



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Afet Bölgesindeki Bazı Yerleşim Alanlarının Geoteknik Açından Değerlendirilmesi: Bartın-Amasra Örneği

 Fatih GÖKTEPE ^{a,*}

^a *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fgoktepe@bartin.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.1184869

Öz

Coğrafi konum olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Bartın ilinde geçmiş yıllarda gerçekleşen deprem, sel, heyelan gibi afetlerden dolayı, bölge sosyal ve ekonomik anlamda hissedilir düzeyde etkilenmiştir. Tektonik olarak aktif bir bölge olan Batı Karadeniz Havzasının iklim koşulları, bitki örtüsü ve topoğrafik yapısı nedeniyle yaşanan bu tür afetlerin gelecekte alüvyal tabanlı Bartın ilini sıklık ve şiddet anlamında daha fazla etkilemesi muhtemeldir. Bu sebeple bölgede yapılacak mühendislik yapılarının sismik tasarım sürecinde ve şiddetli yağışlara bağlı meydana gelen su baskınlarının olumsuz etkilerini azaltmak için yapılacak çalışmalarda, elverişsiz zemin koşullarının iyi bilinmesi gerekir. Yapılan bu çalışmada Bartın şehir merkezi ve Amasra ilçesinde bulunan yoğun yerleşim alanlarındaki genel zemin yapısı, geoteknik deprem mühendisliği açısından önemli olan bazı dinamik parametreler kullanılarak analiz edilmiştir. Pilot inceleme alanlarında yapılmış zemin etüt raporlarından elde edilen verilerin analiz edildiği bu çalışmada, geoteknik açıdan problemli ve/veya yapı açısından daha duyarlı yerleşim sahalarının risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, bölgede en son gerçekleşen Haziran 2022 sel afeti sonrası oluşan bazı taşkın ve heyelan olayları, arazi koşullarında edinilen güncel resimler ve izlenimlere bağlı olarak yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında sunulan sonuç ve önerilerin, bölgede inşa edilecek mühendislik yapılarını tasarlayan mühendislerin yanı sıra bölgenin afet durumunu analiz eden araştırmacılara ve yerleşim noktalarının belirlenmesinde görev alan şehir planlayıcılarına yol gösterici olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet bölgesi, Sel, Heyelan, Deprem, Bartın –Amasra, Geoteknik değerlendirme, Alüvyal çökeller

Geotechnical Evaluation of Some Settlement Areas in the Disaster Region: The Case of Bartın-Amasra

ABSTRACT

Bartın province, located in the Western Black Sea Region as a geographical location, has been affected socially and economically at a detectable level due to earthquake, flood, and landslide disasters in the past years. Such disasters connected with the climatic conditions, vegetation, and topographic structure of Western Black Sea Basin, a tectonically active region, are likely to affect the alluvial-based Bartın province more in terms of frequency and severity in the future. For this reason, unfavorable soil conditions should be well known in the seismic design process of engineering structures to be built in the region and in the studies to be carried out to reduce the adverse effects of floodings based on heavy rains. In this study, the general soil structure in the dense residential areas in Bartın city center and Amasra district were analyzed using some important dynamic parameters in geotechnical earthquake engineering. The risk assessment of the geotechnically problematic and/or more sensitive building areas was determined using the data obtained from the ground survey reports in the pilot study areas. In addition,

1897

some overflowing and landslide events that occurred after the last flooding in June 2022 in the region were interpreted depending on the updated pictures and impressions obtained from the field conditions. It was evaluated that the results and suggestions presented within the scope of the study will guide the engineers designing engineering structures to be built in the region, as well as the researchers analyzing the disaster situation of the region and the city planners involved in the determination of settlement points.

Keywords: Disaster area, Flooding, Landslide, Earthquake, Bartın –Amasra, Geotechnical evaluation, Alluvial deposits

I. GİRİŞ

Farklı mühendislik amaçlarına uygun olarak yapılan yapılar her ne kadar tasarım aşamasında ilgili yönetmeliklere uygun yapılmaya çalışılsa da, ülkemizde yaşanan deprem, sel, heyelan vb. afetlere bağlı olarak geçmişte önemli hasarlar ve can kayıpları meydana gelmiştir. Sismik salımlara bağlı oluşan yapısal hasarların veya heyelan türü kitlesel toprak hareketlerinin çoğunlukla alüvyon zemin koşullarında oluştuğu değerlendirilmesi gereken önemli bir husustur. Alüvyal çökellerin dışındaki daha sıkı ve taşıma gücü anlamında daha iyi zemin ortamında inşa edilen yapılar geçmişte yaşanan depremler sonrasında daha az hasar almışlardır [1]. Buradan hareketle mühendislik yapılarının tasarımında binanın konumlandığı zemin ortamının mekanik ve dinamik karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekliliği geçmiş depremlerde meydana gelen hasarlarla daha iyi anlaşılmıştır. Özellikle deprem, sel, heyelan vb. afetlerin oluşma riskinin yüksek olduğu vadi tabanlı bölgelerdeki yerleşim alanları açısından jeolojik zemin koşullarının iyi bilinmesi gerekliliği önemlidir.

Ülkemizin özellikle kıyı kesimlerindeki yoğun yağışlar ve dağlık alanlardaki hızla eriyen karlar başta Batı Karadeniz bölgesi olmak üzere Türkiye'nin farklı yerlerinde sel ve heyelan gibi afetlere sebep olmaktadır [2]. Her geçen yıl sıklık ve şiddeti artış gösteren bu tür afetler geçmiş zamanlarda olduğu gibi son yıllarda da Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Bartın ilini önemli oranda etkilemektedir. Hem bölge hemde ülkemiz ekonomisine ciddi zararlar veren hidrografik kökenli sel türü bu tür afetlerin oluşum mekanizmaları ve alınabilecek önlemlerle alakalı literatürde birçok çalışma yapılmıştır [3-5].

Tunay ve Ateşoğlu [6] yaptıkları çalışmada Bartın çayını oluşturan Kozcağız ve Ulus çaylarının taşkın sahalarındaki değişimlerini 1992 ve 2000 tarihli Landsat 5 TM uydu verilerini kullanarak analiz etmişlerdir. Araştırmada, uydu verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında analizi sonucu bölgede meydana gelen 1998 taşkımindan önceki ve sonraki taşkın sahalarının durumları sayısal ve görsel olarak analiz edilerek alınabilecek önlemlere vurgu yapılmıştır. Bartın ilindeki mevcut nehir taşkınlarının önemi ve bölgede meydana gelen 1998 sel taşkınının özellikle nehir yatağındaki yapılar üzerindeki yıkıcı hasarları Arman vd. [7] tarafından yapılan çalışmada özetlenmiştir. Küresel iklim değişikliğine bağlı ülkemizdeki iklim özelliklerinin değişimiyle Bartın Çayı havzasında oluşabilecek muhtemel gelişmelere Turoğlu [8] tarafından yapılan çalışmada değerlendirilerek, bölgenin iklim elemanlarındaki değişiklikler ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, son 15 yılda önemli oranda iklim özelliklerinin değiştiği tespit edilen bölgenin jeomorfolojik, litolojik, hidrografik ve arazi örtüsü özellikleri de düşünüldüğünde, gelecekte Bartın havzasındaki olası afetlerin ve diğer su problemlerinin artabileceği vurgulanarak alınabilecek önlemler özetlenmiştir. Gökyer ve Öztürk [9] CBS kullanarak Bartın ili çevresindeki heyelan riski olan bölgeleri belirlemişlerdir. Bölgede meydana gelen heyelanların kentsel gelişim üzerine etkilerini ve heyelan riskli alanlardaki arazi durumunu değerlendirdikleri çalışmalarında, jeolojik yapı, eğim, bakı ve bitki örtüsü gibi parametrelerin heyelan oluşumundaki önemine değinmişlerdir. Görbil [10] yaptığı tez çalışmasında Bartın ilindeki Gökırmak çayı üzerinde yapılan baraj sebebiyle su altında kalan eski yol yerine alternatif olarak belirlenen Kirazlı Köprü Varyant Yolunun geçtiği güzergâhtaki paleo heyelanlı bölgeleri belirleyerek oluşan kütle hareketlerinin durdurulmasına yönelik önlem ölçümlerine değinmiştir.

