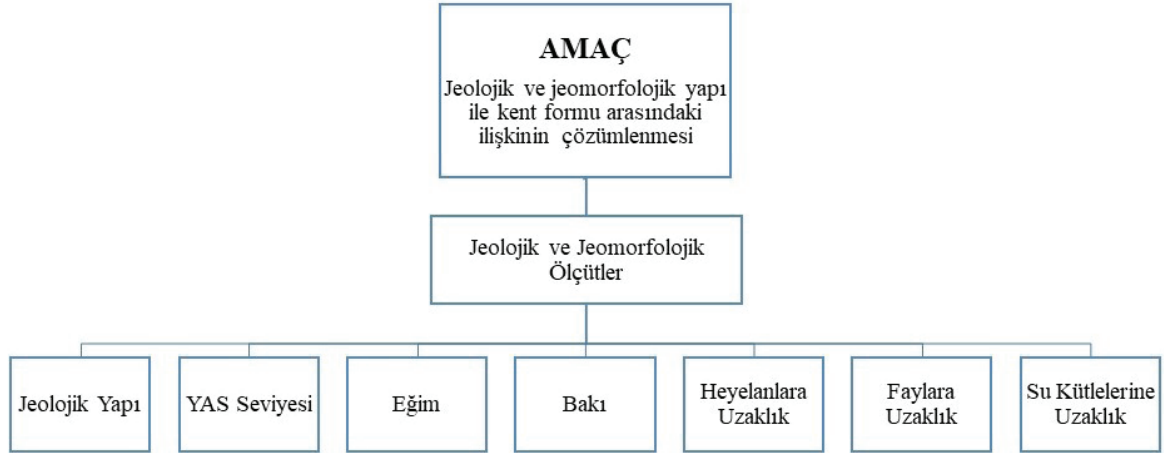
Tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu, 0,1'den büyük olması ise yapılan değerlendirmelerin tutarsız olduğu ve yeniden değerlendirme yapılması gerektiği anlamına gelmektedir.

AHP yöntemi ile belirlenen ölçütlerin ağırlık değerleri girilerek, çalışmaya altlık olacak haritaların ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak yeniden sınıflandırılması ve yeniden sınıflandırılan altlıkların çakıştırılması sonucu elde edilen sentez haritası, araştırmanın bulgular bölümünde ele alınmıştır.

Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

Çalışma kapsamında elde edilen analizlerin AHP yöntemi kullanılarak önem derecelerine göre ağırlıklandırılması ve ArcGIS Pro yazılımında mekânsal sentezlerinin yapılması

aşamalarından oluşmaktadır. Çalışma amacı doğrultusunda geçmiş yıllara ait kaynaklar ve literatür araştırmaları baz alınarak Adapazarı kent merkezinin 1999 depremlerinin meydana geldiği merkez üstlerine olan uzaklığına rağmen, en fazla hasarın görüldüğü kent olmasında, jeolojik yapı ve yer altı su seviyesinin yüzeye yakınlığının önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Buna göre Adapazarı çalışma alanı için belirlenen jeolojik ve jeomorfolojik yapı ile kent formu arasındaki ilişkinin çözümlenmesi amacıyla oluşturulan hiyerarşik yapıda (Şekil 8), belirlenen alt ölçütler YAS seviyesi, jeolojik yapı, faylara uzaklık, heyelanlara uzaklık, eğim, bakı ve su kütlelerine uzaklık şeklinde belirlenmiştir. Elbette AHP yöntemi kapsamında verilen ağırlık değerleri ve bu değerler sonucunda elde edilen önem derecelerinin, çalışma alanı özelinde ele alınmış olduğu belirtilmelidir. Her alan kendine özgü bilimsel bağlama sahiptir. Dolayısıyla araştırma sonuçları ve çıktılar yere özgüdür.



Şekil 8. Çalışmaya ait AHP hiyerarşik yapısı.

Figure 8. AHP hierarchical structure of the study.

Çizelge 4. Jeomorfolojik Ölçütler İkili Karşılaştırmalar Matrisi ve W (Normalize Ağırlık) değerleri.

Table 4. Geomorphological Criteria: Pairwise Comparisons Matrix and W (Normalized Weight) values.

Jeomorfolojik Ölçütler	A	B	C	D	E	F	G	(W)
Jeolojik Yapı	1	5	5	1	7	6	8	0,28
Faylara Uzaklık	0,20	1	7	0,13	7	8	9	0,18
Heyelanlara Uzaklık	0,20	0,14	1	0,11	3	8	9	0,11
YASS	1	8	9	1	7	7	5	0,33
Eğim	0,14	0,14	0,33	0,14	1	2	3	0,4
Bakı	0,17	0,13	0,13	0,14	0,50	1	2	0,3
Su Kütlelerine Uzaklık	0,13	0,11	0,11	0,20	0,33	0,50	1	0,3
Toplam	2,83	14,52	22,57	2,72	25,83	32,50	37,00	1,00

CI (tutarlılık indeksi) = 0,06 ve CR (tutarlılık oranı) = 0,046 < 0,1 olarak hesaplanmıştır.

Jeolojik yapı ve YASS ölçütlerinin birbirlerine göre eşit ağırlık değerlerine sahip olduğu kabul edilen matriste, faylara uzaklık bu iki ölçüte oranla daha düşük ağırlık değerine sahipken; en az öneme sahip ölçütler eğim ve bakı olarak kabul edilmiştir. İkili karşılaştırmalar matrisinden elde edilen değerlerin normalizasyonu sonucunda elde edilen ölçütlerin ağırlıklandırılmasına (W) göre en yüksek öneme sahip ölçütler sırasıyla YASS

(%33), jeolojik yapı (%28) ve faylara uzaklık (%18) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4).

