



**BARAJ İNŞAATI SÜRESİNCE MANSAP ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ: BÜYÜKKUMLA BARAJI ÖRNEĞİ**



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BARAJ İNŞAATI SÜRESİNCE MANSAP ETKİLERİNİN İNCELENMESİ:
BÜYÜKKUMLA BARAJI ÖRNEĞİ**

Murat CAN
0000-0002-1693-5877

Prof. Dr. Adem AKPINAR
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

BARAJ İNŞAATI SÜRESİNCE MANSAP ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: BÜYÜKKUMLA BARAJI ÖRNEĞİ

Murat CAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem AKPINAR

Bu çalışmada, bir baraj inşaatı sürecinin akarsu yatağı mansap kısmında oluşturduğu morfolojik etkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Marmara Bölgesi'nde bulunan Büyükkumla Barajı inşaatı süresince (2014 - 2020) altışar aylık dönemler halinde baraj mansabında morfolojik ölçümler alınmıştır. Morfolojik ölçümler ile dere yatağındaki kesit değişimleri ve sediment hareketleri değerlendirilmiştir. Bunun yanında, coğrafi bilgi sistemleri ile morfolojik değişime ait alansal haritalar oluşturulmuştur. Ayrıca, bölgedeki yağış ve debi gibi hidro-meteorolojik değişkenlerin ve baraj inşaatı sırasındaki kazı ve dolgu faaliyetlerinin morfolojik değişim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan elek analizleri (Mayıs 2017, 2019 ve 2021) ile değişken yapıdaki yatak malzemesinin formu değerlendirilmiştir. 2020 yılı süresince aylık olarak gerçekleştirilen askıdaki sediment miktarı ölçümü ile debi-sediment ilişkisi ortaya konmuş ve derenin doğal katı madde taşıma durumu ve baraj sürecinin bu duruma etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, baraj inşaatı süresince kazı ve dolgu faaliyetleri nedeniyle barajın mansap kısmında yer alan dere yatağı formunun belirgin bir şekilde değiştiği belirlenmiştir. Ancak, kazı faaliyetleri tamamlandıktan yaklaşık 2 yıl sonra akarsu yatağının dengeye ulaştığı görülmüştür. Baraj inşaatındaki kazı faaliyetlerinin yoğun olduğu dönemlerde mansap bölgesinde dere yatağında nispeten iri taneli malzemenin yığıldığı daha sonraki dönemde ise yatağın daha ince ve üniform dağılmış bir malzeme içerecek şekilde bir denge durumuna ulaştığı gözlenmiştir. Morfolojik değişimin daha çok inşaat alanında yapılan kazı faaliyetleri sonucu oluştuğu ve hidrometeorolojik veriler ile morfolojik değişim arasında net bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Büyükkumla, baraj inşaatı, dere morfolojisi, topoğrafik değişim, sediment taşınımı, granülometrik değişim
2022, x + 128 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DOWNSTREAM IMPACTS DURING THE DAM CONSTRUCTION: A CASE OF
BUYUKKUMLA DAM

Murat CAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Adem AKPINAR

This study aims to determine the morphological effect of a dam construction process on the downstream part of the riverbed. For this purpose, morphological measurements were taken at the downstream of the dam in six-month periods during the construction of Büyükkumla Dam in the Marmara Region (2014-2020). Cross-section changes and sediment movements in the downstream riverbed were evaluated with morphological measurements. In addition, spatial maps of morphological change were created with geographic information systems. Hydrometeorological changes and result of excavation and filling activities effect on morphological changes were also examined. The changing bed structure was evaluated with grain-size analysis (May 2017, 2019, 2021). The flow-sediment relationship was revealed by the monthly measuring the amount of suspended sediment during 2020, and the natural sediment transport of the stream with the effect of the dam process on this situation were examined. As a result, the stream bed form in the downstream has changed significantly due to excavation and filling activities during the dam construction period has been observed. The riverbed reached the state of equilibrium approximately 2 years after the excavation activities of the dam construction were completed. Coarse-grained material was accumulated in the downstream region were intense during the dam excavation activities. The riverbed reached a state of equilibrium including a finer and uniformly dispersed material in the later period. The morphological form was mostly changed as a result of excavation and filling activities on the construction site, and there was no clear relationship between hydrometeorological data and morphological changing.

Key words: Büyükkumla, dam construction, river morphology, topographic change, sediment transport, granulometric change

2022, x + 128 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca tecrübelerini ve bilgilerini benimle paylaşan, hoşgörüsü ile desteğini her zaman gösteren, tez danışmanım ve çok değerli hocam Prof. Dr. Adem AKPINAR'a, ayrıca doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN (BUÜ), Prof. Dr. Şerife Tülin AKKAYA ASLAN (BUÜ), Prof. Dr. Emrah DOĞAN (SÜ), Prof. Dr. Egemen ARAS (BTÜ), Doç. Dr. Murat KANKAL'a (BUÜ) ve doktora tez çalışmalarım sırasında, gerek sahada gerek masa başında bana destek olan İnş. Müh. Emre ÇALIŞIR (BUÜ) ve Harita Müh. Merter ÖĞÜT'e (ICC) teşekkür ederim.

Yıllardır ülkemize hizmet vermekte olan ve bir mühendis olarak çalışmaktan gurur duyduğum Devlet Su İşleri (DSİ) teşkilatına ve çalışanlarına da ayrıca teşekkür ederim.

Doktora eğitimi gibi ciddi ve meşakkatli bir sürece başlamam ve sürdürmem konusunda bana destek olup cesaret veren, varlığı ile hayatıma anlam katan biricik eşime ve değerli kızlarıma, güzel dualarını ve sevgisini bizden esirgemeyen çok değerli anneme ve ayrıca bu süreçte bana destek olan tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

Murat CAN
18/02/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Çalışma Alanına ait Bilgiler.....	18
3.1.2. Çalışma Alanındaki İnşaat Çalışmaları	20
3.1.3. Topoğrafik Ölçümler.....	26
3.1.4. Akım Gözlem İstasyonu Debi Değerleri.....	30
3.1.5. Meteorolojik Veriler	30
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. Topoğrafik Ölçümlerin İşlenmesi	30
3.2.1.1. Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Hesapları	33
3.2.1.2. Alansal Haritaların Oluşturulması.....	34
3.2.2. Elek Analizi.....	34
3.2.3. Sediment Ölçümü.....	40
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
4.1. Büyükkumla Deresi'nde Yapılan Topoğrafik Ölçümlerden Elde Edilen Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Değişimleri	46
4.1.1. Altı Aylık Değişimler.....	46
4.1.2. Yıllık Değişimler.....	54
4.2. Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Güzergah Boyunca Değişimleri	63
4.2.1. Altı Aylık Değişimler.....	63
4.2.2. Yıllık Değişimler.....	74
4.3. En Kesit Değişimleri	94
4.4. Boy Profili Değişiminin İncelenmesi.....	97
4.5. Elek Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	99
4.6. Sediment Anahtar Eğrisi	105
5. SONUÇLAR	111
KAYNAKLAR	115
EKLER.....	120
EK-1 Resmi Kurum Yazıları.....	121
EK-2 Çalışma Bölgesi Fotoğraf Arşivi	124
ÖZGEÇMİŞ	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C	Sediment Konsantrasyonu
C _U	Üniformluk Katsayısı
C _R	Süreklilik Katsayısı
D ₁₀	%10 geçen malzeme için dane çapı
D ₃₀	%30 geçen malzeme için dane çapı
D ₅₀	%50 geçen malzeme için dane çapı
D ₆₀	%60 geçen malzeme için dane çapı
P	% cinsinden geçen miktar
ppm	Milyonda birim madde miktarı, konsantrasyon
Q	Numune alımı sırasında ölçülen akım
Q _s	Akarsudan geçen günlük sediment miktarı
W ₅₀	Ortalama sediment hacim ağırlığı

Kısaltmalar	Açıklama
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri
ED-50	Avrupa Referans Sistemi 1950
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EN	Avrupa Standartları
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
GPR	Yere Nüfuz Eden Radar
HES	Hidroelektrik Santral
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
ITRF	Uluslararası Karasal Referans Çerçevesi
LIDAR	Işık Saptama ve Uzaklık Tayini
RTK	Gerçek Zamanlı Kinematik
TGB	Üç Boğaz Barajı
TS	Türk Standartları
UTM	Evrensel Enine Merkator

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1.	Çalışma bölgesi, meteoroloji ve akım gözlem istasyonu konumları, Büyükkumla Deresi, Büyükkumla Barajı inşaat alanı..... 18
Şekil 3.2.	Büyükkumla Deresi Havzası'na ait genel bilgiler..... 19
Şekil 3.3.	Ulaşım yolları genel görünümü..... 20
Şekil 3.4.	Dipsavak derivasyon tüneli..... 21
Şekil 3.5.	Su alma yapısı temel kazıları..... 21
Şekil 3.6.	Baraj gövde sıyırma ve şev kazıları öncesi doğal zemin görüntüsü..... 22
Şekil 3.7.	Geçirimsizlik perdesi yapımı..... 22
Şekil 3.8.	Baraj gövdesi temel kazıları..... 23
Şekil 3.9.	Kaya ocağındaki kazı çalışmaları (a), gövde dolgusuna başlangıç (b)..... 23
Şekil 3.10.	Baraj gövde tip en kesiti..... 24
Şekil 3.11.	Baraj gövdesi topuk plağı betonu ve gövde dolgusunun yapımı..... 25
Şekil 3.12.	Baraj gövdesi ve diğer ünitelerinin tamamlanmış son durumu..... 26
Şekil 3.13.	Sabit uydu alıcısı anten ile gezici mobil antenli GPS..... 27
Şekil 3.14.	Elektronik takometre ve reflektör cihazları ile koordinat alımı..... 28
Şekil 3.15.	P3 poligon noktasında sabit anten kurulumu..... 28
Şekil 3.16.	P2001 poligon noktasında sabit anten kurulumu..... 29
Şekil 3.17.	Büyükkumla Deresi, Büyükkumla barajı inşaat alanı, Büyükkumla barajı mansabındaki dere kesiminin bölündüğü üç bölge sınırları (yeşil çizgiler), enkesit değerlendirmelerinde dikkate alınan kesit konumları (kırmızı çizgiler)..... 32
Şekil 3.18.	Dere güzergahında herhangi bir en kesitte iki farklı döneme ait en kesitlerin karşılaştırılması..... 33
Şekil 3.19.	Numune alım noktalarına ait uydu görüntüsü..... 35
Şekil 3.20.	Numune alım işlemi ve alınan numuneler..... 37
Şekil 3.21.	TS EN ISO 17892-4 standardı elek takımı..... 38
Şekil 3.22.	Akım gözlem istasyonu konum haritası..... 41
Şekil 3.23.	Hız-Konsantrasyon-Sediment Debisi ilişkisi (DSİ 2019)..... 42
Şekil 3.24.	D02A088 no.lu AGİ ve numune alım en kesiti yeri..... 42
Şekil 3.25.	Su derinliği ölçümü ve akım ölçer (muline) yardımıyla kesit hızlarının belirlenmesi..... 43
Şekil 3.26.	Sediment numune alımı ve kullanılan deney ekipmanları.... 43
Şekil 3.27.	Sediment numunesi alımı sırasında kullanılan tüpler..... 43
Şekil 3.28.	Çalışma bölgesinde sahada yapılan işlere ait kronolojik cetvel..... 45
Şekil 4.1.	Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 47