Bartın ve yakın çevresi dünyanın en önemli sağ yönlü doğrultu atımlı faylarından biri olan ve Türkiye'nin kuzeyi ile Karadeniz çevresindeki birçok sismik aktiviteye sebep olan Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'nın etkisi altındadır [11]. Karadeniz bölgesinin Türkiye kıyı şeridinde meydana gelen ve aletsel

olarak ölçülen en büyük deprem, 1968 yılında Bartın ilindeki Amasra ilçesinin 10 km kuzey açığında olmuştur [12]. Meydana gelen bu deprem orta büyüklükte ($M_s=6.6$) değerlendirilse de Bartın, Amasra ve çevre köylerde oldukça fazla sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmuştur [13]. Deprem merkez üssünde bulunan alüvyonel zemin çökellerinde çatlakların oluştuğu ve bölgede birçok heyelan olayının gerçekleştiği gözlemlenmiştir [14]. Buna ilaveten depremden hemen sonra Amasra Körfezi'nde küçük boyutlu tsunami hareketlerinin meydana geldiği Lander [15] tarafından yapılan araştırmada belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmayla Bartın ilindeki bazı yerleşim bölgelerinin zemin profili geoteknik açıdan değerlendirilmiştir. Bartın il merkezi ve Amasra ilçesinde seçilen pilot yerleşim alanlarındaki farklı lokasyonlarda daha önce yapılmış geoteknik etüd raporları toplanarak elde edilen mekanik ve dinamik zemin parametreleri yorumlanarak bölgenin genel zemin formasyonu incelenmiştir. Ayrıca, bölgede 1998 yılı Mayıs ayında gerçekleşen selden sonraki en büyük sel afeti olan Haziran 2022 yılındaki taşkınlardan ve bu taşkınlardan oluşturduğu heyelan tipi kütle hareketlerinden etkilenen alanlar arazi koşullarında elde edilen resimlerle açıklanmaya çalışılmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen verilerin analiz edilerek yorumlandığı bu çalışmayla, özellikle bölgedeki zemin açısından problemli ve/veya yapı açısından daha duyarlı yerleşim sahalarının geoteknik risk değerlendirilmesi düşünülmüştür. İnceleme sahasında yapılmış zemin etüd raporlarından toplanan verilere bağlı olarak elde edilen sonuçların pratikteki uygulanabilirliği irdelenerek yapılan bu çalışmanın literatürdeki boşluğa katkı sağlaması hedeflenmiştir.

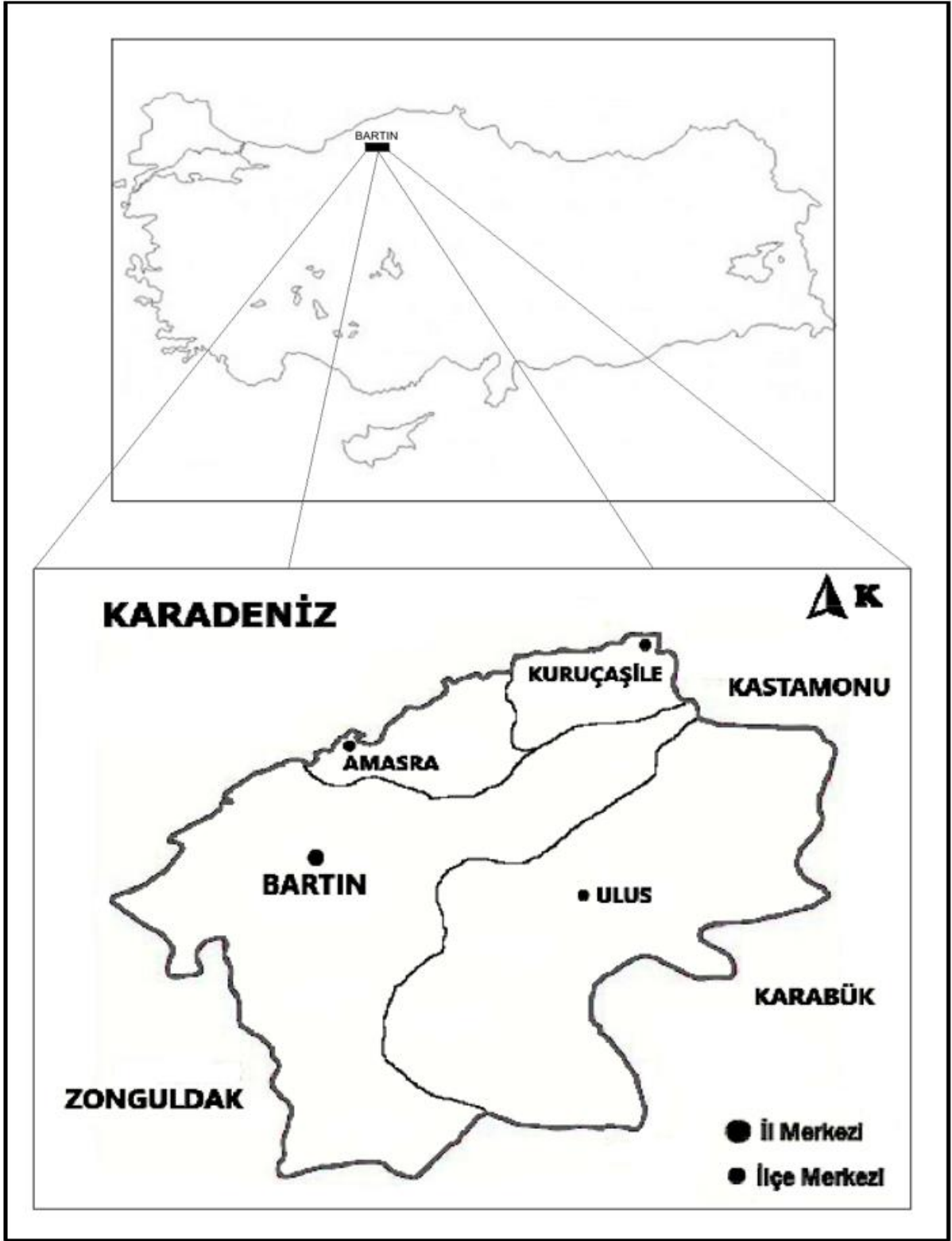
II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. İNCELEME BÖLGESİNİN TANITILMASI

Yapılan çalışma kapsamında geoteknik zemin yapısı belirlenmeye çalışılan Bartın ili coğrafi konum olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, batıda Zonguldak, doğuda Kastamonu ve güneydoğusunda ise Karabük illeriyle çevrelenmiştir (Şekil 1). Yüksekliği 2000 metreyi geçmeyen kıyıya paralel dağlarla çevrili olan Bartın ilinin aynı zamanda sahil şeridinde olması, özellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde artan düzeylerde olmak üzere her mevsim bol yağış almasına sebep olmaktadır. Bölgenin zemin formasyonunun oluşumunda etkili olan en önemli akarsuyu Bartın ırmağı ve kollarının özellikle yağışların bol olduğu mevsimlerde debi çoğalmasına bağlı taşarak sellere sebep olduğu söylenebilir [16]. Yine yüksek olmayan dik dağ sıralarıyla çevrili Amasra ilçesi yüzölçümü bakımından Bartın ilinin ikinci büyük ilçesi olup özellikle turistik yapısı sebebiyle yoğun yerleşim alanlarına sahip bir sahil kentidir.