Jeolojik ölçütlerin karşılaştırılmasının ardından, alt kademe ölçütler için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Değişik yaş ve litolojideki birimlerin gözlemlendiği çalışma alanı için hazırlanan jeolojik ölçütlerin ikili karşılaştırılmasında; birimler sahip oldukları zemin özellikleri ve dönemlerine göre 4 alt

grupta ele alınmıştır (Çizelge 5). Orta – zayıf zemin özelliğinden dolayı Kuvaterner döneme en düşük değer aralığı verilirken, sağlam yapıdaki Paleozoik birimlere ‘yüksek’ değer ağırlıkları verilmiştir. Faylara uzaklık ölçütü için hazırlanan ikili karşılaştırmalar matrisinde en yüksek ağırlık değeri 200 metreden uzak mesafelere verilirken, en düşük ağırlık değeri asgari koşulları sağlayan 0 - 70 metre bandına verilmiştir. Kentleşme açısından önemli eşiklerden biri olan heyelan bölgelerine uzaklık ölçütünde, 2000 metreden uzak alanlara en yüksek ağırlık değeri atanmıştır. Yeraltı statik su seviyesi değerlerinin 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20 ve >20 metre olmak üzere dört farklı aralıkta değerlendirildiği matriste, derinlik azaldıkça ağırlık değerleri azalmaktadır.

Adapazarı için çalışma kapsamında hazırlanan eğim analizleri ile geçmiş dönemlere ait raporlar incelendiğinde eğim ölçütleri beş sınıfta ele alınmıştır. Yağış, güneş ışığı alma ve nem gibi meteorolojik etkenler sebebiyle hâkim bakıya sahip yamaçlar, daha yoğun bitki örtüsüne sahiptir (Akıncı vd., 2015). Bu nedenle güneydoğu, güney, güneybatı ve batı cephelerine yüksek ağırlık değerleri atanırken; kuzey, kuzeydoğu, doğu ve kuzeybatı cephelerine daha düşük ağırlık değerleri atanmıştır. Son olarak su kütlelerine uzaklık ölçütü beş alt sınıfa ayrılmış, en büyük ağırlık değeri 1000 metreden uzak bölgelere verilmiştir (Çizelge 5).

Çalışma alanına ait litostratigrafi haritasının, aynı jeolojik zaman ve benzer zemin özellikleri gösteren formasyonlara göre gruplandırılması sonucu elde edilen jeolojik yapı analizine (Şekil 9a) göre; çalışma alanının %50’si Kuvaterner (merkez ve çevresi, Adapazarı Ovası), %25’i Tersiyer (Samanlı Dağları ile Sapanca Gölünün kuzeyi, çalışma alanının kuzeybatı sınırları), %22’si Mezozoyik (Söğütlü çevresi ile çalışma alanının güneyinde Samanlı Dağları yükselimi) ve %3’ü ise Paleozoyik (çalışma alanı sınırlarının kuzeydoğusu) dönem ve devirlerden meydana

gelmektedir. ArcGIS Pro, mekânsal analiz araçlarından Öklid mesafesi ile hesaplanan ve alt ölçütlerine göre yeniden sınıflandırılan faylara uzaklık analizi (Şekil 9b) incelendiğinde; doğu-batı doğrultusunda uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu çevresindeki sakinim bantlarının, özellikle Erenler ve Arifiye arasındaki bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.

ArcGIS Pro, mekânsal analiz araçlarından Öklid mesafesi ile hesaplanan ve alt ölçütlerine göre yeniden sınıflandırılan heyelanlara uzaklık analizi (Şekil 9c) incelendiğinde; heyelan bölgeleri ile çevresinde belirlenen koruma kuşaklarının, Sapanca Gölü’nün kuzeyi ile Samanlı Dağ yükseliminin kuzey yamaçlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Yine mekânsal analiz araçlarından “ara değerleri bulma (*interpolation*)” yöntemiyle, statik su seviye değerleri bilinen noktaların, orantılı alanlara dayalı olarak bir yüzey verisi oluşturulması sonucunda elde edilen YASS analizine (Şekil 9d) göre; çalışma alanının yaklaşık %70’inde yeraltı su seviyesi 0 – 5 metre aralığındadır. Çalışma alanının güneyinde yer alan Samanlı Dağları uzanımına doğru geldikçe, YAS seviyesinin kademeli olarak 10 ve 20 metreye kadar düştüğü görülmektedir (Şekil 9).

12,5*12,5 metre hücre boyutuna sahip Sayısal Yükseklik Modeli (*Digital Elevation Model*) verisinden elde edilen eğim analizinin, alt ölçütlere göre yeniden sınıflandırılması sonucunda elde edilen sonuç haritasına (Şekil 10a) göre; %50’sinden fazlası 0° – 5° arasında eğim değerlerine sahip çalışma alanında, kuzey ve kuzeybatıya doğru eğim derecelerinin arttığı, güneyde Samanlı Dağları’nda ise 45° ve üzeri eğim değerlerinin olduğu tespit edilmiştir. DEM verisinden aynı yöntemle elde edilen bakı alt ölçütlerinin analizi sonucunda (Şekil 10b) ise kent merkezinin de yer aldığı Adapazarı Ovası’nda hâkim bir yamaç yönünden bahsedilemezken, kent merkezinin kuzeyindeki eğimli yamaçlarda güney ve batı; Sapanca Gölü’nün kuzeyinde güney, güneydoğu