	Sayfa
Şekil 4.2.	Baraj İnşaatına ait Mart 2014– Nisan 2018 tarihleri arasında farklı altışar aylık dönemlerdeki kazı ve dolgu faaliyetleri.... 48
Şekil 4.3.	Gemlik (17663) Meteoroloji İstasyonunda çalışma periyotlarında ölçülmüş aylık maksimum ve toplam yağış yükseklikleri (mm)..... 51
Şekil 4.4.	Çalışma sahasında D02A088 Nolu AGİ için belirlenen farklı dönemlerdeki ortalama ve maksimum debiler (m ³ /s)..... 51
Şekil 4.5.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca 2. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 52
Şekil 4.6.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca 3. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 53
Şekil 4.7.	Büyükkuşla Deresi üzerinde çalışma bölgesi boy kesiti boyunca 6'şar aylık dönemlerde her 3 kısım için tespit edilen net değişim miktarlarının kıyaslaması (m ³)..... 54
Şekil 4.8.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 55
Şekil 4.9.	Baraj inşaatına ait Mart 2014 – Nisan 2018 tarihleri arasında farklı yıllık dönemlerdeki kazı ve dolgu hacimleri (m ³)..... 57
Şekil 4.10.	Gemlik (17663) Meteoroloji İstasyonunda çalışma periyotlarında ölçülmüş maksimum ve toplam yağış yükseklikleri (mm)..... 58
Şekil 4.11.	Çalışma sahasında D02A088 Nolu AGİ için belirlenen farklı yıllık dönemlerdeki ortalama ve maksimum debiler (m ³ /s)... 58
Şekil 4.12.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca 2. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 60
Şekil 4.13.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca 3. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m ³)..... 62
Şekil 4.14.	Büyükkuşla Deresi boy kesiti boyunca yıllık periyotlarda her 3 kısım için tespit edilen net değişim miktarlarının kıyaslaması..... 63
Şekil 4.15.	Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1. kısım)..... 65
Şekil 4.16.	Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (2. kısım)..... 66
Şekil 4.17.	Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (3. kısım)..... 67
Şekil 4.18.	Dere yatağında Haziran 2016 – Ekim 2016 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 70
Şekil 4.19.	Dere yatağında Ekim 2016 – Mart 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 71

	Sayfa
Şekil 4.20.	Dere yatağında Mart 2017 – Kasım 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 72
Şekil 4.21.	Dere yatağında Kasım 2017 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 73
Şekil 4.22.	Çalışma bölgesi boyunca farklı altı aylık dönemlerde belirlenen okumalar arasındaki farkların histogramları..... 74
Şekil 4.23.	Dere yatağında Mart 2014 ile Haziran 2016 dönemi arasında kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1.kısım)..... 75
Şekil 4.24.	Dere yatağında Mart 2014 – Haziran 2016 dönemi arasında gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları (1. kısım)..... 75
Şekil 4.25.	Dere yatağında Mart 2014 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 76
Şekil 4.26.	Dere yatağında Mart 2014 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 77
Şekil 4.27.	Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1.kısım)..... 79
Şekil 4.28.	Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (2. kısım)..... 82
Şekil 4.29.	Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (3. kısım)..... 85
Şekil 4.30.	Dere yatağında Haziran 2016 – Mart 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 87
Şekil 4.31.	Dere yatağında Mart 2017 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 88
Şekil 4.32.	Dere yatağında Nisan 2018 – Ekim 2019 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 89
Şekil 4.33.	Dere yatağında Ekim 2019 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 90
Şekil 4.34.	Dere yatağında Haziran 2016 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 91

	Sayfa
Şekil 4.35.	Dere yatağında Ekim 2016 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları..... 92
Şekil 4.36.	Çalışma bölgesi boyunca farklı yıllık dönemlerde belirlenen okumalar arasındaki farkların histogramları..... 93
Şekil 4.37.	Dere yatağı 1. kısımda Mart 2014 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri..... 94
Şekil 4.38.	Dere yatağı 2. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri..... 95
Şekil 4.39.	Dere yatağı 3. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri..... 96
Şekil 4.40.	Dere yatağı 1. kısımda Mart 2014 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri..... 97
Şekil 4.41.	Dere yatağı 2. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri..... 98
Şekil 4.42.	Dere yatağı 3. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri..... 99
Şekil 4.43.	1 – 3 no.lu alım noktaları için üç farklı dönemdeki dane çapı dağılım eğrileri (üstten aşağıya 1’den 3’e doğru istasyonlar ve sol sütun Mayıs 2017, orta sütun Mayıs 2019 ve sağ sütun Mayıs 2021 tarihindeki alımları temsil etmektedir)..... 100
Şekil 4.44.	4 – 7 no.lu alım noktaları için üç farklı dönemdeki dane çapı dağılım eğrileri (üstten aşağıya 4’ten 7’ye doğru istasyonlar ve sol sütun Mayıs 2017, orta sütun Mayıs 2019 ve sağ sütun Mayıs 2021 tarihindeki alımları temsil etmektedir)..... 101
Şekil 4.45.	1–7 no.lu alım noktalarında iki farklı dönemdeki dane çapı dağılımlarının karşılaştırılması..... 103
Şekil 4.46.	Numune alım noktalarında (1 – 7) karakteristik dane çaplarının (D_{10} , D_{30} , D_{50} ve D_{60}) üç farklı zamandaki (2017, 2019 ve 2021) değişimleri..... 104
Şekil 4.47.	Numune alım noktalarında (1 – 7) üniformluk (C_U) ve süreklilik (C_r) katsayılarının üç farklı zamandaki (Mayıs 2017, 2019 ve 2021) değişimleri..... 104
Şekil 4.48.	Büyükkuşla Deresi’ne ait debi sediment anahtar eğrisi..... 107
Şekil 4.49.	Aylık toplam sediment miktarı..... 107
Şekil 4.50.	Yıllık toplam ve kümülatif sediment miktarları..... 108
Şekil 4.51.	Mart 2014 – Haziran 2016 aylık sediment miktarı..... 109
Şekil 4.52.	Haziran 2016 – Nisan 2018 aylık sediment miktarı..... 110

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Büyükkumla Barajı karakteristikleri.....	19
Çizelge 3.2. Ekim 2016 ile Nisan 2018 tarihleri arasında baraj inşaatında yapılan imalatlar (m ³).....	25
Çizelge 3.3. Ölçümler için kullanılan sabit yer kontrol koordinat noktaları.....	29
Çizelge 3.4. Numune alınan noktaların koordinat çizelgesi.....	35
Çizelge 4.1. Baraj inşaatına ait Mart 2014 – Nisan 2018 tarihleri arasındaki kazı ve dolgu miktarları.....	49
Çizelge 4.2. Büyükkumla Deresi'nde farklı dönemlere ait sediment numune sonuçları.....	106



1. GİRİŞ

Yüzyıllardır her medeniyet kurulduğu andan itibaren yaşamını devam ettirebilmek amacıyla yerleştii bölgede bulunan yer altı ve yer üstü su kaynaklarından yararlanmak, bu kaynakları geliştirmek, korumak ve ayrıca ıslah ederek taşkın gibi zararlı etkilerinden korunmak için çeşitli çalışmalar yürütmüştür. Yer üstü su kaynaklarından biri olan akarsular, toplumun temel ihtiyacı olan suyun temin edilmesi için yararlanılan önemli su kaynaklarından biridir. Su; akarsu yatağından çok farklı kullanım amaçları için su alma yapıları vasıtası ile alınarak değerlendirilmektedir. Su yapıları için hidrolojik, hidrolik ve yapısal tasarımların yapılması zorunludur. Yapımı tasarlanan bir su yapısı için öncelikle ihtiyaç duyulan suyun miktarının, akım ile gelen sedimentin, topoğrafik durumun, bitki örtüsü, tarımsal aktivite, akım rejimi, yağışın şiddeti ve süresi gibi çoklu faktörlerin bilinmesi gereklidir. Özellikle akarsular ile taşınan katı madde nedeniyle, limanların dolması, taşkın sonrası yerleşimlerinin etkilenmesi, sulama ve drenaj kanallarının kapasitelerinin azalması gibi etkenlerden dolayı morfolojik değişimin önceden bilinmesi ve tahminlerin buna göre yapılması gerekmektedir (Yıldırım, 2007).

Bir akarsuya ait yatak yapısında her noktanın aynı olmaması ve akarsu üzerinde yapılan insan müdahaleleri ve zamanla değişen debi değerleri nedeniyle akarsu yatak şeklinde oluşan değişim için net bir değer ortaya konulamamaktadır. Akım ile taşınan sediment aynı zamanda akarsuyun profili ve kesitlerini belirleyen en önemli etmendir. Ayrıca, taşınan sediment miktarının bilinmesi; su yapılarının tasarımı ve yapımı ile bitki ve hayvan gibi canlı çevre etkileşiminin yönetilmesi açısından gerekli bir değerdir. Laboratuvar ortamlarında az da olsa yapılan model değerlendirmeleri ve birçok ampirik formül, sediment problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Bayazıt ve Avcı, 2010). Ayrıca, her türlü akarsu üzerinde bulunan yapının doğru işletilmesi için de morfolojik değişimin uzun süreli olarak bilinmesi veya tahmin edilmesi gereklidir. Akarsuyun davranışını etkileyen debisi, sediment yükü, topoğrafik olarak taban eğimi, yatak şevleri ve zemin direnci, bitki örtüsü ve insan faaliyetleri gibi faktörler bulunmaktadır. Bu nedenle, bir akarsuya ait morfolojik durumun modellenmesi son derece karmaşık olup çok değişkenli faktörlere bağlıdır. Bu sebeple, genel bir matematiksel çözüm sunulması mümkün olamamakta ve morfolojik tahminler için sürekli izleme ve yerinde ölçümler yapmak gerekmektedir (Yanmaz ve Kumcu, 2007).

Akarsu yatakları ile mambadan mansaba doğru taşınan suyun başta içme ile kullanma suyu, enerji temini ve tarımsal sulama da verimli kullanılması için öncelikle düzenli su tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, suyun sürekli ve istenilen ölçüde ve ihtiyaç duyulan zamanda değerlendirilmesi amacıyla depolama tesisleri yapılmaktadır. Ayrıca, bu depolama tesisleri ile akarsu yataklarında oluşması muhtemel taşkınlarında önüne geçilmektedir. Akarsular üzerine yapılan biriktirmeli rezervuarları olan başlıca depolama tesisleri barajlar ve göletlerdir (Yanmaz ve Usul, 2007).