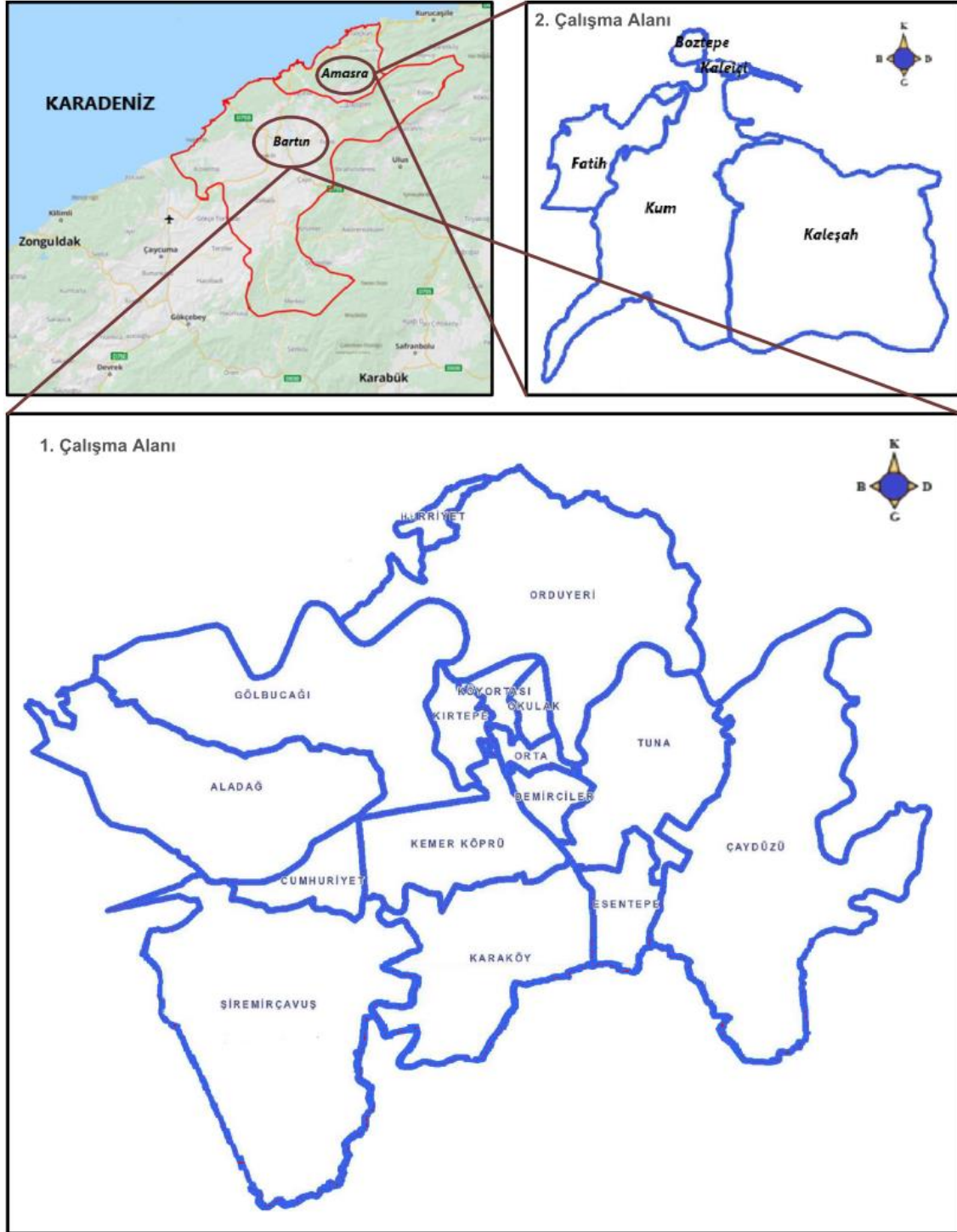
Farklı yerleşim alanlarında yapılan bu çalışma için, Şekil 2'de belirtilen Bartın ili merkezi (1. Çalışma Alanı) ve Amasra ilçesi (2. Çalışma Alanı) inceleme sahalarındaki değişik noktalarda yapılmış sondaj ve/veya araştırma çukuru çalışmalarına ait zemin etüd raporlarındaki sayısal veriler kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında Şekil 2'de konumları verilen Bartın ili merkezindeki Hürriyet, Orduyeri, Tuna, Kırtepe, Köyortası, Okulak, Orta, Demirciler, Esentepe, Çaydüzü, Karaköy, Kemer Köprü, Gölbucağı, Aladağ Cumhuriyet ve Şiremirçavuş olmak üzere toplam 16 mahalle pilot inceleme sahası olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Bartın ili ve çevre komşularını gösteren konum haritası

Buna ilaveten yine Bartın kent merkezinin kuzeydoğusundaki Amasra ilçesinde bulunan Kaleşah, Kaleiçi, Boztepe, Kum ve Fatih mahallerinde yapılan geoteknik raporlar analiz edilerek bölgenin genel zemin yapısı belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 2). Bartın ili merkezi ve Amasra ilçesinde temin edilen zemin etüd raporları doğrultusunda hazırlanan bu çalışma, bölgedeki pilot yerleşim alanlarını geoteknik anlamda değerlendiren bir araştırma makalesi özelliği taşımaktadır.



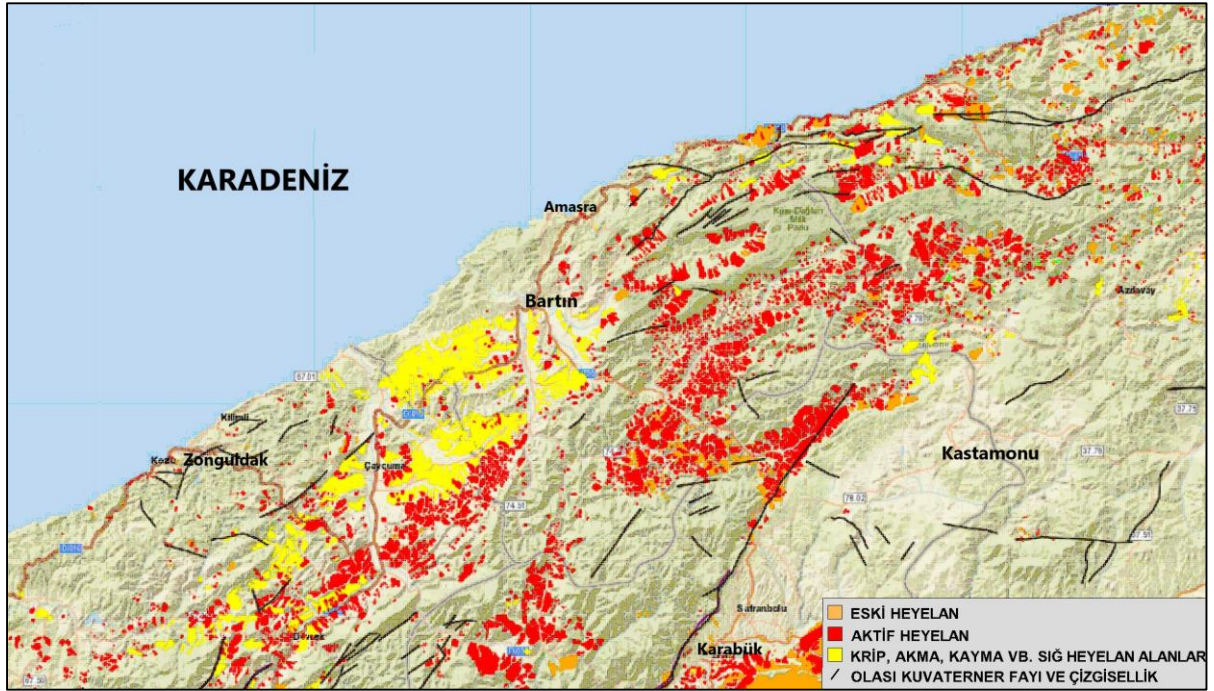
Şekil 2. Çalışma alanlarını gösteren yer bulduru haritası

B. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ VE AFET DURUMU

Jeolojik olarak Bartın bölgesinin temelini Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşlı Ereğli formasyonu oluşturmaktadır [17]. Özellikle şehir merkezinden akan Bartın çayının getirdiği gevşek alüvyon tabakalarının bölgenin zemin yapısında etkili olduğu çalışma sahasında ırmak rejimine bağlı olarak sürekli taşınma ve aşınmaların gerçekleştiği anlaşılmaktadır [9]. Genel olarak Bartın merkezinde alttan üste doğru ayrılmış Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyal akarsu