ve kuzey; çalışma alanının güneyinde ise kuzey ve batı yönde yönelim olduğu görülmektedir. Son olarak en az önem değerine sahip olarak kabul edilen, literatür araştırmaları ile yasal mevzuat göz önüne alınarak beş alt kademeye ayrılarak ağırlıklandırılan ve ArcGIS Pro, mekânsal analiz araçlarından Öklid mesafesi kullanılarak yapılan hesaplama işleminin ardından alt ölçütlerine göre yeniden sınıflandırılan su kütlelerine uzaklık (Şekil 10c, Şekil 10d) analizi incelendiğinde; yaklaşık %50'si Adapazarı Ovası'ndan meydana gelen çalışma alanındaki drenaj sisteminin yoğunluğu, özellikle kuzey - kuzeybatı ve güneyde daha da iç içe geçmiş bir sistem halini aldığı görülmektedir. Ayrıca Sapanca Gölü'nün doğusu ile Sakarya Nehri'nin çalışma alanı içerisindeki güney bölümünde bataklık özellik gösteren alanların varlığı dikkat çekmektedir.

Önem derecelerine göre sırasıyla; YAS seviyesi (%33), jeolojik yapı (%28), faylara uzaklık (%18), heyelanlara uzaklık (%11), eğim (%4), bakı (%3) ve su kütlelerine uzaklık (%3) ölçütlerinin ArcGIS Pro, mekânsal analiz araçlarından “üst üste çakıştırma (*overlay*)” komutu içerisinde yer alan “ağırlıklı çakıştırma (*weighted overlay*)” işlemi uygulanarak sentez haritası elde edilmiştir (Şekil 11). Yapılan sayısallaştırma ve analiz çalışmaları sonucunda elde edilen mekânsal ağırlıkların çakıştırılması esnasında, çalışma alanının kuzey batısına ait YAS seviyesi değerlerine ait veri eksikliği sebebiyle herhangi bir ağırlık değerinin atanmadığı ve mecbur sebeplerden dolayı analize dâhil edilemeyen alanlar yer almaktadır (Şekil 11).

Bütün analizlerin altlıkları, ağırlıklarına göre çakıştırıldıktan sonra elde edilen sentez haritasında önem derecesi bakımından en düşük değere sahip (Şekil 11, kırmızı) alanların fay hatları ve

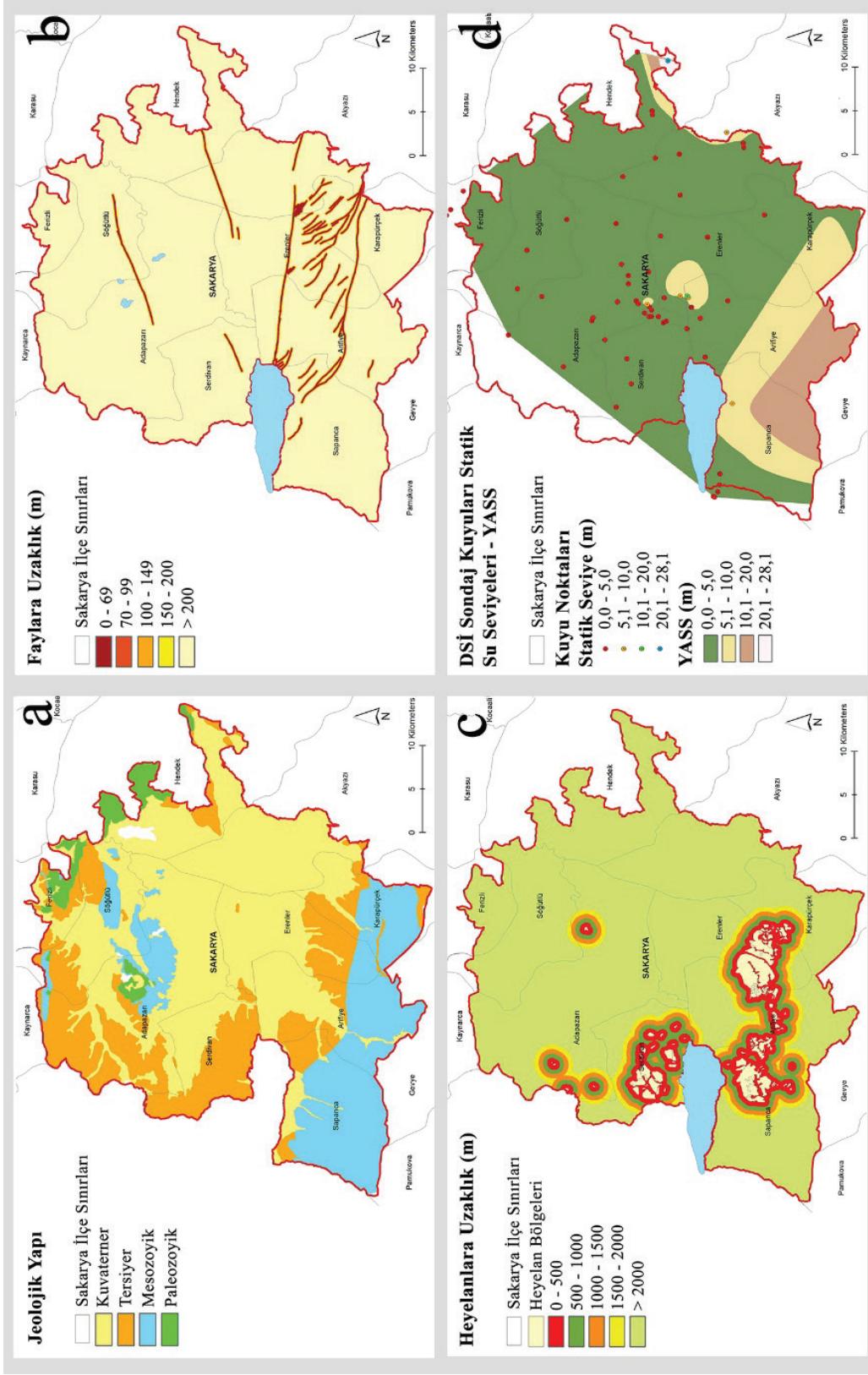
çevresinde yer aldığı görülmektedir. Bu alanlar YAS seviyesi ve dolayısıyla sınılaşma, faylara uzaklık ve deprem faktörleri göz önüne alındığında yüksek tehlike arz eden; yerleşilebilirlik açısından en riskli alanlardır. Fay sakinim kuşaklarına olan uzaklığı fazla olmasına rağmen, tamamı alüvyon zemin yapısına sahip ve yer altı su seviyesinin yüzeyden 0 - 5 metre derinde olduğu düşük önem derecesine sahip (Şekil 11, krem rengi) alanlar ise; tehlikenin görece az olduğu fakat sınılaşma riski nedeniyle yerleşime uygunluk açısından yüksek tedbir ve maliyet gerektiren alanlardır.