Baraj rezervuarlarının akarsuyun doğal yapısı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Barajlar, özellikle debi ve sediment taşınımı gibi iki önemli değişkeni düzenlemektedir. Barajın yapımı, akarsu güzergahı boyunca yatak genişliği, derinliği, şev yapısı, zemin formasyonu gibi debiye, zamana ve topoğrafik yapıya bağlı olarak jeomorfolojik ve morfolojik değişimler oluşturmaktadır (Grant ve ark., 2003, Hradecký ve Škarpich, 2018, Marston ve ark., 2005). Baraj inşaatları sırasında ve sonrasında akarsuya yapılan müdahaleler nedeniyle akarsuyun doğal davranışı değişmektedir. Baraj yapımı sonrasında rezervuarda tutulan sediment nedeniyle baraj mansap kısmına bırakılan düzenli ve temiz su; akarsu yatak tabanında oyulmaya, tabanda oluşan oyulma nedeniyle tane çapında büyümeye, eğimde azalmaya ve yatak şevlerinde genişlemeye sebep olmaktadır (Ashouri ve ark., 2015, Burroughs ve Hayes, 2007, Castillo ve ark., 2007). Bu morfolojik etkiler; yapılan barajın hizmet amacına bağlı olarak yapılan işletme metodu, su deşarj rejimi, akarsu yatağı topoğrafyası, yatak şev ve taşkın yatağı yapısı ile akarsu yatağının ilk morfolojik durumuna göre değişmektedir (Graf, 2006, Petts ve Gurnell, 2005, Williams ve Wolman, 1984, Yang ve ark., 2011). Grill ve ark. (2015)'te insan etkisi nedeniyle akarsular üzerinde yapılan müdahaleler neticesinde %48 seviyesinde oyulma olduğu, yapılan inşaatlar ve düzenlemeler nedeniyle bu oranın %93 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, bir ülkede akarsuların değerlendirilmesi ve yönetilmesinde, akarsu morfolojisinin bilinmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, akarsu morfolojisinin zamansal ve mekânsal olarak değişiminin takip edilmesi ve hangi müdahaleler neticesinde nasıl bir değişim gösterdiğinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

Barajların mansap etkileri hala birçok bilim adamı tarafından araştırma konusu olarak çalışılmaktadır (Khan ve ark., 2014). Bir barajın yapım süreci sırasında, yani fiili olarak kazı ve dolgu işlemleri esnasında, akarsu yatağı mansap bölgesi morfolojisinde oluşan değişimin zamansal ve mekânsal açıdan nasıl bir etki oluşturduğuna dair henüz literatürde belirgin bir bilgi bulunmamaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda akarsular üzerinde bulunan barajların yapımı öncesi ve yapımı sonrasında akarsu yatağı mansap bölgesinde oluşan değişimin ve bu iki süreç arasındaki farklılıkların tespit edildiği ve hala daha farklı etkilerin olup olmadığının araştırılmaya devam edildiği görülmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, literatürde çalışılmayan baraj inşaat safhasının mansap etkileri incelenmiştir. Bunun için, akarsu yatağı üzerine inşa edilen bir barajın yapım süreci sırasında, barajın mansap tarafında yer alan akarsu yatağında yaşanan morfolojik değişimin, belirli dönemlerde nasıl ve ne seviyede gerçekleştiği ve değişimlerin sebepleri araştırılmıştır. Ana amaca ulaşabilmek için baraj inşaatı süresince yaklaşık 6 aylık dönemlerde barajın dolusavak deşarj kanalı çıkışından nehrin denize döküldüğü kısma kadar detaylı topoğrafik ölçümler alınmıştır. Topoğrafik ölçümlerden yararlanarak her bir kesitteki oyulma ve yığılma miktarları kübaj olarak hesaplanmıştır. Çalışma bölgesi 3 bölgeye ayrılarak bu bölgelerdeki oyulma ve yığılmaların hacimsel değerlendirmeleri 6 aylık ve yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, baraj dolusavak deşarj kanalı çıkışından denize döküldüğü noktaya kadar güzergah boyunca oyulma ile yığılma kübajlarının değişimi tespit edilmiş ve oyulma ile yığılmaların alansal dağılımları çıkartılmıştır. Topoğrafik ölçümler değerlendirildikten sonra 6 aylık ve yıllık bazda bu değişimlerin sebepleri meteorolojik veriler, akım gözlem istasyonu verileri ve baraj inşaat faaliyetlerinin sonucunda oluşan kazı ve dolgu miktarları dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte, değişimlerin detaylı analizi için seçilen bazı en kesitlerde farklı zamanlardaki durumlar üst üste karşılaştırılarak irdelenmiş ayrıca boy profil değişimleri de ortaya çıkartılmıştır. Baraj inşaat safhasının mansap bölgesi dane çapı dağılımına etkisinin anlaşılabilmesi için farklı zamanlarda ve çalışma bölgesinde farklı lokasyonlarda alınan dere yatağı malzemesi ile gerçekleştirilen elek analizi sonuçları irdelenmiş, bölgedeki dane çapı dağılımı ve baraj inşaat safhalarının dane çapı dağılımına etkisi ortaya çıkartılmıştır. Son olarak, baraj inşaatı neticesinde ortaya çıkan kazı ve dolgu etkisinin net olarak ortaya konulabilmesi için debi sediment anahtar eğrisi belirlenmiş ve buna yönelik irdelemeler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma konusuna yönelik gerçekleştirilen literatür taramasının özeti aşağıda sunulmuştur:

Nilsson (1976) yaptığı çalışmada; baraj inşaatları öncesi, yapımı sırası ve yapımı sonrasında akış ile taşınan askıdaki katı madde miktarlarına ait değişimi incelemiştir. Askıda taşınan katı madde miktarının, nehir yatağı topoğrafyası ve zemin yapısı ile bağlantısı olması dışında, yan dere erozyonları ile yapay müdahalelerin etkisi olduğunu tespit etmiş ve bu durumu Sundborg korelasyonu ile açıklanabileceğini ortaya koymuştur. Yapay müdahale öncesinde askıda taşınan katı madde miktarı için bir gözlem serisinin elde edilmesi ve baraj ile diğer su yapıları gibi sanat yapılarının yapımı esnasında taşınan madde miktarının ayrıca tespit edilmesi gerekliliğini vurgulamıştır. İsveç'te yer alan Lule alv, Vindelven, Ume Alv, Angermanalven ve Indalsolven nehirleri üzerine yapılan barajlar ve hidroelektrik santral (HES) gibi tesisler nedeniyle askıda taşınan katı madde miktarlarını nehir üzerinde kurulu istasyonlar aracılığı ile ölçmüştür. Bu nehirlerin üzerine yapılan suni müdahaleler öncesinde ve sonrasında taşınan katı madde miktarlarını da dikkate alarak bir mukayese yapmıştır. Yapılan mukayeselerde baraj yapımı öncesi ile yapımı sırasında taşınan askıda katı madde miktarında en az %25 gibi bir artış yaşandığı, baraj yapımı bittikten sonra baraj yapımı öncesine göre katı madde taşınımında %60 oranında azalma olduğunu tespit etmiştir.

Brandt (2000) nehir morfolojisi üzerine en çok bilinen Lane Dengesine benzer ancak 9 çeşit senaryo içeren bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada, Lane denge formülasyonunda dikkate alınmayan baraj yapımı öncesi ve sonrası faktörler dikkate alınmıştır. Çalışmada debi, taşınan sediment miktarı, akımın taşıma kapasitesi ve yatak kapasitesi gibi parametreler üzerinde dokuz farklı senaryo üretmiştir. Ayrıca, barajların mansap etkileri araştırılırken, barajın hangi amaçla inşa edildiğinin önemli olduğu vurgulanmış ve hidroelektrik amaçlı barajların yapımı sonrasında nehir yatağında genişleme oluştuğu, enerji amaçlı olmayan barajlarda ise nehir yatağı mansap bölgesinde daralma oluştuğu belirlenmiştir. Barajın mansap bölgesinin ön kısımlarında doğrusal olan nehir yatağının, barajdan uzaklaştıkça bölünmeler şeklinde ayrıştığı ve en uzak kısımlarda artık menderes şeklinde bir yapıya dönüştüğü belirtilmiştir. Ancak, nehir

yatağı kesiti, yatak ile şevlerin yapısal durumu, nehir yatağı dane çapı boyutları, nehir yatağı eğimi gibi parametrelerinde hesaplanarak analitik tahminler veya modeller kurulmasının daha doğru olacağı da ayrıca belirtilmiştir.

Cluett ve Radford (2003) tarafından yapılan çalışmada Avustralya'da bulunan Lower Ord Nehri üzerine yapılan ve 1963 yılında tamamlanan Kununurra Diversion Barajı inşaatı sonrasında nehir yatağı mansap bölgesinde (20 km) oluşan morfolojik değişim incelenmiştir. Bu değişim, coğrafi bilgi sisteminden (CBS) yararlanarak ve çalışma bölgesine ait hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulan alansal haritalar ile irdelenmiştir. Bu alansal haritalar için baraj inşaatı öncesinde 1948 yılına ait, baraj yapımı sonrasında 1969 ve 1999 tarihlerine ait hava fotoğrafları kullanılmıştır. Çalışma alanının yüzey yapısının; nehir yatak genişliğinin değişiminde ve bar oluşumunda önemli bir etken olduğu görülmüştür.

Doğan (2003) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Yukarı Sakarya Nehri üzerinde kurulu Sarıyar (1956), Gökçekaya (1975) ve Yenice (1998) barajlarının yapımları sonrasında baraj rezervuarlarında tutulan katı madde nedeniyle barajların mansap kısmında bulunan Aşağı Sakarya Nehir yatağında oluşan değişimi incelemiştir. Barajlar nedeniyle nehir yatağına bırakılan temiz suyun etkisi ile yatakta oluşan oyulma miktarını hesaplamak için toplam katı madde hesapları literatürde yer alan birçok ampirik formüller ile hesaplanmış ve nehirde ölçülmüş olan konsantrasyonla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, nehir yatağından alınan 1965 ve 2003 yıllarına ait en kesitler ve boy kesitler mukayese edilerek yatakta oluşan değişimin akım ile taşınan katı madde miktarı ile arasındaki ilişki irdelenmiştir. Yapılan çalışmada, baraj inşaatı sonrasında dere yatağında talveg kotu, kanal derinliği ve su yüksekliğinin azaldığı, bunun yanında yatak genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, akım derinliğinin azalmasının yatakta sürüntü maddesi hareketine neden olduğu ve bu durumun nehir yatağında oyulmalara yol açtığı belirlenmiştir.

Petts ve Gurnell (2005) yaptıkları çalışmada; akarsular üzerine 1980-2000 yılları arasında yapılan 10 adet çalışmadan hareketle; barajların yapımı nedeniyle akarsu mansap bölgesinde üç açıdan değişim yaşandığı ve bu değişimlerin akarsu yatağı dinamiği, akarsu bölgesinde oluşan bitkisel yapı ve ekolojik denge olduğunu tespit etmişlerdir. Buna göre,

öncelikle baraj mansap kısmında a) jeomorfolojik süreci; akım ve sediment taşınımı, b) akarsu yatak yapısında topoğrafik değişimi irdelemişlerdir. İncelenen araştırmalardaki ortak nokta olarak, baraj yapımı öncesi ve sonrası için yataktan alınan numuneler ile yapılan incelemeler kullanılarak dane çapında yaşanan değişimlerin ve aynı noktadan alınan en kesitler ile çalışma bölgesi plan kesitinde yer alan yığılma ile oyulma bölgelerinin belirlenmesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Bunun yanında, zamansal ve alansal açıdan bu çalışmaların zenginleştirilmesi gerektiğini, bu yaklaşımın döngüsel değişimin tespiti için gerekli olduğunu belirtmişlerdir. İncelenen çalışmalardan baraj inşaatları süresi boyunca sediment veriminin %50 oranında bir artış gösterdiğini tespit edilmişlerdir. Yıllık olarak kanal yatağında ortalama 3 cm alçalma ve kanal genişliğinde ise ortalama 50 cm büyüme yaşandığını belirlemişlerdir.