çökelleri bulunmaktadır [18]. Birinci çalışma sahası olan Bartın kent merkezindeki genel zemin formasyonu üst seviyelerde ince kumtaşı ana bantlı tabakalarını içeren silttaşı-kiltaşı birimlerinden, daha alt seviyelerde ise ayrılmış zayıf-çok zayıf taşıma gücüne sahip ince kumtaşı ve çakıltası içeren silttaşı-kiltaşı birimlerin gözlenmektedir. Bölgede Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonunun ayrışması, taşınması ve çökmesi sonucu oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyal akarsu çökelleri ise genel olarak orta katı-katı siltli killerden meydana gelmektedir [19]. Diğer çalışma sahası olarak seçilen Amasra bölgesinde ise Paleozoyikten başlayıp, Alüvyona kadar uzanan birimler mevcut olup İnkum-Kurucaşile arasındaki alanlarda, özellikle sahil kesiminde çok sayıda listrik fay zonları mevcuttur. İkinci çalışma bölgesindeki bazı yerleşim alanları Apsiyen yaşlı Kilimli Formasyonundan oluşmakta olup mühendislik jelojisi anlamında kumlu kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltası birimlerinin ardalanmalarından oluştuğu söylenebilir [20]. Amasra ilçesinde yoğun yerleşimin olduğu diğer mahallelerde ise kum, silt ve kil örneklerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir [21].

Bölgenin genel jeolojik formasyonunda etkili olan kuvaterner alüvyon çökellerinin bulunduğu alanlar heyelan açısından riskli bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi [22] kullanılarak hazırlanan Şekil 3'deki resimden, bölgede meydana gelmiş kütleli toprak kaymaları ve krip, akma, kayma vb. sığ heyelan bölgeleriyle aktif heyelan alanlarının özellikle Ulus, Çaycuma ve Çakraz Formasyonunda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Çalışma sahasının depremselliği açısından, Karadeniz bölgesinde meydana gelen son yıllardaki depremlerin faylanma türü açısından 1968 Bartın depremiyle aynı ve/veya baskın ters faylanma bileşenlerine sahip olduğu söylenebilir [23]. Sismik faaliyetlerin çoğunlukla Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkili olduğu Karadeniz bölgesinde Kalafat [24] tarafından yapılan çalışmada, özellikle son 6 yılda meydana gelen depremlerin fay düzlemleri incelenerek Bartın ve Samsun açıkları ile, Kastamonu civarında ters fay bileşenli depremlerin oluştuğu ve bu fay geometrisinin de bölgede sıkışmalı bir gerilmeye sebep olduğu belirtilmiştir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalar ve Şekil 3'de verilen Bartın İli ve çevresindeki olası Kuvaterner fayları dikkate alındığında, bölgenin sismik anlamda depremselliğinin vurgulanması gereken bir husus olduğu açıktır. Yine jeolojik anlamda özellikle yer altı su seviyelerinin yüksek olduğu Kuvaterner alüvyon zemin koşullarında olası bir sismik salınım etkisiyle bölgede sıvılaşma riskinin olduğu da söylenebilir.



Şekil 3. Çalışma sahasının genel afet durumunu gösteren harita [22]

Çalışmanın yapıldığı Bartın ili ve çevresi sel ve heyelan olaylarının çok sık yaşandığı bir afet bölgesidir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre bölgede 1970-1997 arasında toplam 19 taşkın meydana gelmiştir. Geçmişte birçok sel afetinin yaşandığı Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Bartın nehir havzasında meydana gelen en büyük taşkınlardan biri olan Mayıs 1998 sel afeti, Bartın ili ve ilçelerinde önemli derecede ekonomik ve sosyal problemlere neden olmuştur. Çalışma sahası bölgesinde yaşanan taşkınların nedenleri araştırıldığında, Bartın ilinden geçerek Karadeniz'e ulaşan akarsuların yukarı havzalarındaki zemin bölgelerinin su tutma kapasitelerinin düşük olması, bölgedeki ormanlık alanlara yapılan fiziksel müdahaleler ve nehir yataklarının ıslah çalışmalarının tam olarak yapılmayışı gibi ana unsurlar ortaya çıkmaktadır [25]. Son yıllarda Bartın ilindeki hızlı nüfus artışına bağlı olarak gerçekleşen kontrolsüz yapılaşma yine bölgedeki sel ve heyelan afetlerinin sebepleri arasında sayılabilir. Batı Karadeniz Havzası için hazırlanan taşkın yönetim planında, oluşturulacak sensör ağı yardımıyla eş zamanlı meteorolojik, hidrolojik ve hidrolik verilerin adaptasyonu sonucu geliştirilecek tahmin modelinin bölge için gerekliliği belirtilmiştir [26]. Mayıs 1998'den sonra Bartın ilinde meydana gelen en büyük sel-taşkın afeti Haziran 2022 tarihinde olmuştur. Batı Karadeniz Bölgesi'nde yaşanan bu su baskını Bartın iliyle birlikte Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak gibi birçok çevre illeri de olumsuz yönde etkilemiştir. AFAD oluşan bu afet sonrası Bartın iliyle birlikte diğer illerde sel-su baskını, heyelan ve kaya düşmesi afetlerinden etkilenen bölgelerin "Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi" olarak ilan edildiğini açıklamıştır. Aşırı yağışlara bağlı meydana gelen Haziran 2022 sel baskını sonrası 1. çalışma sahası olan Bartın şehir merkezindeki taşkın resimleri Şekil 4-6'da verilmiştir. Orduyeri köprüsünden çekilen resimde, oturma amaçlı kullanılan binaların, otobüs durağının ve yolların su altında kaldığı görülmekte olup taşkın seviyesinin daha önce bölgede gerçekleşen Mayıs 1998 sel afetine yaklaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4a). Yine Gölbucağı mahallesindeki Yalı mevkiinde bulunan tarihi Bartın Limanı'nın ve yürüme yollarının sular altında kalmış olması yaşanan taşkın boyutunu anlatmaktadır (Şekil 4b).



(a)



(b)

Şekil 4. Haziran 2022 sel baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki (a) Orduyeri köprüsünden sel-su baskını görüntüsü (b) Yalı mevkiindeki tarihi Bartın Limanı

Yine 200 yılı aşan tarihiyle Bartın ilindeki ilk taş köprü olma özelliğini taşıyan ve kesme taşlardan yapılan tarihi Kemer Köprü, Bartın Çayı'nın taşmasıyla sular altında kalmıştır. Şehrin en önemli geçiş noktası olan ve kent merkezindeki en önemli tarihi yapılardan biri olan Kemer Köprü ve çevresi gece saatlerine kadar devam eden aşırı yağışlar sonrası trafik geçişlerine kapatılmış ve yerel halkın önemli bir yolu olan kent merkezi 'ne geçişler bu güzergâhtan durdurulmuştur. Yaşanan su baskını sonrasındaki ertesi gün aynı lokasyondan elde edilen resimde görüldüğü üzere tarihi Kemer Köprü'nün etrafında bulanık minibüs durağının halen sular altında olması yaşanan afetin boyutunu göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Haziran 2022 sel baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki ana geçiş güzergâhı olan tarihi Kemer Köprü mevkii

Yaşanan sel afeti bölgede farklı amaçlarla kullanılan hem kamu binalarını hemde konut amaçlı kullanılan yapıları olumsuz yönde etkilemiştir (Şekil 6a-c). Bölgede yaşanan şiddetli yağışlar sonrası Şekil 6a'da görüldüğü üzere Gölbucağı mahallesindeki Bartın Adliye Sarayı çevresi ile Şekil 6b'deki verildiği gibi Kemer Köprü mahallesindeki Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) İl Müdürlüğü binası ve çevresindeki birçok yapı yaşanan afetten etkilenmiştir. Aynı zamanda meydana gelen su baskını Şekil 6c'de bir örneği verilen resimdeki gibi kent merkezindeki birçok apartmanın girişini basarak bodrum

katların sular altında kalmasına sebep olmuştur. Buna ilaveten yaşanan sel afetine bağlı olarak taşan su kanalı Şekil 6d’de verilen resimde görüldüğü üzere fabrika binasını sular altında bırakarak önemli derecede ekonomik zararlara sebep olmuştur.