Çalışma alanının kuzey ve güney yönlerinde, yükseltinin ova tabanına göre fazla, zemin yapısının daha sağlam olduğu tespit edilen alanlar ise yüksek önem derecesine sahip alanlardır (Şekil 11, yeşil). Bu alanlar yeraltı su seviyesi yüzeye yakın olmasına rağmen, zemin bakımından sınılaşma riski barındırmayan orta sağlam yapıdaki Tersiyer dönemde litolojiye sahiptir. Bu bakımdan yerleşilebilirlik ve maliyet açısından uygunluk teşkil etmektedir. En yüksek önem derecesine sahip alanlar (Şekil 11, koyu mavi) ise faylara uzaklık, zemin yapısı ve YAS seviyesi bakımından çalışma alanı sınırları içerisindeki en güvenli alanlardır. Ancak jeolojik ve jeomorfolojik ölçütlerin ağırlıklandırılmasında eğim ölçütüne ait önem ağırlığının %4 (düşük) olması sebebiyle, çalışma kapsamında eğimin belirleyici unsur olarak kabul edilmediği göz önünde bulundurulmalıdır. Eğim değerlerinin 45 dereceden fazla olduğu, çalışma alanının güneyinde Samanlı Dağlarının güneye bakan yamaçlarında yer alan en yüksek önem derecesine sahip bu güvenli alanlar, yerleşilebilirlik ve maliyet bakımından uygunluk teşkil etmemektedir.

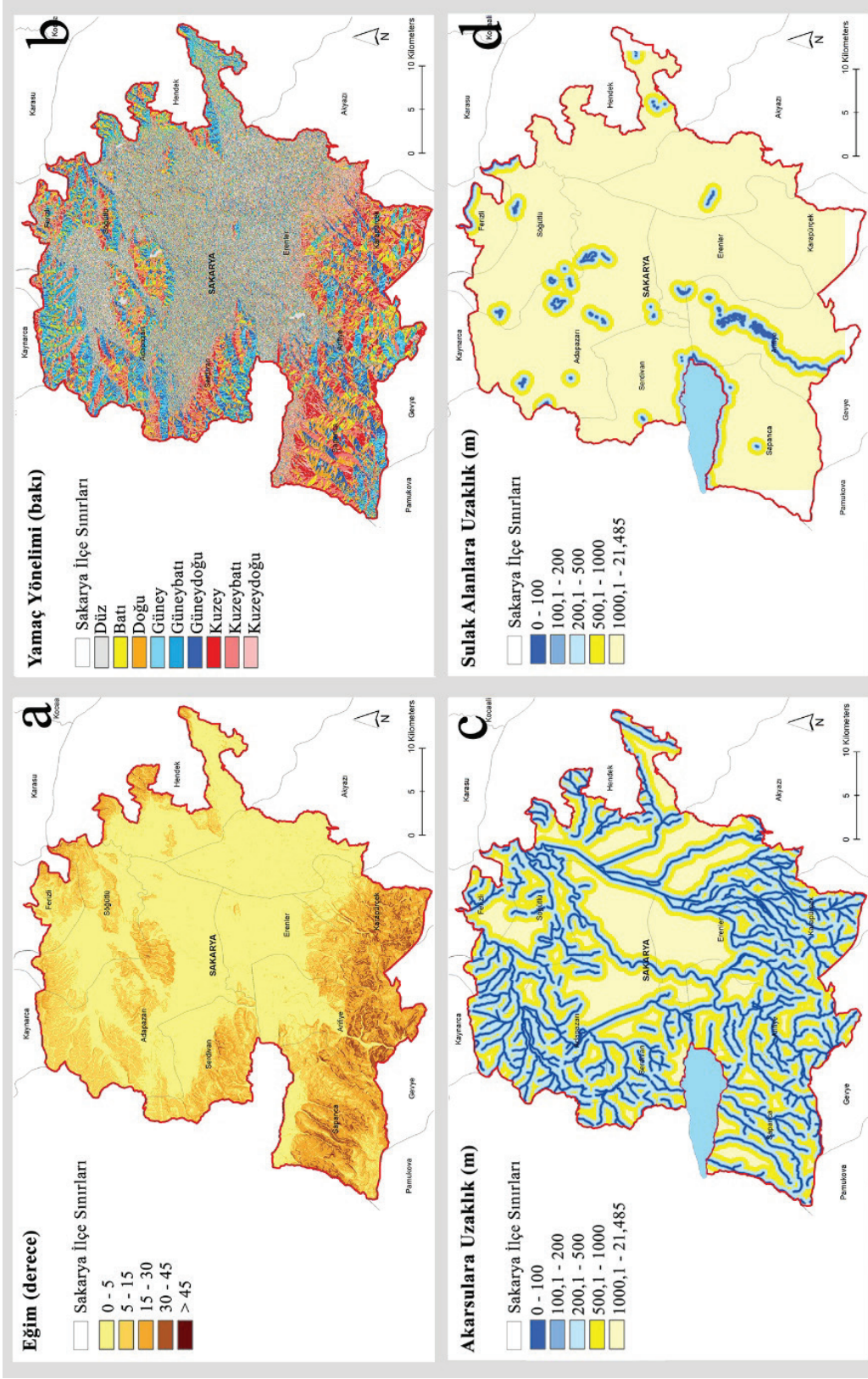
Çizelge 5. Ölçüt ve Alt Ölçütlerin Normalize Ağırlık Değerleri.