Portela (2008), Portekiz’de bulunan Douro Nehri’nin Atlas Okyanusu’na döküldüğü giriş ağzı ile Crestuma Barajı arasında kalan 21 km uzunluğundaki nehir yatağının morfolojik değişimini incelemiştir. Bu incelemede, nakliyecilik faaliyetleri olan bölgedeki nehir yatağı taban temizliği, hidrografik gözlemler ve nehre doğal yollar ile taşınan katı madde miktarları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, derinlik değişimi dikkate alınarak nehir güzergahı 3 bölüme ayrılmıştır. Nehir yatağı, giriş ağzı batimetrisinin 1972 ve 1994 yıllarına ait verileri, üç farklı yıla ait hidrografik gözlem verileri ile birlikte sediment taşınımı için iki boyutlu numerik model kullanılmıştır. Ayrıca, 1987 ile 2001 yılları arasında nehir yatağı mansap kısmı ile baraj rezervuar alanında yapılan nehir yatağı temizlik kazılarına ait hacimsel kübaj cetveli grafiksel olarak çıkarılmıştır. Baraj rezervuarı kısmında yapılan kazı miktarının oldukça fazla olmasına rağmen mansap kısmında daha az hacimli kazılara ihtiyaç olduğu görülmüştür. Su hızı profilleri ve debi değerleri ile kazı miktarları dikkate alınarak sediment taşınımı için sekiz farklı senaryo geliştirilmiştir. Ayrıca, nehir yatağı şevlerinde oluşan erozyon ile yatakta oluşan birikimler dikkate alınarak hacimsel net değişimlere ait sediment bütçesi elde edilmiştir. Yapılan değerlendirme de nehrin baraj inşaatı ve nehir yatağı seyir güzergahındaki taban kazıları nedeniyle etkilendiğini, ancak zaman içinde kendi dengesini tekrar elde ettiği vurgulanmıştır. Ayrıca, model ile elde edilen sonuçların zaman içinde tahmin edilen ve gerçekleşen değerler ile yakın olduğu belirlenmiştir. Özellikle nehir yatağı giriş ağzına taşınan katı maddenin sahil bölgesini beslediği ve bu birikimin dönemsel olarak

temizlendiği ve bu nedenle akış ile taşınan katı maddelerin denize taşındığı da vurgulanmıştır.

Hupp ve ark. (2009) çalışmasında, Amerika Kuzey Carolina'daki Roanoke Nehri üzerinde bulunan Roanoke Rapid Barajı ile Atlas Okyanusu'na bağlanan Albermarle Sound Deltası arasında kalan toplam 153 km'lik kısımda jeomorfolojik değişimleri araştırmıştır. Baraj inşaatı sonrasında baraj mansap kısmında kalan nehir yatağında 66 adet en kesit ve belirlenen 700 noktada 2005 ile 2007 yılları arasında değişimler gözlenmiştir. Baraj mansabında yer alan kısım; memba, orta ve mansap olmak üzere üç ana kısma ayrılarak irdelenmiştir. Buna göre, özellikle akarsuyun orta kısımda yığılmanın ve değişimin daha çok olduğu, buna karşın en az değişimin mansap kısmında yaşandığı tespit edilmiştir.

Wang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, Yangtze nehri üzerine 1994-2003 yılları arasında inşaatı yapılan ve 2006 yılında su tutulmaya başlanarak 2009 yılında işletmeye açılan Üç Boğaz Barajı (TGB) yapımı döneminde 2000 ve 2003 yıllarında nehir yatağı mansap kısmında alınan numuneler ile yatakta sediment ve dane çapı dağılımını incelemişlerdir. Nehir yatağı güzergahı üç kısma ayrılarak incelenmiştir. 2000 yılında 300 ve 2003 yılında 220 numune olmak üzere nehir yatağından alınan toplam 520 adet numuneye ilave olarak küresel konumlama sistemi (GPS) ile su derinliği ve nehir topoğrafyası belirlenmiştir. 2002 yılında ise sadece nehir yatağı yapısı Akustik Doppler ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmada baraj inşaatı bölgesinden nehrin deniz ile birleştii noktaya doğru dane çapında küçülme eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, talveg hattı dışında sol ve sağ sahilde küçük dane çaplarının daha çok biriktiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, nehir ağzına doğru yatakta başlayan bar şeklindeki kümelenmeler artarak sayıca ve hacimsel olarak büyümüş ve nehir ağzında delta şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimin akımın enerjisinin deniz ile birleşimin olduğu yere kadar tükenmesine bağlı olduğu değerlendirilmiştir.

Slowik (2012) tarafından yapılan çalışmada, Polonya'da bulunan Odra nehrinde yere nüfuz eden radar (GPR) cihazı ile nehir yatağı taranarak hava ve uydu fotoğrafları ile karşılaştırılmış ve nehir yatağındaki değişim irdelenmiştir. Güncel ölçümler ile eski

ölçümler arasında nehir yatağı kesitlerinde birçok noktada yığılma ve oyulma yönünde değişim olduğu görülmüştür. Ayrıca, nehir yatağının düz olan kısımlarının menderesli bir yapıya dönüştüğü gözlenmiştir. Geçen yüzyıllara ait haritalar elde edilerek, güncel haritalar ile mukayeseler yapılmıştır. Nehir yatağında oluşan değişimlerin 1906 - 1911 yılları arasında Bledzew bölgesinde yapılan baraj nedeniyle oluşan akış rejimindeki değişikliğe ve rezervuarda sediment biriktirilmesi olayına bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Nelson ve ark. (2013) Amerika'da bulunan Snake nehri üzerinde yer alan Jackson Lake Barajı'nın (1916) yapımı nedeniyle nehir mansap kısmında oluşan değişimi morfolojik açıdan irdelemişlerdir. Çalışmada, 1945 ile 2002 yılları arasında elde edilen 4 seri hava fotoğrafı CBS ortamına aktarılarak birbirleri ile mukayese edilmiştir. Ayrıca, barajın mansap kısmında yer alan akım gözlem istasyonlarından (AGİ) elde edilen akım ve sediment verilerinin yıllara göre değişimin nasıl olduğu, istatistiksel ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesinin akışa bağlı olarak uzun yıllar sürecinde yatakta ayrı talveglerin olduğu ve yatağın genişlediği ve birçok bölgede yanal erozyonlar nedeniyle yığılma neticesinde barajın olduğu tespit edilmiştir.

Nones ve ark. (2013), Afrika'da bulunan Aşağı Zambezi nehri üzerinde yer alan iki büyük hidroelektrik barajı olan Cahorra Bassa ve Kariba barajları nedeniyle mansap kısmında sediment taşınım miktarını, nehir morfolojisini, nehir yatağı ile yatak şevlerinde oluşan değişimleri ve bitki desenini incelemişlerdir. Birleştirilmiş tek boyutlu ve yarı iki boyutlu hidromorfolojik modeller uygulanmıştır. Bu modelde nehir yatağı üzerinde bulunan akım gözlem istasyonuna ait akış verileri, nehir yatağına ait dane çapı boyutları, uydu görüntüleri ve elektronik seviye modellerinden yararlanılmıştır. Baraj öncesi ve sonrasında, mansap bölgesine ait morfolojik değişimin tespiti için nehir yatağından alınan topoğrafik en kesit okumaları ile baraj mansap kısmına ait taban boy profili ve nehir yatağı granülometrik verileri birlikte incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde baraj yapımı sonrasında kesilen sediment akışı nedeniyle daha az bir deformasyon olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, uzun dönemde nehir yatağı morfolojisinde barajın baskın etkisi nedeniyle değişimin çok az olduğu görülmüştür.

Campana ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, Kuzey İtalya'da Alp Dağları bölgesinde yer alan Ahr Nehri'ni besleyen kollarda 1950 yılından itibaren yapılan iki tane hidroelektrik barajı ve 742 tane ıslah sekisi ile nehir yatağı ve şevlerde yapılan düzenlemeleri incelemişlerdir. Ahr Nehri üzerinde bulunan ve nehir yatağı ile şevlerinde düzenleme yapılan Mühlen, Gais bölgeleri ile bu bölgeler arasında kalan ve düzenleme yapılmayan bölgeler için farklı zamanlarda elde edilen 9 adet hava fotoğrafı ile 3 adet harita birbirleri ile mukayese edilmiştir. Ayrıca, 15 km'lik çalışma bölgesi için 2000 ve 2012 yıllarında 96 noktadan alınan en kesit ve boy profilleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Nehrin memba kısmında yer alan Mühlen bölgesinde 2010 ile 2012 arasında ortalama 0,4 m'lik bir değişim gerçekleşmişken, mansapta yer alan Gais bölgesinde bu değişimin 1,6 m seviyesine çıktığı görülmüştür. En kesitlerin mukayesesinde 2012 yılında yatak tabanında yükselme olmasına rağmen 2000 yılında elde edilen en kesitlere göre yatak şevlerinde erozyon yaşandığı tespit edilmiştir.

Khan ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; Afrika ülkelerinden Zimbabve ve Zambiya'nın sınırlarını belirleyen Zambezi Nehri üzerine kurulu Kariba Barajı ile nehrin mansap kısmında ve Mozambik sınırları içinde bulunan Coharra Bassa Barajı arasında kalan kısmında (Mana Pools doğal park bölgesi) morfolojik değişim incelenmiştir. HES amaçlı olarak 1959 yılında yapılan Kariba Barajı'nın ilk enerji türbininin işletmeye alınmasından 23 yıl sonra 1982 yılında yapılan ikinci enerji türbini ile mansap kısmına bırakılan akım değerleri ve baraj yapımı öncesine ait akım verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, 3 farklı noktadan alınan nehir yatağı taban malzemesine ait dane çapları dağılımı, Akustik Doppler cihazı ile boy profili, yedi farklı noktadan alınan en kesitler ve analitik modeller kullanılarak akım ile taşınan sediment miktarı hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten, tüm elde edilen veriler ile Delft 3D kullanılarak morfolojik değişim modellenmiştir. Delft 3D ile elde edilen sonuçların örgülü nehir yataklarında da uygulanması halinde doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir. 1963 ile 2012 yılları arasına ait 8 farklı zamana ait uydu fotoğrafları elde edilerek yatakta yaşanan değişim incelenmiştir. Yıllara göre kurp çaplarında azalma ve kıvrımlı yapı oluştuğu, yatak genişliğinde artış yaşandığı ve şevlerde erime oluştuğu tespit edilmiştir.