Şekil 6. Bartın ilinde meydana gelen Haziran 2022 sel baskını sonrası (a) Adliye Sarayı Binası çevresi (b) SGK Binası çevresi (c) Apartman girişi (d) Dere yatağındaki fabrika yapısı

Geçmiş yıllarda birçok kütleli toprak kaymasının sıklıkla yaşandığı bölgede Haziran 2022 sel afeti sırasında meydana gelen şiddetli yağışlar, daha çok alüvyon çökelleriyle kaplı Bartın şehir merkezindeki yerleşim noktalarında heyelana sebep olmuştur. Çalışmanın yapıldığı bölge olan 1. çalışma alanındaki Orduyeri mahallesinin Kaynarca mevkiinde bulunan bir istinat duvarı çökerek Şekil 7’de verilen resimdeki gibi binanın taşıyıcı sistemine zarar vermiştir.



Şekil 7. Haziran 2022 sel baskını sırasında Bartın şehir merkezinde yıkılan istinat duvarı ve binaya verdiği zarar

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yerinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçlarıyla kohezyonsuz kumlu, çakıllı zeminler için göreceli sıklıkla, kohezyonlu killi, siltli zeminlerde ise kıvam durumu, drenajsız kayma dayanımı, sıkışabilirlik, drenajsız deformasyon modülü vb. gibi parametreler arasında birçok korelasyon literatürde tanımlanmıştır [27-29]. Ayrıca, sığ veya derin temellere sahip üst yapı tasarımında ve binaların sismik davranışında önemli değişkenler olan zemin taşıma gücü kapasitesi, sıvılaşma ve oturma analizleri, yatak katsayısı hesaplamaları ile deformasyon modülleri gibi geoteknik kavramların belirlenmesinde arazi ölçümlerine bağlı elde edilen düzeltilmiş Standart Penetrasyon Deneyi darbe sayısı (SPT-N) kullanılmaktadır [30-33].

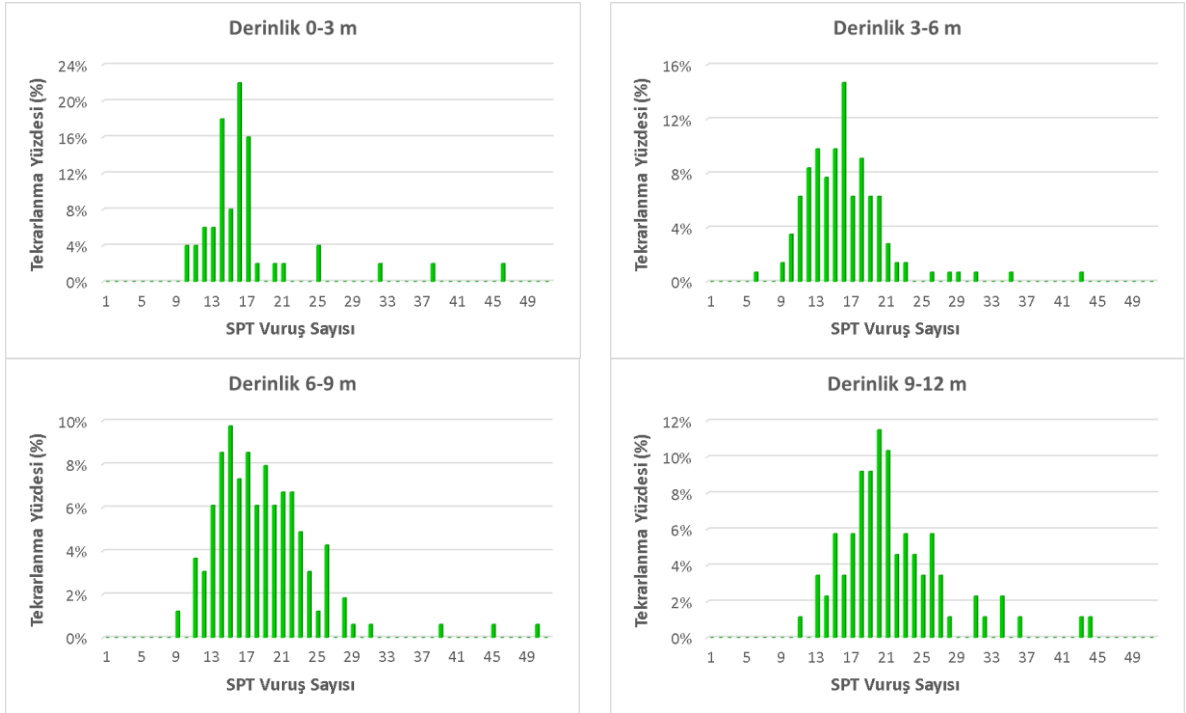
Yapıların sismik tasarımında kullanılan yönetmeliklerde zemin ortamının tanımlanmasındaki ana unsur kayma dalgası hızıdır. Jeolojik zemin katmanları için uygulanan yerinde jeofizik sismik kırılma deneylerinin yapılamadığı durumlarda kayma dalgası hızı, düzeltilmiş SPT-N değeri gibi penetrasyon direncine bağlı olarak literatürdeki ampirik korelasyonlar kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde arazi koşullarında yapılan bazı dinamik deney sonuçlarına bağlı olarak geliştirilen korelasyonlar kullanılarak tahmin edilen kayma dalgası hızı hesabında temel unsurun düzeltilmiş SPT-N değeri olduğu gerçeği vurgulanması gereken bir husustur [34-36].

Derin alüvyon çökellerinin geniş yayılım gösterdiği Bartın ilinin geoteknik açıdan zemin özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla bölgede hem kamu hemde özel şirketler tarafından birçok zemin etüt çalışması yaptırılmıştır. Zemin etüt çalışmaları incelenen alanın jeolojik ve geoteknik özelliklerinin saptanması amacıyla yapılan arazi ölçümleri, laboratuvar deneyleri ve büro çalışmalarını kapsamaktadır.

Yapılan bu çalışma için bölgede sondaj ve geoteknik araştırma hizmeti sunan yetkililerin Bartın şehir merkezi ve Amasra ilçelerinde bulunan yoğun yerleşim alanlarındaki toplam 21 mahallede yapmış oldukları yaklaşık 188 sondaj kuyusuna ait sayısal veriler kullanılmıştır. Açılan sondaj kuyularında her 1.5m'de yerinde yapılan SPT ile zemin ortamının penetrasyon direncini gösteren düzeltilmiş darbe sayısı (SPT-N) ilgili sondaj loglarında verilmiştir. Genel anlamda zemin katmanlarının dinamik kesme dirençlerini belirlemeye yönelik olarak yapılan SPT deneyi ile elde edilen düzeltilmiş N darbe sayısı, daneli zeminlerde rölatif sıklıkla kendini tutabilen zeminlerde ise kohezyon ve içsel sürtünme açısına

bağlı değişen kayma mukavemeti parametresiyle ilişkilidir. Bundan dolayı SPT deneyi sonuçlarıyla jeolojik zemin katmanlarının taşıma gücü arasında gerçekçi bağıntılar kurmak mümkün olmaktadır.