Table 5. Normalized Weight Values of Criteria and Sub-Criteria.

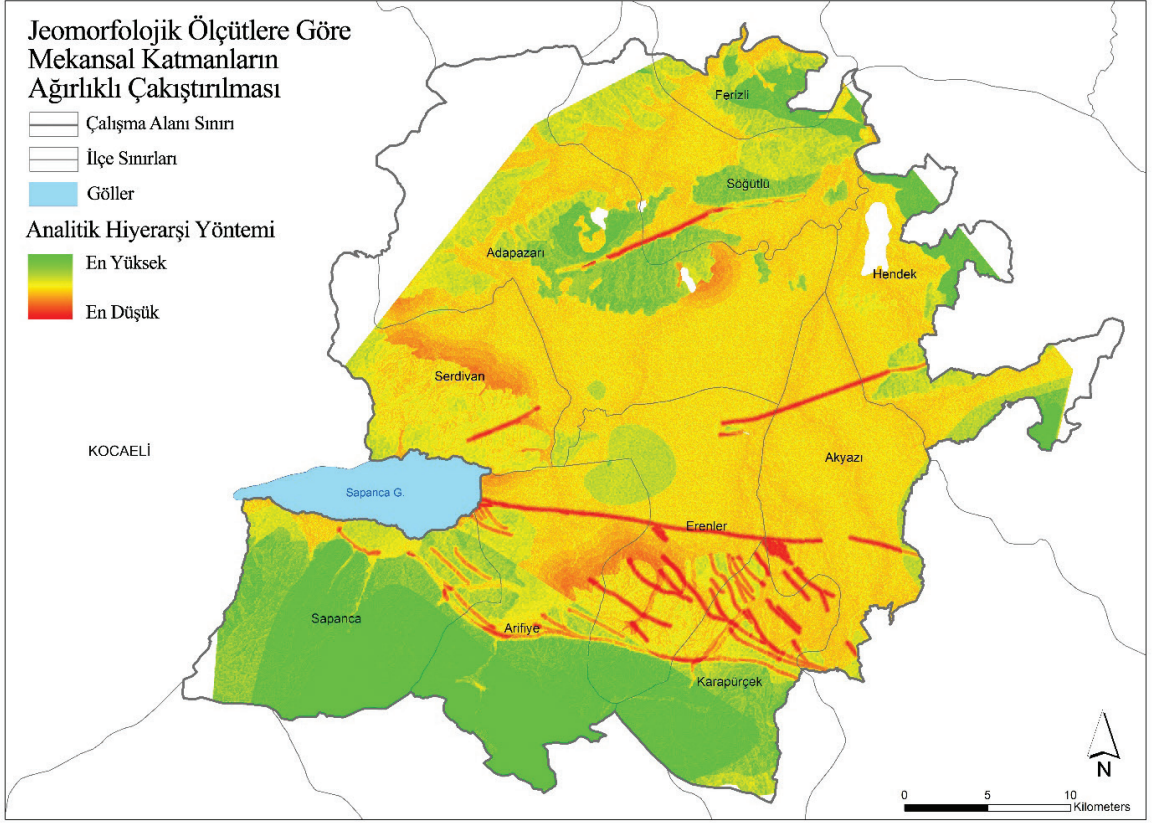
Jeomorfolojik Ölçütler	Tutarlılık Oranı (CR)	Ağırlık (W)	Alt Ölçütler	Ağırlık (W)	Normalize Ağırlık (W')
Jeolojik Yapı	0,034	0,28	Kuvaterner (zayıf zemin)	0,054	0,015
			Tersiyer (zayıf-orta zemin)	0,119	0,033
			Mesozoyik (orta-sağlam zemin)	0,259	0,073
			Paleozoyik (sağlam zemin)	0,568	0,159
Faylara Uzaklık	0,05	0,18	0 - 39	0,034	0,006
			40 - 49	0,094	0,017
			50 - 69	0,177	0,032
			70 - 100	0,272	0,049
			>100	0,423	0,076
Heyelanlara Uzaklık	0,54	0,11	0 - 500	0,035	0,004
			500 - 1000	0,068	0,007
			1000 - 1500	0,134	0,015
			1500 - 2000	0,260	0,029
			>2000	0,503	0,055
YAS seviyesi	0,75	0,33	0 - 5 m	0,053	0,018
			5 - 10 m	0,078	0,026
			10 - 20 m	0,222	0,073
			> 20 m	0,646	0,213
Eğim	0,023	0,04	0 ° - 5°	0,449	0,018
			5 ° - 15°	0,278	0,011
			15 ° - 30°	0,165	0,007
			30 ° - 45°	0,071	0,003
			> 45°	0,036	0,001
Bakı	0,087	0,03	Düz	0,018	0,001
			Kuzey	0,025	0,001
			Kuzeydoğu	0,036	0,001
			Doğu	0,070	0,002
			Güneydoğu	0,119	0,004
			Güney	0,268	0,008
			Güneybatı	0,256	0,008
			Batı	0,148	0,004
Kuzeybatı	0,058	0,002			
Su Kütlelerine Uzaklık	0,054	0,03	0 - 100	0,035	0,001
			100 - 200	0,068	0,002
			200 - 500	0,134	0,004
			500 - 1000	0,260	0,008
			>1000	0,503	0,015
					1,000