Arnaud ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada; Batı Avrupa’da Basel yakınlarındaki Kembs Barajı (1928-1932) mansabında bulunan ve Almanya Breisach bölgesindeki 1965 yılında işletmeye açılan Breisach Barajı rezervuar havzası arasında kalan kısımdaki Old Rhine Nehri üzerinde km: 174+000 - 224+000 arasında kalan bölgenin morfolojik değişimini incelemişlerdir. Yapılan incelemede, CBS kullanılarak 1956 ile 2008 yılları arasında elde edilen hava fotoğrafları mukayese edilmiştir. Ayrıca, aktif nehir yatağı ve yatak şevlerinde değişimi incelemek için topoğrafik okumaların elde edildiği 1950, 1990 ve 2009 yıllarına ait en kesitler karşılaştırılarak oyulma ve yığılma bölgeleri ile hacimleri hesaplanmıştır. Nehir yatağı granülometrisi için iri daneli yapının tabanda ve yatak şevi alt kısımlarında yer aldığı ve ince daneli yapının tüm en kesit boyunca olduğu belirlenmiştir. Son 20 yılda oluşan toplam sediment taşınımının %80’i iri daneli ve yatakta oluşan oyulma ile gerçekleştiği, %20’lik kısmın ise şevlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, dere yatağında daralma ve yatakta oyulma olduğu buna karşın bitki örtüsünde artış olduğu belirlenmiştir.

Kiss ve Balogh (2015) yaptıkları çalışmada; Hırvatistan’da bulunan Drava Nehri üzerinde 1989 yılında kurulan Donja Dubrava Baraj ve HES’in 26 km uzunluğundaki mansap kısmında oluşan değişimi incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında, nehir yatağı şevlerindeki değişimi incelemek için, Ekim 2013 ve Ocak 2015 tarihlerinde elektronik takometre cihazı ile topoğrafik okumalar yapılmıştır. Yapılan baraj nedeniyle mansap kısmına bırakılan temiz su nedeniyle nehir yatağı tabanında oyulma olduğu bu nedenle yatakta daralmanın olduğu belirlenmiştir. Nehir yatağı güzergahında oluşan değişimler ve yatak şevinde yanal erozyonların özellikle 1977 ile 2001 yılları arasında artarak devam ettiği belirlenmiştir. Nehir yatağında biriken malzemedan alınan numuneler üzerinde yapılan elek analizleri, çalışma bölgesinin memba kısmında maksimum dane çapının 49,7–83,4 mm arasında, ortalama dane çapının ise 7,6 mm olduğunu göstermiştir. Mansap kısmına ait en büyük dane çapları 39,7–39,9 mm arasında, ortalama dane çapı ise 6,1 mm boyutunda olduğu tespit edilmiştir.

Kuok ve Chi (2015) çalışmasında, Malezya’da bulunan Sarawak Nehri üzerinde yer alan Bengoh Barajı inşaatı öncesi ve sonrasında nehir yatağı seviye değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada; baraj inşaatından önce, baraj inşaatından sonrasında rezervuar tam

dolu iken, baraj inşaatı sonrasında rezervuar tamamen boş iken ve baraj inşaatı sonrasında sabit akış hali dikkate alınarak dört farklı senaryo irdelenmiştir. Ayrıca, nehir mansap kısmında kurulu olan bağlama dikkate alınarak nehir yatağının baraj bölgesi mansap kısmı ile denize ulaştığı bölge arasında kalan kesimde oluşan seviye değişimleri irdelenmiştir. Barajın olmadığı senaryoda akışta bir dalgalanmanın olacağı ve kıvrımlı bir dere yatağı güzergahının oluşacağı belirlenmiştir. Barajın tam dolu rezervuara sahip olduğu durumda ise 1. senaryoda yer alan sonuçlara benzer bir durumun oluşacağı belirlenmiştir. Son senaryoda ise sabit akımın salınması halinde nehrin mansap kısmında sel etkisinin ve su seviyesinin azalacağı belirlenmiştir.

Mulatu-Abebe ve ark. (2015) çalışmalarında, baraj inşaatları nedeniyle oluşan akış ve katı madde taşınım değişimlerinin sebebiyet verdiği mansap kısmında bulunan menderes şeklindeki oluşumları ve ayrıca nehir yatağı şevlerinde, yatak genişliğinde ve su derinliğindeki değişimleri incelemişlerdir. Bunun için, Etiyopya da yapımı devam eden Ribb Barajı mansap etkileri, Kenya'da bulunan Tana Nehri ve Sudan'da bulunan Mavi Nil Nehri üzerindeki barajların mansaplarında oluşan değişimler göz önüne alınmıştır. Sonuçta, yapılan tahmin neticesinde nehir yatağında oyulma oluşacağı ve şevlerinde ise erozyon oluşacağı belirlenmiştir.

Zhao ve Lu (2015) yaptıkları çalışmada, 1994 yılında yapımına başlanan ve 2003 yılında inşaatı tamamlanarak 2006 yılında su tutma işlemine başlanılan Çin'deki Yangtze Nehri üzerine yapılan TGB'ni incelemişlerdir. Mansap kısmında inşaat öncesi ve sonrası talveğe ait boy profili ile sediment dane çapında oluşan değişim değerlendirilmiştir. Baraj yapımı sonrasında mansap kısmına taşınan sediment çapında büyüme başladığı ve sediment konsantrasyon miktarının azaldığı görülmüştür. Askıda taşınan küçük taneli kum ve siltin büyük çoğunluğunun baraj tarafından tutulduğu anlaşılmıştır. Talveg hattının her yıl değiştiği tespit edilmiştir. Talveg hattı ile birlikte nehir güzergahı boyunca yatak kesitinde oluşan topoğrafik değişimlerin de devam ettiği belirlenmiştir.

Edwards ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada; Amerika'da bulunan White Nehri üzerindeki DeValls Buff ile Norrel Lock bölgesi içinde bir seri baraj inşaatı incelenmiştir. 1913 ile 1966 yılları arasında yapılan inşaatların tamamlanması öncesinde ve sonrasında

bu büyük nehir yatağında oluşan taşkın yayılım alanı değişimleri jeomorfolojik, hidrolojik ve ekolojik açıdan incelenmiştir. Yapılan çalışmada 98,49 km'lik nehir güzergahı 3 ayrı bölgeye ayrılarak değerlendirilmiştir. Topoğrafik haritalar ve hava fotoğrafları karşılaştırmalı olarak kullanılarak nehir yatağındaki değişim araştırılmıştır. Buna göre, nehir yatağı talveg hattının yıllar içinde değiştiği ve yatak içinde oyulma ile kesitte genişleme yaşandığı tespit edilmiştir. 1. Bölge (km:0+000 – 35+000) için talveg hattında yığılma olduğu, 2. Kısımda (km: 35+000 – 105+000) dengeli bir halin olduğu ve 3. kısımda (km: 105+000 – 180+000) talveg hattında bir düşüşün yani oyulmanın olduğu tespit edilmiştir.

Souza Filho (2016) çalışmasında; Brezilya'da bulunan Porto Primavera Barajı'nın mansap kısmında bulunan nehrin Porto Sao Jose kolunda baraj yapımı öncesi, baraj yapımı sırasında ve sonrasında katı madde taşınım miktarının değişimi üzerine bir inceleme yapmıştır. Baraj yapımının sürdüğü 1993 ile 1998 tarihleri arasına ait askıda katı madde ile sürüntü maddesi miktarlarına ilaveten baraj yapım öncesi 1986 tarihi ile 1993 ve baraj yapımının tamamlandığı 1999 ile 2011 yıllarına ait askıda katı madde ve sürüntü maddesi miktarları belirlenmiş ve bu miktarlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, baraj yapımı öncesinde askıda katı madde miktarı 214,10 kg/s iken baraj inşaatı sırasında bu değer yükselerek 222,9 kg/s olmuştur. Baraj yapımı sonrasındaki dönemde ise 56,43 kg/s olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, sürüntü malzemesi miktarları da baraj inşaatı sırasında 99,66 kg/s iken baraj inşaatı tamamlandıktan sonra 41,15 kg/s seviyesine düştüğü belirlenmiştir.

Smith ve ark. (2016), Kanada'da bulunan ve Saskatchewan Nehri üzerine 1962 yılında yapılan E.B. Campell Barajı'nın mansap kısmında yer alan nehir yatağında (35 km) jeomorfolojik değişimi incelemişlerdir. Mansap kısmı, 4 farklı bölgeye ayrılarak değerlendirilmiştir. Baraj yapımı öncesi ve sonrası yıllara ait nehir yatağı en kesitleri karşılaştırılmıştır. 1950, 2003 ve 2014 yıllarına ait nehir yatağı derinliği ve ağız genişliği arasındaki oranların değişimi belirlenmiştir. Çalışmada, yıllara göre debi değerleri, 3 farklı dönemde elde edilen topoğrafik değerler ile nehir yatağı genişlik/derinlik oranı belirlenerek çalışma güzergahı boyunca değişimi incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde, baraj yapımı öncesinde elde edilen grafiksel eğrilerin, baraj yapımı

sonrasındaki değerler ile farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre, baraj inşaatı sonrasında baraj mansap kısmında mesafe uzadıkça derinliğin azaldığı ve yatak genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, nehir yatağından elde edilen elek analizlerinde yer alan d_{50} değerinin dağılımındaki değişim incelenmiştir. Baraj yapımı öncesinde ince yapılı yatak formasyonu, baraj yapımı sonrasında daha iri taneli bir eğilim göstermiştir. Ayrıca, nehir yatağı boy profil çizgileri oluşturularak, yıllara göre değişim tespit edilmiştir. Buna göre, nehir yatağında oyulma oluştuğu ve baraj yapımı öncesinde özellikle barajın ilk çıkış noktası ile denize giriş ağız bölgesinde büyük bir değişimin yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca, nehir yatağı mansap bölgesinde belirlenen üç ayrı bölümdeki toplam 14 farklı noktada oyulma ve birikme miktarlarına ait değişim diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlarda baraj yapımı sonrasında yıllar geçtikçe oyulma miktarlarının bir önceki yıla göre arttığı belirlenmiştir.

Kirvel ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada; Belarusta yer alan Viliya, Sluch ve Ashmyanka nehirleri üzerinde yer alan barajların mansap bölgesinde akarsu yatağındaki değişime neden olan faktörleri irdelemişlerdir. Yapılan çalışma neticesinde, akarsuların yataklarında akış ile taşınan sedimentin %60 ile %80 oranındaki kısmı barajlar tarafından tutulduğu belirlenmiştir. Nehir yatağındaki yapının heterojonik olması halinde nehir yatağı taban erozyonunun azaldığı ve homojen olması halinde ise daha fazla bir oyulma yönünde değişimin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, nehir yatağındaki hidrolik akış düzeninin yatak erozyonu ve yatak şeklinin değişiminde ana faktör olarak rol aldığı belirlenmiştir.