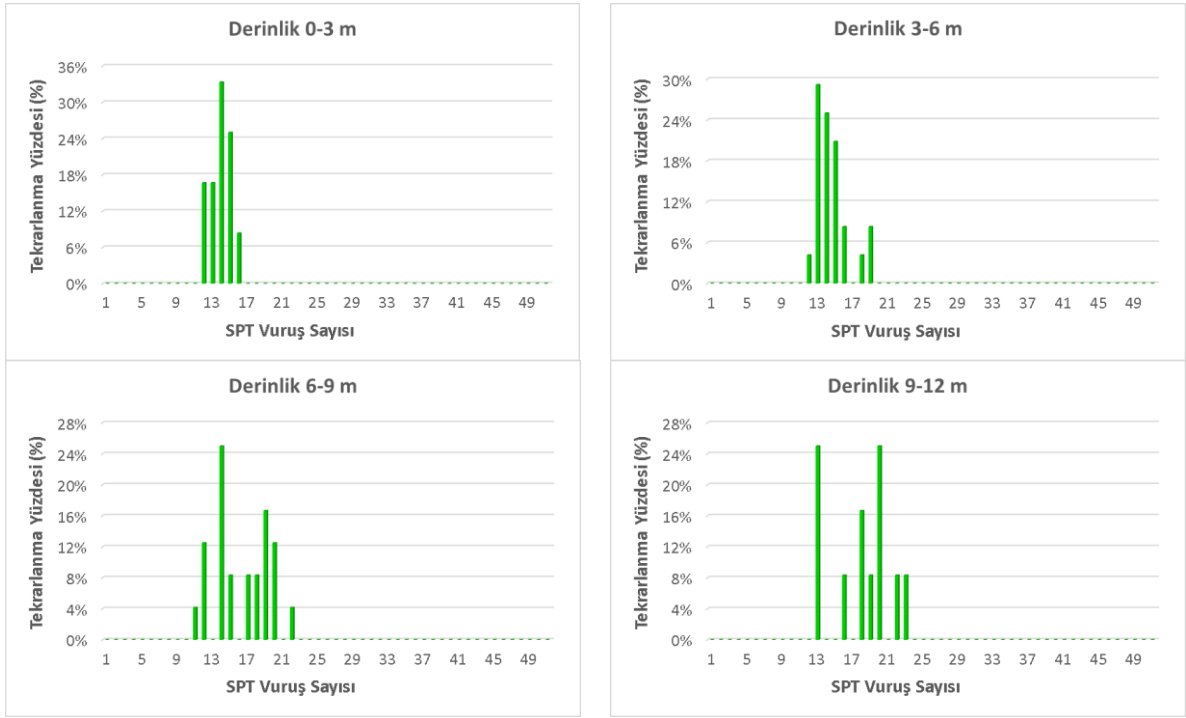
Bartın şehir merkezinde pilot çalışma alanı olarak seçilen toplam 16 mahallede yapılan zemin etüd raporları incelenerek, bölgede açılan sondaj kuyularının farklı derinliklerindeki (0-3m, 3-6m, 6-9m, 9-12m) düzeltilmiş SPT-N değerlerinin tekrarlanma miktarları Şekil 8’de verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, genel olarak Bartın kent merkezinin zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m’lik derinliğinde ağırlıklı düzeltilmiş SPT-N sayıları 10-16 arasında değişmektedir. 6m’den sonraki 3m’lik kısımda bu değerler 12-22 arasında değişirken, çalışma kapsamında dikkate alınan diğer bir sondaj derinliği olan 9-12m’lik katmanda düzeltilmiş SPT-N değerleri 16-23 aralığında tekrarlanmaktadır. Düzeltilmiş SPT-N sayılarının genel anlamda Bartın şehir merkezinde zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m’lik kısımda 11-16 aralığında değiştiği, bu katmandan sonraki daha derin jeolojik zemin koşullarında arttığı söylenebilir (Şekil 8).



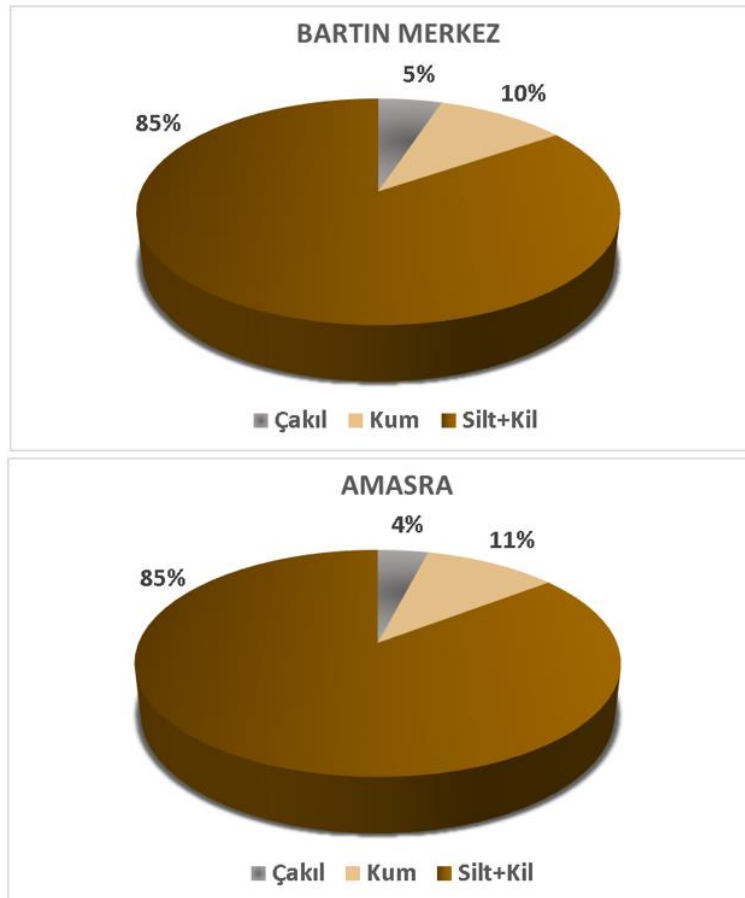
Şekil 8. Bartın ili şehir merkezindeki yerleşim bölgelerine ait düzeltilmiş SPT-N değerinin farklı derinliklere bağlı tekrarlanma miktarı

Çalışma kapsamındaki ikinci inceleme sahası olan Amasra ilçesinde bulunan yerleşim alanlarındaki mahallelerde elde edilen sondaj loglarına göre, bölgenin yüzeysel zemin katmanlarını ifade eden ilk 6m’lik derinlikte düzeltilmiş SPT-N değerleri genel olarak 11-15 aralığında tekrarlanmıştır. İlçedeki daha derin jeolojik zemin ortamlarında elde edilen bu sonucun 6-9 m için 11-19 bandında, 9-12m içinse 12-22 aralığında olduğu söylenebilir. İkinci çalışma sahasındaki analiz sonuçları, zemin yüzeyinden itibaren özellikle 6m’lik derinlikten sonraki katmanlarda tekrarlanma yüzdesi olarak düzeltilmiş SPT-N sayısının daha geniş bir dağılımla artış gösterdiğini göstermektedir (Şekil 9).

Çalışmanın son kısmında 1. ve 2. inceleme sahalarındaki genel zemin formasyonunu ifade eden malzeme dağılım yüzdeleri elde edilerek Şekil 10’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki bölgedeki ağırlıklı zemin ortamının % 85 oranında alüvyonel çökeller olan silt ve kil topraklarından oluştuğu anlaşılmaktadır. Yine her iki bölgede sıvılaşma riski açısından problemliler olarak değerlendirilen kum zeminlerin yüzdelerinin kohezyonsuz çakıllı zeminlerden daha fazla olduğu söylenebilir (Şekil 10).