Şekil 9. a) Jeoloji, **b)** Faylara uzaklık, **c)** Heyelanlara uzaklık, **d)** YASS Ölçütlüleri Ağırlıklanmış Analiz Haritaları.
Figure 9. a) *Weighted Analysis Maps. a)* *Geology, b)* *Distance to Faults, c)* *Distance to Landslides, and d)* *Water levels, YASS.*



Şekil 10. a) Eğim, b) Bakı, c) Akarsulara Uzaklık, ve d) Sulak Alanlara Uzaklık Ölçütleri Ağırlıklandırılmış Analiz Haritaları.
Figure 10. Weighted Analysis Maps. a) Slope, b) Aspect, c) Distance to Streams, and d) Distance to Wetlands.



Şekil 11. Mekânsal Katmanların Ağırlıklandırılması sonucunda elde edilen sentez haritası.

Figure 11. Weighted Synthesis Map of Spatial Layers.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Teknolojinin gelişmesi ile insanın doğal süreçleri ölçme, süreci tetikleyen değişimleri tespit etme ve değişkenler arasındaki ilişkileri çözümlenerek kentleşme için eşik teşkil eden ölçütleri belirleme becerisi giderek artmıştır (Coates & Vitek, 1980). Doğal eşiklerin tanımlanması ve tarihsel süreç içerisinde yaşanan olaylardan ders çıkarılarak kayıpların en aza indirilmesi, bilimin toplumsal işlevleri arasında en öncelikli görevidir (Gares et al., 1994). Russell'a göre bir yere ait eşiklerin ve doğal çevre ile insan arasındaki ilişkinin anlaşılması için kamusal politikaları ve kentsel çevreyi üreten kararları meydana getiren o yere özgü bileşenler ile doğal sistemin diğer bileşenlerini değiştirebilecek etkilerden kaynaklı sonuçların iyi anlaşılması gereklidir (Russell,

1949). Kamusal politikaların belirlenmesinde doğal ölçütlerin belirleyici olması, arazi kullanım kararlarının belirlenmesi dâhil olmak üzere kentsel gelişimin birçok alanında başarıyla kullanılmıştır. Bu bağlamda doğal çevre ve insan arasındaki dengenin kurulmasında gerekli olan eşikler ile eşikleri meydana getiren süreçler tanınmalı; dengenin bozulması durumunda yapılması gereken müdahale türleri ve miktarı en iyi şekilde tahmin edilmelidir.

Doğal çevreye ait jeolojik ve jeomorfolojik ölçütlerin, 1999 depremleri sonrasında kent formunun değişimine etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmada; Adapazarı kent merkezinin de içinde olduğu, çalışma alanının %65'lik bölümünü kaplayan alanın düşük önem derecesine sahip, yapılaşmaya çok uygun olmayan zemin

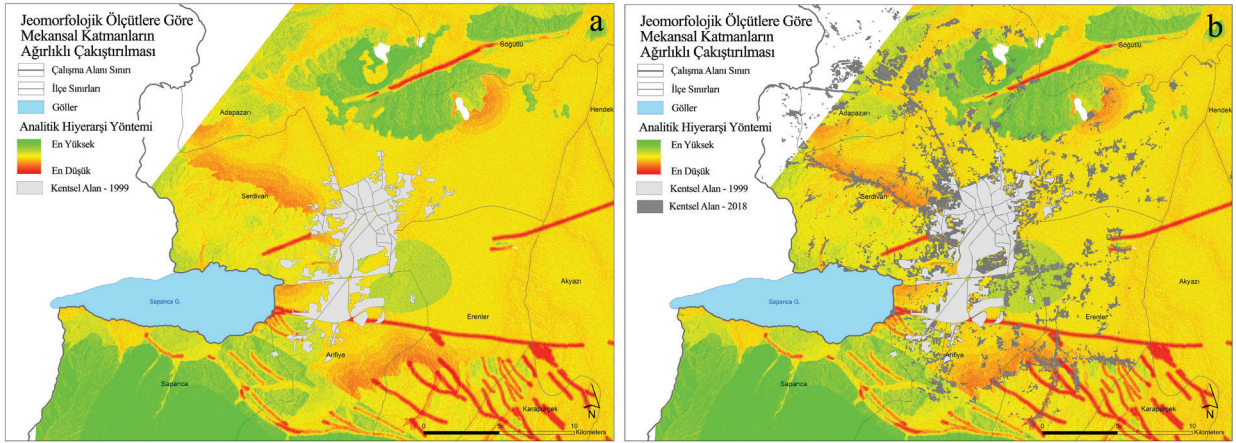
koşullarına sahip olduğu görülmektedir. YAS seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu bölgede, depremler sebebiyle meydana gelen sıvılaşmanın, yapılaşma için uygun koşullara sahip olmadığı; 1999-2000 yıllarında MTA, ODTÜ ve TÜBİTAK gibi çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarının durum tespit raporlarında da yer almaktadır (Koçyiğit vd., 1999).