Mulatu ve ark. (2018) çalışmalarında Etiyopya'da bulunan ve Tana Gölü'ne dökülen Ribb Nehri üzerinde kurulu Ribb Barajı ile Tana Gölü arasında, baraj nedeniyle nehir güzergahında 1980 ile 2010 yılları arasında oluşan morfolojik değişimi incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, baraj ile göl arasındaki nehir 3 bölgeye ayrılarak analiz edilmiştir. Nehir yatağında her bir bölge için eğimlerin barajdan başlayarak göle kadar azaldığı ölçülmüştür. Ayrıca, her bir bölgede nehir yatağından alınan malzemelere ait elek analizleri yapılmıştır. Yapılan elek analizi neticesinde, dane çapı dağılımlarında barajın hemen ön mansap kısmında olan 1. kısımda dane çaplarının 2. ve 3. bölgeye göre iri olduğu görülmüştür. Mansap kısmı olan 3. bölgeden elde edilen sonuçlar ise 1. ve 2.

bölgeye göre dane çapının oldukça küçük olduğu ve ince taneli bir hal aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, baraj ile göl arasındaki nehir yatağı kısımlarına ait uydu ve hava fotoğrafları da elde edilerek yatak içinde oluşan değişimler incelenmiştir. Bununla birlikte, nehir yatağının baraj mansap kısmında bulunan 2 adet akım gözlem istasyonuna ait akım, su yüksekliği ve sediment ölçümleri ile bölgeyi temsil eden meteorolojik veriler birlikte değerlendirilmiştir. 1957 ile 2012 arasında nehir yatağı orta çizgileri karşılaştırılarak yatakta oluşan değişim ortaya konulmuştur. Barajın yapımından sonra, mansap kısmında yatağın daraldığı, boy profilinde eğimin azaldığı, yatak içinde kopma, parçalanma oluştuğu ve kıyı erozyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

Słowik ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Slovakya'nın güneyinde bulunan Drava Nehri üzerinde inşa edilen barajın nehir yatağı mansap kısmında ki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, nehir yatağının mansap kısmındaki yaşanan değişim; baraj inşaatı öncesi ve sonrası dikkate alınarak irdelenmiştir. Yapılan çalışmada, geçmiş yıllara ait haritalar, GPR ile elde edilen nehir yatak yapısına ait profiller ve nehir yatağından alınan en kesitler mukayese edilmiştir. Baraj inşaatı sonrasında nehir yatağı kesitinde oyulmanın arttığı bu nedenle oyulma bölgesi dışında oluşan doğal seddeler üzerinde bitkisel alanların arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, nehir yatağında parçalı alüvyon adacıklarının oluştuğu, nehir yatağında oluşan kurplar neticesinde yan şevlerde oyulmalar gerçekleştiği ve yatakta silt ve ince taneli yapının hakim olmaya başladığı tespit edilmiştir. Böylelikle, baraj inşaatı öncesinde var olan eş yükselti eğrilerinin baraj sonrasında mansap tarafında değiştiği belirlenmiştir. Bu değişimlerin baraj nedeniyle azalan sediment miktarı ve değişen akış rejimi ile baraj inşaatı sırasında yapılan çalışmalar nedeniyle oluştuğu ifade edilmiştir.

Hai ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada; Japonya'da bulunan Tedori Nehri'nin denize giriş ağzı olan nokta ile Tedorigawa Barajı arasında bulunan 16 km'lik kesimde 1950 ile 2007 yılları arasında oluşan alansal mekânsal değişimi morfolojik açıdan incelenmiştir. Nehir yatağı güzergahı dört farklı kısma ayrılarak elde edilen topoğrafik verilerin yardımıyla boy profilleri ve belirli noktalara ait en kesitlerde yaşanan değişimler tartışılmıştır. Ayrıca, bu dönemlere ait sediment çaplarındaki değişimde belirlenmiştir. Bu çalışmalara ilaveten, 1968 ile 1955 yıllarına ait hava fotoğrafları mukayese edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde, barajın hemen çıkışında yer alan 1. Kısımda oyulma miktarının daha fazla olduğu ve denize giriş ağzında ise yığılma yönünde bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nehir yatağında oyulma ile birlikte şevlerde oyulma yönünde bir değişim yaşandığı tespit edilmiştir.

Gierszewski ve ark. (2020) çalışmalarında, Polonya'da bulunan Vistula Nehri üzerine çok amaçlı Wloclawec Barajı üzerinde inceleme yapmışlardır. Barajın tamamlandığı 1969 yılı ile 2015 yılları arasına ait hava fotoğrafları, hidrolojik, akım ve topoğrafik veriler istatistiksel ve grafiksel açıdan irdelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, 1969 ile 2009 yıllarına ait nehir yatağı boy profili ve mansapta yer alan en kesitte yaşanan değişim görsel olarak verilmiştir. Buna göre, barajın 10 ile 20 km'lik mansap kısmında bulunan nehir yatağında her yıl yaklaşık olarak 5,7 cm oyulma ve aynı zamanda yatak genişliğinde 40 cm daralma yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, barajın mansap kısmının ilk 5 km ile 10 km'lik kısmında nehir yatağında 40 yıl içinde %40'tan fazla bir oranda daralma olduğu belirlenmiştir.

Kong ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada; Çin'in Yuan eyaletinde bulunan ve Sarı Nehri üzerine enerji amaçlı kurulan Xiaolangdi Barajı'nı incelemişlerdir. Barajın yapımı nedeniyle, nehir yatağı mansap kısmında oluşan morfolojik değişim 1987 ile 2017 arasında kalan dönem için ele alınmıştır. Xiaolangdi Barajı, 1999 yılında inşaatı tamamlanarak devreye alınmıştır. Akarsu yatağının 860 km'lik mansap kısmı yedi farklı bölüme ayrılmış ve yapılan incelemede ilk üç bölümde yatakta oyulma oluşurken mansap kısmında yer alan son iki kısımda birikme olduğu tespit edilmiştir. Baraj inşaatı sürecinde taşkın yaşanmadığı tespit edilmiştir. Bu süreç içerisinde her yedi bölüme ait nehir yatağında kum adacıklarının olduğu ve yıllara göre değişim yaşandığı, özellikle ilk beş bölgede yatağın daralarak derinleşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Buna karşın, baraj inşaatı sonrası son iki bölümde kum çakıl kümelenmelerinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, mansap güzergâhının neredeyse tamamında oluşan dağınık ve dallanmış yatak yapısının değişerek akışın artık ana bir güzergâh izlediği ve yatakta baraj öncesi var olan dallanmış yapının yok olduğu gözlenmiştir.

Gao ve ark. (2021), Çin’de bulunan ve dünyanın en büyük barajı olan TGB’nin mansap kısmında yer alan Yichang ile Datong arasındaki 1183 km’lik nehir yatağı güzergahında morfolojik değişimi incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, nehir yatağının yaz yatağı (baz akımı taşıyan tabandaki akış kesiti) kısmında derinleşme ve şevlerde erime yaşandığı tespit edilmiştir. Çalışma sırasında 1980 ile 2018 tarihleri arasına ait yedi adet istasyondan elde edilen hidrolojik veriler, günlük debiler, su seviyeleri ve askıda katı madde miktarları ve belirli noktalardan alınan 189 adet en kesitten yararlanılmıştır. Baraj yapımı sonrasında, askıda sediment miktarlarında yüksek miktarda düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Nehir yatağı mansap bölgesinde oluşan morfolojik değişimin izlenmesi için nehir yatağı mansap kısmı yedi farklı parça halinde değerlendirilmiştir. Sashi istasyonu bölgesi barajın hemen çıkışında olması nedeniyle bu bölgede nehir yatağında oyulma olduğu, ancak mansap bölgesine doğru Hankou ile Jiujiang istasyonları arasında ölçülen en kesitlerin daha stabil kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, barajın hemen çıkışında elde edilen dere yatağı zemin numuneleri üzerinde elek analizleri yapılarak dane dağılımları değerlendirilmiştir. Buna göre, en mansapta yer alan Datong istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda baraj öncesi ve sonrası dane çapı dağılımlarında değişimler yaşandığı tespit edilmiştir. Baraj yapımı sonrasında zamana bağlı olarak mansap kısmına doğru daha heterojen ve ince dane dağılımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kale ve Ataol (2021), Yeşilirmak Nehri üzerinde bulunan tarihi Çarşamba Köprüsü’ne ait 1980, 1989, 1996 ve 2019 yıllarında elde edilen topoğrafik verileri değerlendirerek nehir yatağında oluşan morfolojik değişimi incelemişlerdir. Yapılan inceleme neticesinde; Yeşilirmak Nehri üzerinde yapılan Suat Uğurlu Barajı sonrasında 39 yıllık süre zarfında nehir yatağında 5.9 m’ye kadar oyulma yaşanarak ortalama yıllık 0,15 m bir azalma ile yatağın derinleştiği tespit edilmiştir. Yeşilirmak Nehri’nin Karadeniz’e giriş ağzı ile Suat Uğurlu Barajı arasında yer alan akım gözlem istasyonuna ait akım verileri, su seviye değerleri ve 1984 yılına kadar olan sediment konsantrasyon verileri de değerlendirilmiştir. Özellikle, 1980 yılında inşaatı tamamlanan Hasan Uğurlu ve Suat Uğurlu barajlarından sonra sediment taşınım değerlerinin yıllara bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Yukarıdaki literatür taramasından da anlaşılacağı gibi, baraj yapımından önce ve sonra baraj mansabında oluşan değişimlerin pek çok araştırmacı tarafından çalışıldığı, baraj yapımından sonraki süreçte uzun dönemli dere yatağındaki kesitsel, morfolojik ve yapısal değişimler ortaya konulmuştur. Ancak, baraj yapım safhasında dere yatağı mansabında oluşan değişimlere yönelik kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Baraj yapımı safhasında gerçekleştirilen kazı ve dolgu faaliyetlerinin mansap bölgesini nasıl etkilediği bilinmemektedir. Bundan dolayı, bu tez çalışması ile bu etkilerin nasıl olduğu ve sebeplerinin neler olduğu gerçekleştirilen detaylı topoğrafik ölçümler ile ortaya konulmuştur.