Şekil 9. Amasra ilçesindeki yerleşim bölgelerine ait düzeltilmiş SPT-N değerinin farklı derinliklere bağlı tekrarlanma miktarı



Şekil 10. Bartın ili kent merkezi ve Amasra ilçesindeki yerleşim alanlarının genel zemin formasyonunun malzeme dağılım yüzdeleri

Yapılan çalışma kapsamında incelenen Bartın şehir merkezindeki mahallere ait zemin etüd raporlarına göre, yüzeyden itibaren 15m'lik derinliğe kadar çoğunlukla az kum, silt ve kil örneklerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir. Bartın kent merkezi için Şekil 10'da verilen grafik bu durumu doğrulamaktadır. Yine birinci inceleme sahasındaki plastik kıvamdaki ince daneli zeminlerin çoğunlukla şişme ve oturma potansiyeli yüksek killi birimlerden oluştuğu incelenen etüd raporlarındaki dikkati çeken diğer bir durumdur. Bölgede yapılan zemin araştırmalarında yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu mahallerde bulunan alüvyonel çökeller için sıvılaşma riskini de vurgu yapılmıştır. İkinci çalışma sahası olan Amasra ilçesindeki yerleşim alanlarının genel zemin yapısı ise temelde iki jeolojik formasyondan oluşmaktadır. Bunlardan ilki Apsiyen yaşlı Kilimli Formasyonu (kıltaşı, kumtaşı, şeyl) diğeri ise Kuvaterner yaşlı Alüvyon (kum, silt, kil) birimler olarak özetlenebilir [16, 19, 21]. Bölgede özellikle alüvyal çökellerdeki yerleşim bölgelerinde zeminlerin geoteknik özellikleri açısından denizel kökenli kum zeminlerde oturma ve sıvılaşma problemlerinin oluşabileceği söylenebilir. Bölgede yapılan zemin araştırmaları, her iki çalışma sahasında yer altı su seviyesinin yaklaşık olarak yüzeyden itibaren 3m aşağıda olduğu özellikle kış mevsimlerinde Bartın kent merkezinde su seviyesinin 1.2m'ye düştüğünü göstermektedir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişen küresel iklim koşullarının ülkemizdeki yansımalarına bağlı olarak kıyı kesimlerde olası yağışların artabileceği gerçeği, Karadeniz bölgesinde bir sahil kenti olan Bartın ilinde taşkın ve heyelan açısından irdelenmesi gereken bir husustur. Aynı zamanda bölgedeki fay sisteminin gerilme içeriğinin, Batı Karadeniz Havzasında muhtemel sismik salınımlara sebep olabileceği yadsınamaz bir gerçektir. Bu sebeplerden dolayı bilimsel araştırmalar açısından bakir bir bölge olarak nitelendirilebilecek ve yer aldığı jeolojik koşullar açısından doğal zemin laboratuvarı sayılabilecek Bartın ili çalışma sahası olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında Bartın kent merkezi ve Amasra ilçesindeki yoğun yerleşim alanları pilot inceleme sahası olarak seçilmiştir. Afetler açısından riskli olarak değerlendirilebilecek araştırma sahalarında daha önce yapılmış birçok jeolojik etüd raporları incelenerek bölgenin genel zemin karakteristiği belirlenmeye çalışılmıştır. Geoteknik deprem mühendisliği anlamında önemli olan saha ölçümlerini yansıtan bu araştırma için, her iki çalışma bölgesindeki 21 mahallede açılan toplam 188 sondaj kuyusuna ait mekanik ve dinamik zemin parametreleri kullanılmıştır. Buna ilaveten bölgede en son gerçekleşen su baskını sonrası Bartın şehir merkezindeki taşkın ve heyelan olaylarının boyutu belirlenmeye çalışılmıştır.

Birinci ve ikinci çalışma alanları olan Bartın kent merkezi ile Amasra ilçesindeki yerleşim bölgelerinde, sondaj loglarından elde edilen düzeltilmiş SPT-N sayılarının tekrarlanma yüzdeleri genel olarak derinliğe bağlı artmaktadır. Burada değinilmesi gereken önemli bir husus her iki bölgede zemin yüzeyinden itibaren ilk 6m'deki düzeltilmiş SPT-N değerleriyle 12m'ye kadar daha derin jeolojik katmanlardaki yakın değerlerde tekrarlanma oranının varlığı ve ani yükseliş göstermeyişi inceleme sahasındaki zemin yapısının kıvam ve/veya rölatif sıklık anlamında yumuşak ve/veya gevşek şeklinde yorumlanabilir. Yine elde edilen analiz sonuçlarından her iki çalışma sahasındaki yoğun yerleşimin olduğu mahallelerde özellikle kum, silt ve kil numunelerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin varlığı dikkat çekmektedir. Bölgede yapılan zemin araştırmalarına göre, her iki bölgede yüksek oturma potansiyeline sahip ince daneli zeminlerin varlığına vurgu yapılmış ve özellikle Bartın şehir merkezindeki killerin yapısal özelliklerine bağlı olarak ani oturma davranışı sergileyebileceği söylenebilir.

Bölgenin tektonik anlamda aktif bir deprem bölgesi olduğu ve her iki inceleme sahasında yer altı su seviyesinin yüzeye yakın seyretmesi düşünüldüğünde, inceleme alanlarındaki olası bir fay yırtılması sonucu oluşabilecek sismik salınımlar sonucu alüvyon düzlüklerin sıvılaşma riski muhtemeldir. Burada özellikle yerleşim alanı Karadeniz kıyısında olan Amasra ilçesinin zemin yapısında etkili olan denizel kökenli kumlar olası sıvılaşma riskini daha da artırmaktadır. Kuzey Anadolu Fay kuşağının etkisi altındaki bölgede daha önce Amasra açıklarında meydana gelen ve can kayıplarının yaşandığı 1968

Bartın depreminin yapısal anlamda birçok binayı etkilediği ve Amasra körfezinde küçük boyutlu tsunami hareketleri oluşturduğu unutulmamalıdır. Bölgenin depremselliği açısından önemli olan diğer bir husus özellikle vadi tabanlı olarak değerlendirilebileceğimiz Bartın şehir merkezindeki alüvyal çökellerin varlığına bağlı olası Basen etkisidir. Ana kaya ile serbest zemin titreşimleri arasındaki büyüme oranları sonucu oluşabilecek alüvyon zemin büyütmesinden dolayı bölgedeki mevcut birçok yapı risk altındadır. Buradan hareketle özellikle bölgede yapılacak mühendislik yapılarının tasarım aşamasında veya mevcut binaların sismik değerlendirmesinde rezonans etkisi açısından yapı-zemin sisteminin periyodu, seçilecek temel derinliği, temel tipi, yapı narinliği, zemin büyütmesi, sıvılaşma, zemin ortamının şişme ve oturma potansiyeli vb. parametrelerin önemli olduğu gerçeği vurgulanması gereken önemli bir husustur.

Araştırma sahasında meydana gelen Haziran 2022 sel afeti sonrası "Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi" olarak ilan edilen Bartın ilinde su baskınlarına bağlı şehir merkezinde oluşan bazı taşkın ve heyelan vakaları yapılan bu çalışmada güncel resimlerle anlatılmıştır. Yaşanan taşkın sonrası arazi koşullarında edinilen izlenimlere göre, özellikle nehir yatakları ve su kanalları çevresindeki mühendislik yapılarıyla bina, işyeri, tarım alanları ve altyapı sistemlerinin önemli oranda etkilendiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bölgede yaşanan taşkın özellikle yerleşim alanı olarak kullanılan bazı mahallelerde heyelan olayına da yol açmıştır. Yaşanan sosyal ve ekonomik olumsuzluklar sonrası, bölgede yapılması gereken dere ıslah çalışmalarının önemi ve nehir yataklarının ve/veya su kanallarının yakın çevresinin yapılaşmaya hiçbir surette açılmaması gerekliliği birkez daha anlaşılmıştır. Afet bölgesi olarak nitelendirilebilecek Batı Karadeniz Havzasında meteorolojik, hidrolojik ve hidrolik verilerin adaptasyonu ile yapılması planlanan taşkın erken uyarı sisteminin bölgede oluşabilecek selleri veya su baskınlarını doğru tahmin etmesi halinde olası hasarlar minimize edilebilir. Ayrıca, oluşturulacak deneysel modelden yağış eşiklerinin temin edilmesi durumunda verilerin Heyelan Erken Uyarı Sistemine aktarılması, çalışma sahasındaki heyelan vakalarına bağlı olası hasarların azaltılmasında etkili bir yöntem olacağı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, tektonik anlamda aktif bir deprem bölgesi olan ve son yıllarda artan şiddetli yağışlarla potansiyel anlamda afet bölgesi olarak değerlendirilebilecek Bartın ilinin bazı yerleşim alanlarındaki lokasyonlarda yapılan bu çalışmanın, hem bölgenin afet durumunu belirlemeye çalışan araştırmacılara hem inceleme sahasında sismik üstyapı tasarımı yapan mühendislere hem de bölgedeki yerleşim noktalarının tespit edilmesinde görev alan şehir planlayıcılarına yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan zemin etüt raporlarının ve sondaj verilerinin teminini sağlayan Jeoloji Mühendisleri Necmettin Berberoğlu ve Sezen Mankadak Özçelik'e teşekkür ederim. Ayrıca, öğrencilikleri sırasında inceleme sahasındaki zemin etüt raporlarına ait verilerin toparlanmasına yardımları olan ve şu an mezun durumdaki eski öğrencilerimiz İnşaat Mühendisleri Ali Mantar, Aylin Kiret, Ayşenur Yüksel, Feride Ercan, Halil Tolga Yıldırım, Kerem Uzun, Merve Bozkurt, Muhammet Aydın ve Müge Şahin'e teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Gündüz ve H. Arman, "Zemin Davranışına Uygun Yapı Tasarımı İlkeleri ve Uygulanabilirliği," *Deprem Sempozyumu*, İzmit, Türkiye, 2005, ss. 1237-1243.
- [2] I. Yüksel, H. Arman, F. Göktepe and G. Çeribaşı, "Flood management to prevent flooding damages in western Black Sea region in Turkey," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 6, no. 29, pp. 6759-6766, 2011.
- [3] Ü. Şorman, P. Gülkan, H. Önder, M. Yanmaz, V. Doğanoglu, C. Erkay, E. Karaesmen ve D. Yıldız, "Batı ve Doğu Karadeniz Bölgeleri Sel afetleri Araştırma Raporu," Türkiye Mühendisler Birliği, Türkiye, Rap. 1141, 1998.