Yüksek derecede risk teşkil eden fay hatları ve çevresinde yer alan sakinim bantlarını kapsayan, yerleşme için hiç uygun olmayan düşük önem derecesine sahip alanlar, çalışma alanının % 0,4'lük kısmını oluşturmaktadır. YAS seviyesi, faylara uzaklık ve zemin yapısı gibi yüksek önem derecesine sahip ölçütler bakımından engel teşkil etmiyor gibi görünse de eğim (> 450) ve coğrafyanın engebeli yapısının, kentleşme için elverişli olmadığı Samanlı Dağları'nın güney yamaçları; çalışma alanının % 4,2'sini meydana getirmektedir. Yöntem kapsamında en yüksek önem derecesi ile yerleşmeye en uygun olarak değerlendirilen bu alanlar; teorik çerçevede bir eşik teşkil etmese de uygulama aşamasında kendiliğinden eşik olarak kabul edilmektedir. Gerek zemin yapısı, gerek faylara uzaklık, gerekse sıvılaşma riski bakımından en az tehlike arz eden; Adapazarı kent merkezinin kuzeyi ile Sapanca Gölü'nün güney yamaçları olmak üzere çalışma alanının % 30'unu meydana getiren yüksek önem derecesine sahip alanların, yerleşme için bölgedeki en uygun koşullara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan çalışma alanına ait hava fotoğraflarının ArcGIS programında birleştirilmesiyle elde edilen kentsel doku (1999) ve sentez haritasının üst üste getirilmesi sonucunda (Şekil 12a); kentsel dokunun tamamının düşük önem derecesine sahip, jeolojik ve jeomorfolojik ölçütler göz önüne alındığında yerleşme için çok uygun olmayan alanlarda konumlandığı görülmektedir. 2018 yılına gelindiğinde ise Adapazarı mevcut kent merkezine ve kuzeydeki yeni gelişme alanlarının da eklenmesi sonucunda kentsel alanın sızramalar

yaparak yayıldığı görülmektedir (Şekil 12b). Sapanca Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan Serdivan ile mevcut kent merkezinin doğusuna doğru yayılan mevcut kent merkezinin aksine, 1999 depremleri sonrasında inşa edilen yeni gelişme alanlarının (kuzey); YAS seviyesi, faylara uzaklık ve zemin yapısı ölçütleri başta olmak üzere jeolojik ve jeomorfolojik parametreler göz önüne alındığında, yerleşmeye en uygun alan olarak tespit edilen yüksek önem derecesine sahip alanlarda konumlandığı görülmektedir (Şekil 12b).

Bu çalışma sonucunda kentleşme ve doğal çevre arasındaki dengenin belirlenerek, eşiklerin ortaya koyulması; önceliklerin analiz edilerek, karar verme süreçlerinin bir dizi alternatif arasından en iyisini seçmeyi sağlaması sebebiyle Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yönteminin; jeolojik – jeomorfolojik yapının, kent formu ile olan ilişkisi değerlendirirken objektif bir bilimsel çerçeve tanımladığı görülmektedir. Doğal çevreye ait ölçütlerin insan ve yaşadığı yer arasındaki sınırların belirlenmesinde önemli bir yeri olduğu; doğal yapıda meydana gelebilecek deprem gibi beklenmedik olayların, bilimsel temelli bir yaklaşımla en az hasar alacak şekilde atlatılabileceği; gelişen teknolojinin sağladığı imkânlar ve coğrafi bilgi sistemleri ile analiz, sentez ve plan kararlarının çok daha hızlı alınabileceği ile bunlar sonucunda afetlere yönelik risklerin azaltılabileceği gibi afetler sonrası hızlı ve yerinde müdahale kararlarının da alınabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kullanım kararlarının doğru alınması, kentsel doku ve yapılaşma koşullarının doğal yapı ile en uyumlu biçimde tasarlanması, kentsel mekânın planlanmasında en önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmanın objektif ve uygulanabilir bir yöntem ortaya koyarak, anlamlı bir kuramsal çerçeve tanımlaması; kentsel planlama literatüründe, jeolojik ve jeomorfolojik eşiklerin ele alınması açısından önemlidir.



Şekil 12. Ağırlıklandırılmış Ölçütlerin Sentezi ve **a)** 1999, **b)** 2018 yıllarına ait Yapılı Çevrenin ilişkisi.
Figure 12. Synthesis of Weighted Criteria and its relation to Built Environment: **a)** 1999 and **b)** 2018.

EXTENDED SUMMARY

Turkey is a country where many disasters have been experienced due to earthquakes in the North Anatolian Fault Zone, one of the most active active faults in the world. It has become necessity to use scientific research and analysis methods in the selection of urban areas in order to prevent the pecuniary loss and intangible damage experienced in the past.

This study argues that planning and site selection policies can be based on an objective analysis method with an interdisciplinary approach, by making use of the Analytical Hierarchy Process to understand the relation between the geological and geomorphological structure and the Adapazari urban settlement after the 1999 earthquakes.

This article is based on the synthesis of 7 different criteria weighting by using the AHP method in order to analyze the relationship between the geological and geomorphological structure and urban development in planning, and to create an earthquake-priority base for land suitability. The analysis of the data belonging to the Adapazari sample study area was synthesized by the AHP method using Geographical Information

Systems (GIS).