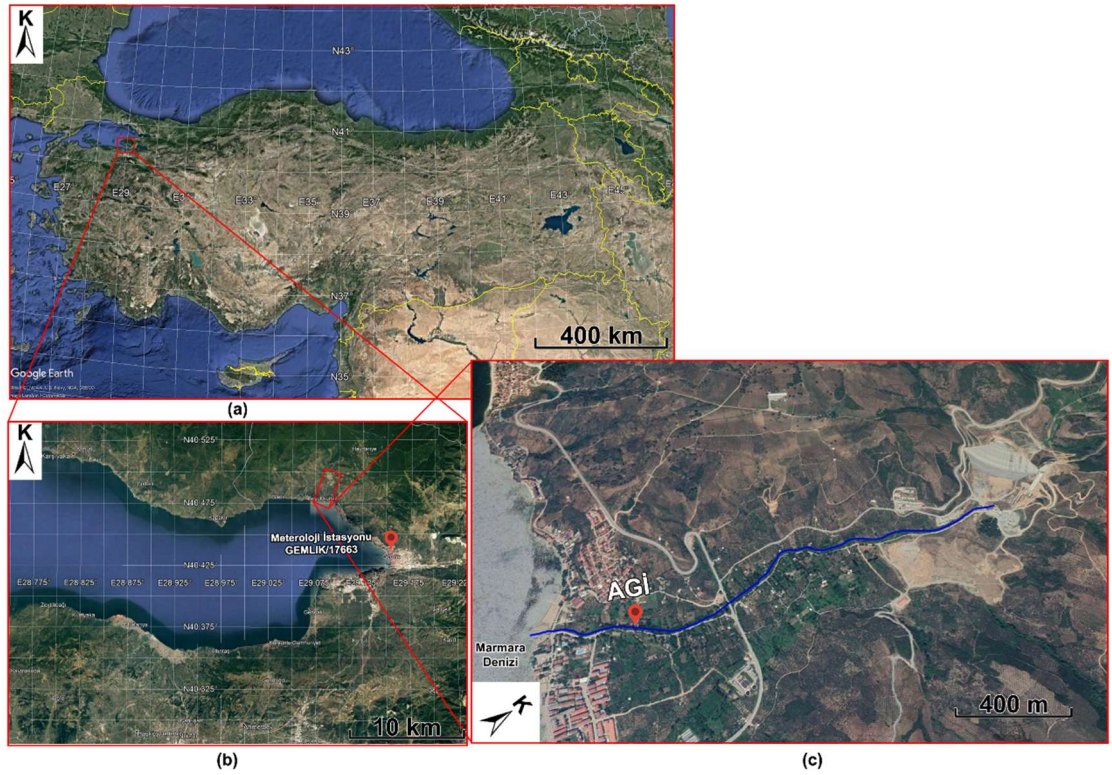


3. MATERYAL ve YÖNTEM

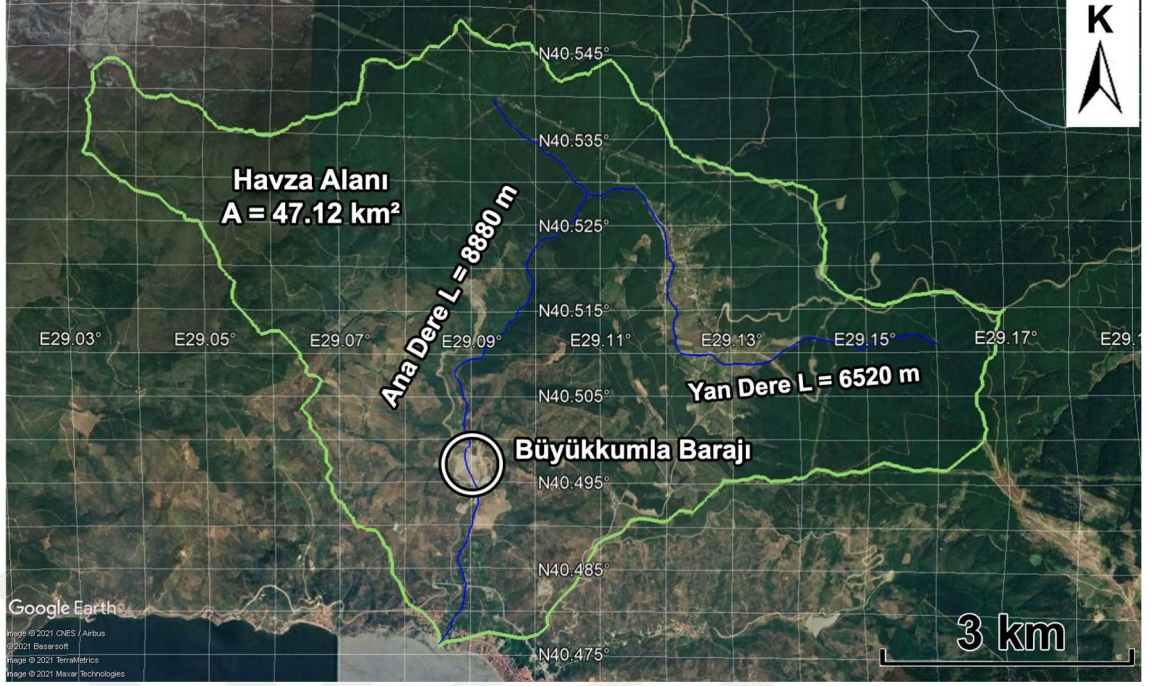
3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanına ait Bilgiler

Çalışma bölgesi, Büyükkuşla Barajı inşaat alanından Büyükkuşla deresinin Marmara Denizi'ne döküldüğü yere kadar ki dere yatağı kesimidir. Büyükkuşla Barajı, Bursa ili Gemlik ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Söz konusu barajın oturduğu alan Büyükkuşla Deresi üzerindedir. Büyükkuşla Deresi, 800 m kotlarındaki tepelerden doğmakta ve Büyükkuşla Ovasını geçerek Gemlik Körfezine dökülmektedir (Şekil 3.1 ve 3.2). Çalışma bölgesine ait fotoğraflar Ek-2 bölümünde yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesi, meteoroloji ve akım gözlem istasyonu konumları, Büyükkuşla Deresi, Büyükkuşla Barajı inşaat alanı



Şekil 3.2. Büyükkuşla Deresi Havzası'na ait genel bilgiler

Barajın yapım amacı; Gemlik Körfezinde yer alan iskan merkezleri ile sanayii tesislerinin içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu baraja ait karakteristik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Büyükkuşla Barajı karakteristikleri

Tipi	Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj
Kret Uzunluğu ve Genişliği	385,00 m / 10,00 m
Talvegden yüksekliği	48,00 m
Temelden yüksekliği	81,00 m
Toplam dolgu hacmi	2 665 262 m ³
Dolusavak tipi	Yandan alıslı kontrolsüz
Derivasyon tipi	Beton kaplamalı at nalı 3,00 m çapında
Yağış alanı	42,13 km ²
Yıllık ortalama akım	27,84 hm ³

3.1.2. Çalışma Alanındaki İnşaat Çalışmaları

Büyükkuşla Barajı'nın inşaatına 2013 yılı Mart ayında yapım işleri ile başlanmış olup ilk olarak şantiye kalıcı idari ve sosyal tesisleri yapılmıştır. Bu şantiye tesisleri, baraj gövde mansap yönünde yer almakta olup halen aynı noktada hizmet vermektedir. Bununla birlikte, ana karayolu ile baraj arasında ve aynı zamanda şantiye tesisleri arasındaki ulaşımı sağlayacak olan 1 626 m uzunluğundaki baraj ulaşım yolu yapılmıştır. Diğer ulaşım yolları olan dolusavak ulaşım yolu 611 m ve ayar vana odası ulaşım yolu 755 m (Şekil 3.3) 2013 yılında yapılmıştır. 2 710 m uzunluğundaki kaya ocağı ulaşım yolu 2014 yılı sonlarında yapılarak hizmete hazır hale getirilmiştir. Kaya ocağı ulaşım yolu tamamen dere güzergâhını üst kotlarda takip eden bir yapıda olup sadece kaya ocağı ulaşım yolu çalışmaları esnasında toplam 193 335,60 m³ kazı ve 17 226,22 m³ dolgu imalatı gerçekleştirilmiştir. Kaya ocağı ulaşım yolu da dahil olmak üzere tüm ulaşım yollarında toplamda 242 196,77 m³ seviyesinde bir kazı yapılmış ve bu kazıların tamamına yakını baraj gövdesi mansap kısmında yer alan depo sahasına nakledilmiştir.



Şekil 3.3. Ulaşım yolları genel görünümü

Derivasyon tüneli inşaatına 05.12.2013 tarihinde başlanılmış ve tünel kesitine ait kazı, betonlama ve enjeksiyon çalışmaları, 2014 yılı sezonunda aralıksız devam etmiştir (Şekil 3.4). Kazı ve beton imalatları sonrasında 2015 yılı ortalarında enjeksiyon işlemleri

tamamlanarak 15.06.2015 tarihinde Büyükkumla deresinin suyu çevrilerek derivasyon sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Dipsavak derivasyon tüneli

Derivasyon tüneli ile birlikte su alma yapısının oturacağı temel ve şev kazıları yapılmıştır. Bu kazılar şevli bir yüzeyde yapılması sebebiyle tünel giriş ağzına ait imalatlar yapılmadan tamamlanması zorunluluk arz etmektedir. Bu üniteye ait kazı çalışmalarına 20.02.2014 tarihinde başlanılmış ve 2015 yılı içerisinde tamamlanmıştır (Şekil 3.5). Su alma yapısı, tünel giriş ve çıkışlarında bulunan portal yapısı ile üst şevlerinde yaklaşık 66 000 m³ ve tünelde 4 500 m³ olmak üzere toplamda bu iki ünite için 70 000 m³ kazı yapılmıştır. Derivasyon tüneli imatları ile birlikte kısmen baraj gövde şevlerinde ve talveg seviyesine kadar sıyırma kazılarına başlanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Su alma yapısı temel kazıları



Şekil 3.6. Baraj gövde sıyırma ve şev kazıları öncesi doğal zemin görüntüsü

Derivasyon tüneli imalatları ile birlikte yapımı devam eden memba batardosu dolgu imalatlarına 2015 yılında başlanılmış aynı yıl içerisinde tamamlanmıştır. Memba batardosu 10 m kret genişliğine sahip, temelden yüksekliği 6,5 m ve toplam 7 500 m³ dolgu hacmine sahiptir. Mansap batardo dolgusu ise 450 m³ seviyesindedir. Memba ve mansap batardosu inşaatı yapılarak temel kazılarının yüzeysel suların ve dere akışından kaynaklı suların korunarak, kuruda devam etmesi sağlanmıştır. Mansap batardosu inşaatı da memba batardosu ile aynı zamanda tamamlanmıştır. Memba ve Mansap batardoları hızlıca yapılarak geçirimsizlik perdesi için platform güzergahı da hazır hale getirilmiştir. Memba ve mansap batardoları için toplam 8 000 m³ kazı yapılmıştır. Bu imalatlardan sonra 15.04.2015 tarihinde imalatına başlanılan toplam 11 600 m²'lik geçirimsiz perde yapılarak yer altı suyu akışından baraj temel kazılarının etkilenmemesi sağlanmıştır (Şekil 3.7).