- [4] H. Turoğlu, "Bartın'da meydana gelen sel ve taşkınlarla ait zarar azaltma ve önleme önerileri," *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V)*, İstanbul, Türkiye, 2005, ss.104-110.
- [5] H. Turoğlu ve H. Özdemir, *Bartın'da sel ve taşkınlar: Sebepler, Etkiler, Önleme ve Zarar Azaltma Önerileri*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Çantay Yayınları, 2005.
- [6] M. Tunay ve A. Ateşoğlu, "Bartın ili taşkın sahalarındaki değişimin uzaktan algılama verileriyle incelenmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. A, s. 2, ss. 60-72, 2004.
- [7] H. Arman, I. Yüksel, L. Saltabaş, F. Göktepe and M. Sandalcı, "Overview of flooding damages and its destructions: a case study of Zonguldak-Bartın basin in Turkey," *Natural Science*, vol. 2, no. 4, pp. 409-417, 2010.
- [8] H. Turoğlu, "İklim değişikliği ve Bartın Çayı havza yönetimi muhtemel sorunları," *Coğrafi Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 1-22, 2014.
- [9] E. Gökyer ve M. Öztürk, "Bartın İli Kentsel Alanı ve Yakın Çevresi Arazi Kullanımlarının Heyelan Risk Deđerlendirmesi," *Ulusal Heyelan Sempozyumu Tebliđler*, Ankara, Türkiye, 2016, ss. 241-254.
- [10] B. Görbil, "Stability assessment of the landslide in Bartın Kirazlı bridge dam diversion km: 18+325-18+ 421 segment," M.S. thesis, Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2019.
- [11] Ö. Alptekin, J.L. Nabelek and M.N. Toksöz, "Source mechanism of the Bartın earthquake of September 3, 1968 in north-western Turkey: Evidence for active thrust faulting at the southern Black Sea margin," *Tectonophysics*, vol. 122, no. 1-2, pp. 73-88, 1986.
- [12] İ. Kuşçu, J.Parke, R. White, D. Mc Kenzie, G. Anderson, T. Minshull, N. Görür ve A. Şengör, "Amasra açıklarında (Güneybatı Karadeniz) aktif kütle kayması ve bunun bölgesel tektonik hareketlerle ilişkisi," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 128, ss. 27-47, 2004.
- [13] H. Wedding, "3 Eylül 1968 De Vukua Gelen Bartın-Amasra Yersarsıntısı," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 71, ss. 135-141, 1968.
- [14] İ. Ketin ve Ş. Abdüsselamođlu, "Bartın depreminin etkileri," *Türkiye Jeoloji Bülteni*, c. 12, s. 1-2, ss. 66-76, 1969.
- [15] J.F. Lander, "Seismological Notes-September and October 1968," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 59, no. 2, pp. 1023-1030, 1969.
- [16] S. Mankadak Özçelik, "Bartın İli-Merkez İlçe Tuna Mahallesi Zemin Etüt Raporu," Ayaz Mühendislik, Türkiye, 2017.
- [17] O. Tüysüz, A. Aksay ve E. Yiğitbaş, *Batı Karadeniz Litostratigrafi Birimleri, Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-1*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2004.
- [18] M. Tokay, "Filyos Çayı Ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma Bölgesinin jeolojisi," *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, c. 46, ss. 58-74, 1955.
- [19] N. Berberoğlu, "Bartın İli-Merkez İlçesi Gölbucağı Mahallesi-Bucak Mevkii Zemin Etüt Raporu," Necmettin Berberoğlu Mühendislik, Türkiye, 2017.

- [20] S. Saner, I. Taner, Z. Aksoy, M. Siyako ve K. Bürkan, “Karabük-Safranbolu Bölgesinin Jeolojisi,” Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Türkiye, Rap. 1322, 1979.
- [21] N. Berberoğlu, “Bartın İli-Amasra İlçesi Kum Mahallesi Zemin Etüt Raporu,” Necmettin Berberoğlu Mühendislik, Türkiye, 2017.
- [22] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2022, 12 Ağustos). *Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- [23] D. Kalafat ve N.M. Toksöz, “Karadeniz’in yakın dönem depremselliğine ve sismotektoniğine genel bir bakış,” *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Toplantısı (ATAG 19)*, Sakarya, Türkiye, 2015, ss. 71.
- [24] D. Kalafat, “An Overview of the Seismicity and Tectonics of the Black Sea,” in *Moment Tensor Solutions: A Useful Tool for Seismotectonics*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer, 2018, pp. 573-588.
- [25] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022, 22 Temmuz). *Bartın İlinin Afet Tehlike ve Riskleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://bartin.afad.gov.tr/ilimizin-afet-tehlike-ve-riskleri>
- [26] Akar-Su Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., “Batı Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı Yönetici Özeti,” T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Türkiye, 2019.
- [27] K. Terzaghi and R.B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 1967.
- [28] A.W. Skempton, “Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation,” *Géotechnique*, vol. 36, no. 3, pp. 425-447, 1986.
- [29] M.A. Stroud, “The standard penetration test in insensitive clays and soft rock,” in *Proceedings of European Symposium on Penetration Resistance*, Stockholm, Sweden, 1974, pp. 367-375.
- [30] H.B. Seed and I.M. Idriss, “Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, vol. 97, no. 9, pp. 1249-1273, 1971.
- [31] R.B. Peck, W.E. Hanson and T.H. Thornburn, *Foundation Engineering*, 2nd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 1974.
- [32] G.G. Meyerhof, “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations,” *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, vol. 102, no. 3, pp. 197-228, 1976.
- [33] N. Yoshida ed., *Remedial Measures Against Soil Liquefaction: from Investigation and Design to Implementation*, 1st ed., Rotterdam, Netherlands: CRC Press / Balkema, 1998.
- [34] H. Yıldız, “İstanbul’da Sondaj Kuyularında PS Logging Yöntemi ile Ölçülen Kayma Dalgası Hızının SPT-N İle Değişimi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [35] N. Yoshida, *Seismic Ground Response Analysis*, 1st ed., New York, USA: Springer, 2015.
- [36] B.M. Das and Z. Luo, *Principles of Soil Dynamics*, 3rd ed., New York, Boston, USA: Cengage Learning India Private Limited, 2016.