As a result of the general analysis and synthesis, it has been determined that the groundwater level is very close to the surface in most of the study area, including the city center of Adapazari, and the risk of possible earthquakes and liquefaction is high due to the North Anatolian Fault Zone. The area does not have suitable conditions for new developments and also is at risk for existing buildings. The north side of the city center and the southern slopes of Sapanca Lake have the most suitable conditions for settlement. It has been determined that the area that poses the least danger in terms of ground structure, distance to faults and liquefaction risk, constitutes 30% of the study area.

According to the research presented, the synthesis map obtained by weighting the geological and geomorphological criteria with the AHP method is important because it determines which criterion is considered primarily in terms of urban suitability.

The study also defines a scientific framework by analyzing the natural thresholds in a site-specific manner, and it helps to choose the best alternative during the spatial decision processes.


The most important of the difficulties encountered during the study was accessing databases for the geological, geomorphological and urban structure. Despite the open, continuous and reliable data provision service of international databases, the historical continuity of national data has led to a prolongation of the analysis and synthesis processes. Therefore, there is a need for more systematic and continuous archiving of geological and urban data in order to develop spatial policies and solutions faster in the face of emergencies and disasters.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (MEU, BAP, Proje Numarası: 2019-3-TP3-3813) tarafından desteklenmiştir.

ORCID

Seda Sakar  <https://orcid.org/0000-0003-4136-8314>

Hidayet Taga  <https://orcid.org/0000-0002-7606-8517>

Fikret Zorlu  <http://orcid.org/0000-0002-9243-1398>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Akıncı, H., Yavuz Özalp, A. & Temuçin Kılıçer, S. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(2), 40–53.
- Akyol, M. (2007). *Sakarya'da 17 Ağustos Depremi Sonrası Kurulan Yeni Yerleşim Alanları* [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Almusaed, A. & Almssad, A. (2019). City Phenomenon between Urban Structure and Composition. In A. Almusaed, A. Almssad, & L. Truong-Hong, (Eds.), *Sustainability in Urban Planning and Design* (pp. 1-29). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90443>

- Coates, D. R. & Vitek, J. D. (Eds.). (1980). *Thresholds in Geomorphology* (1st ed.). George Allen & Unwin Ltd.
- Çökelek, R. (2003). *Türkiye'de Sermaye Birikimi Sürecinde Kentsel Gelişme Dinamikleri Açısından Adapazarı* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M. ve Ünay, E. (1998). Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi. *MTA Dergisi*, 120, 233–258.
- Emshoff, J. R. & Saaty, T. L. (1982). Applications of the Analytic Hierarchy Process to Long Range Planning Processes. *European Journal of Operational Research*, 10, 131–143.
- Erkal, T. ve Taş, B. (2013). *Jeomorfoloji ve İnsan*. Yeditepe.
- Gares, P. A., Sherman, D. J., & Nordstrom, K. F. (1994). Geomorphology and Natural Hazards. *Geomorphology*, 10(1-4), 1-18. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90004-3)
- Hoşgören, M. Y. (2017). *Jeomorfoloji Terimleri Sözlüğü*. Çantay Kitabevi.
- Huggett, R. J. (2017). *Fundamentals of Geomorphology* (Fourth ed.). Routledge. <https://doi.org/10.5860/choice.49-2681>
- Koçyiğit, A., Göncüoğlu, C., Toprak, V., Bozkurt, E., Dırık, K., Rojey, B., Yılmaz, Ö., Teksöz, B., Cihan, M., Özacar, A., Emre, Ö., Ateş, Ş., Duman, T. Y., Keçer, M., Erkal, T., Doğan, A., Durmaz, S., Özmançelebioğlu, R., Karakaya, F., & Özalp, E. (1999). *17 Ağustos 1999 Gölcük-Arifiye (Kuzeydoğu Marmara) Depremleri Sonrası Sakarya İli ve Ona Bağlı Yerleşkeler için Yeni Yerleşim Alanları Araştırma Raporu*.
- Kropf, K. (1996). Urban Tissue and the Character of Towns. *Urban Design International*, 1(3), 247–263. <https://doi.org/10.1057/udi.1996.32>
- Özmen, B. (2000a). 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Konut ve İşyeri Hasarları (Rakamsal Verilerle). In B. Özmen & G. Bağcı (Eds.), *12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu*.
- Özmen, B. (2000b). *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)* (TDV/DR 010-53).

- Russell, R. J. (1949). Geographical geomorphology. *Annals of the Association of American Geographers*, 39(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/00045604909351992>
- Saaty, T.L. (1988). What is the Analytic Hierarchy Process?. In G. Mitra, H. J. Greenberg, F. A. Lootsma, M. J. Rijkaert, H. J. Zimmermann (Eds), *Mathematical Models for Decision Support* (pp. 109-121). NATO ASI Series, vol 48. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Saaty, T. (1995). Transport Planning with Multiple Criteria: The Analytic Hierarchy Process Applications and Progress Review. *Journal of Advanced Transportation*, 29(I), 81–126.
- Saaty, T. (2005). Analytic Hierarchy Process. In P. Armitage & T. Colton (Eds.), *Encyclopedia of Biostatistics Vol 1* (pp. 165–171). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>
- Saaty, T., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Second Edi). Springer.
- Sakarya İli, Birinci Etap Alanların Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüdü Raporu. (2012).
- Topel, A. (2006). *Analitik Hiyerarşi Prosesinin Bulanık Mantık Ortamındaki Uygulamaları-Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- TUİK, (2023, 05 Nisan). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2022*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuc-lari-2022-49685#:~:text=T%C3%9C%C4%B0K%20Kurumsal&text=T%C3%BCrkiye'de%20ikamet%20eden%20n%C3%BCfus,575%20bin%20441%20ki%C5%9Fi%20oldu>.