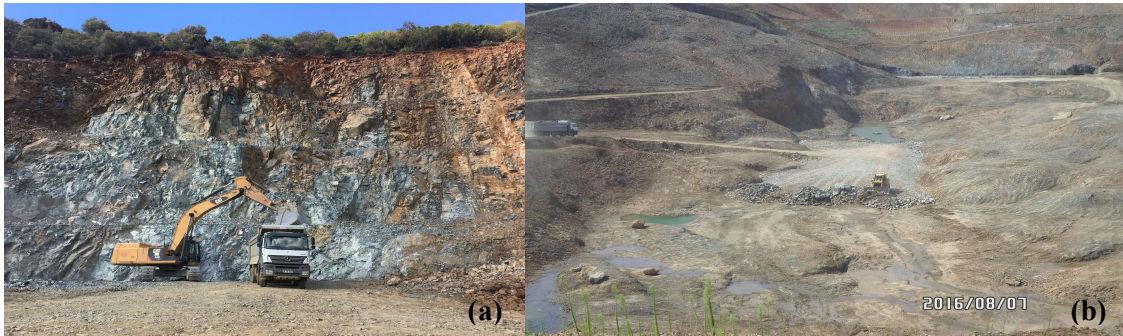
Şekil 3.7. Geçirimsizlik perdesi yapımı

Baraj gövdesinin oturacağı alana ait sıyırma kazılarına 2014 yılı sonlarında başlanılmış ve bu dönemde 65 000 m³ sıyırma kazısı yapılmıştır. Ancak, temel kazıları yoğun olarak

2015 yılında yapılmış ve 2016 yılı temmuz ayı sonuna kadar bitirilmiştir (Şekil 3.8). Bu dönemde toplam 1 849 266,44 m³'lük gövde sıyırma ve temel kazısı inşaatı yapılmıştır. Baraj temel kazıları, sıyırma kazılarından bağımsız olarak yürütülen dolusavak kazılarına ait 1. kademe ve palye kazılarına 26.10.2013 tarihinde başlanılmış ve 2014 yılında tamamlanmıştır. Bu üniteye ait toplam kazılar 89 762,58 m³ olarak tespit edilmiştir. Baraj gövde dolgusu öncesinde baraj ünitelerine ait kazı işlemleri 2016 yılı çalışma sezonu başlangıcına kadar büyük oranda tamamlanmış olup sadece dolusavak 2. kademe kazıları kalmıştır. Ayrıca, baraj gövde dolgusunu teşkil etmek için kullanılacak olan kaya dolgu imalatlarının elde edilmesi için kaya ocağında sıyırma ve patlatma işlemleri ile birlikte kazı imalatları da devam etmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Baraj gövdesi temel kazıları



Şekil 3.9. Kaya ocağındaki kazı çalışmaları (a), gövde dolgusuna başlangıç (b)

Gövde dolgusuna fiili olarak (Şekil 3.9.b) başlama tarihi 07.08.2016 olup dolgu işlemleri öncesinde kaya ocağında hazırlık çalışmaları kapsamında sıyırma ve kaya temini için patlatma ve sökme kazıları yapılmıştır. 2016 yılında baraj gövde dolgusu teşkiline ağırlık verilmiş olup sadece 2016 yılı sonunda 7,00 m kotuna ulaşılarak toplam 617 000 m³ baraj gövde dolgusu yapılmıştır. Barajın gövde dolguları Şekil 3.10'da görüldüğü gibi farklı



Şekil 3.11. Baraj gövdesi topuk plağı betonu ve gövde dolgusunun yapımı

Çizelge 3.2. Ekim 2016 ile Nisan 2018 tarihleri arasında baraj inşaatında yapılan imalatlar (m³)

Ünite	Ekim 2016 – Mart 2017	Mart 2017 – Kasım 2017	Kasım 2017 – Nisan 2018
Gövde sıyırma ve temel kazıları	2 211,96	0	96 520,37
Ulaşım yolları düzenleme kazıları	9 000,00	0	3 451,43
Dolusavak ve palyelerine ait kazı	0	35 678,40	0
Su alma yapısı kazısı	0	0	1 124,49
Ocaktan çıkarılan kaya malzemesi ile dolgu yapılması	588 698,98	710 985,42	683 563,29
TOPLAM	599 910,94	746 663,82	784 659,58

Baraj gövdesi ve baraja bağlı diğer ünitelerin yapım dönemi olan 2013 yılı başları ile 2018 yılı sonuna kadar Çizelge 3.2’den de anlaşılacağı üzere toplamda 4 703 810 m³ gibi yüksek bir oranda kazı ve dolgu hareketi yaşanmıştır. Bu işlemlerin tamamı söz konusu barajın yapımı için tasarlanmış ve işin tekniği gereğince yapılması zorunlu olan imalat miktarlarıdır. Büyükkumla Barajı gövde dolguları fiili olarak Nisan 2018 yılında tamamlanmış olup 2018 yılı sonuna kadar bordür betonu ve diğer ünitelerde eksik olan beton imalatlar tamamlanarak sadece önyüzü beton plak yüzey imatları kalmıştır. Gövde dolgusunda yaşanacak olan oturmanın gerçekleşmesi için belirli bir süre beklenmesi önyüzü beton plağın zarar görmeden yapılması için önem arz etmektedir. Barajın gövde dolgusu tamamlandıktan sonra elde edilen görüntü Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Baraj gövdesi ve diğer ünitelerinin tamamlanmış son durumu

3.1.3. Topoğrafik Ölçümler

Büyükkuşla Barajı'nın yapıldığı Büyükkuşla Deresi yatağında boykesit ve en kesitlerin ölçümü; baraj mansap batardosundan başlayıp Gemlik Körfezi'ne deniz kıyısı ve denize giriş ağzına kadar farklı zaman dilimlerinde yapılmıştır. Ölçümlerde iki farklı yöntem uygulanmıştır. Arazinin açık bitki örtüsünün az olduğu yerlerde uydu teknolojisi GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) ve sık ağaçlık alanlarda ise yersel yöntemlerle ölçümler yapılmıştır. GNSS; piyasada bilinen adı ile GPS yöntemi ile yapılan ölçümlerde Topcon marka GR-5 model anten kullanılmıştır. GPS ile elde edilen konum verilerinin hassasiyetini artırmak için RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) ölçü sistemi kullanılmış, sık ağaçlık bölgelerde ise yine Topcon marka ES-107 model elektronik takometre ile ölçümler yapılmıştır. Topoğrafik ölçümlerde uygulanan her iki metot için kullanılan cihazlar ve bu cihazların çalışma yöntemleri farklı olmasına rağmen elde edilecek sonuçlar aynıdır. Bu metot için kullanılan ve önceden sabit kesin koordinatları bilinen noktalara ait veriler başta Harita Genel Komutanlığı olmak üzere haritacılık çalışmaları yapan kurumların tesis ettiği sabit yer kontrol noktaları olan poligonlar ve nirengilerden yararlanılmaktadır. Bu sistemde sabit anten ile gezici antenin iletişimi radyo frekansı sayesinde olmakta ve radyo frekansının ulaştığı en uzak alana kadar her bir noktada ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 3.13). Ölçülen her bir noktanın koordinatı gezici anten üzerine bağlı el ünitesine kaydedilmektedir. Bu topoğrafik ölçüm metodu hem hızlı hem de daha doğru sonuçlar vermektedir (Kahveci ve Yıldız, 2016). Ancak, ağaçlık alanlar ve bitki örtüsünün sık olduğu bölgelerde radyo frekansı erişimi yeterli olsa bile uydular ile iletişim

yeterli olmayabilir. Bu sebeple, bitki örtüsünün yoğun olduğu özellikle ağaçlık alanlarda yersel yöntemlerle ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerde elektronik takometre adı verilen optik cihazlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, bu cihazdan bazı kritik noktalar için yararlanılmıştır. Bu cihaz sabit nokta üzerinde olan elektronik takometre ile gezici alet olan ve koordinatlarının belirlenmesi istenilen nokta üzerine tutulan reflektör arasında lazer ışını yardımı ile noktasal pozisyonun belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Burada kullanılan reflektör gezici olup bir jalon üzerine monte edilen prizmadan ibarettir. Bu ölçüm yönteminde kesinlikle reflektör ile elektronik takometre birbirini görmek zorunda olup reflektörün bulunduğu her bir noktaya ait veriler ana sabit cihaz tarafından ölçülerek kayıt altına alınmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Sabit uydu alıcısı anten ile gezici mobil antenli GPS



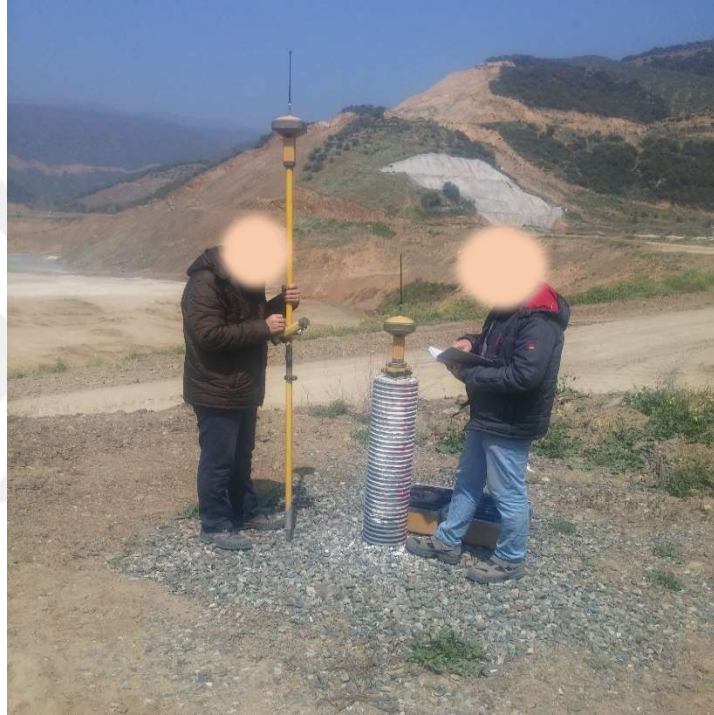
Şekil 3.14. Elektronik takometre ve reflektör cihazları ile koordinat alımı

Ölçümler için kullanılan yer kontrol noktaları, Çizelge 3.3'te koordinatları da verilen P.3 (Şekil 3.15) ve P.2001 (Şekil 3.16) numaralı noktalardır.



Şekil 3.15. P3 poligon noktasında sabit anten kurulumu

P.3 noktası üst palyede bulunan DSİ Kontrollük Binası önünde yerde parke taşında bulunmakta olup P.2001 ise baraj gövde mansap kazı şev başında pilye şeklinde bulunmaktadır. Deniz seviyesini ölçmek için yapılan çalışmada deniz seviye kotu değişken olması sebebi ile P.3 ve P.2001 noktalarından taşınan kot/koordinat değerleri Büyükkumla Deresi'nin denize döküldüğü köprünün denize bakan her iki ayağına işaretlenmiştir. Yapılan ölçüm çalışmaları ile ilgili resmi izinlere ait belgeler Ek-1'de yer almaktadır.



Şekil 3.16. P2001 poligon noktasında sabit anten kurulumu

Çizelge 3.3. Ölçümler için kullanılan sabit yer kontrol koordinat noktaları

Nokta Adı	Y	X	Z (H)
P.3	422 760,831	4 484 781,298	40,948
P.2001	422 941,192	4 485 087,976	19,654

3.1.4. Akım Gözlem İstasyonu Debi Değerleri

Büyükkumla Deresi yatağı üzerinde DSİ Bursa Bölge Müdürlüğü'ne ait D02A088 No.lu AGİ'nin (Şekil 3.17) kaydettiği 2014 su yılından itibaren 6 yıllık döneme ait günlük ortalama, aylık maksimum debi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler çalışma periyotlarına uygun olacak şekilde bölünmüş ve değerlendirmeler sırasında çeşitli grafiklerde sunulmuştur.

3.1.5. Meteorolojik Veriler

Çalışma bölgesine ait havzanın meteorolojik değerlerini temsil edebilecek en yakın meteoroloji istasyonu Gemlik bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3.1.b). Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Gemlik/17663 istasyonundan elde edilen 2014 ve 2020 yılları arasındaki zaman diliminde gerçekleşen aylık maksimum ve toplam yağış değerleri kullanılmıştır. Yağış değerleri çalışma periyoduna uygun olacak şekilde grafiksel hale getirilmiştir.

3.2. Yöntem

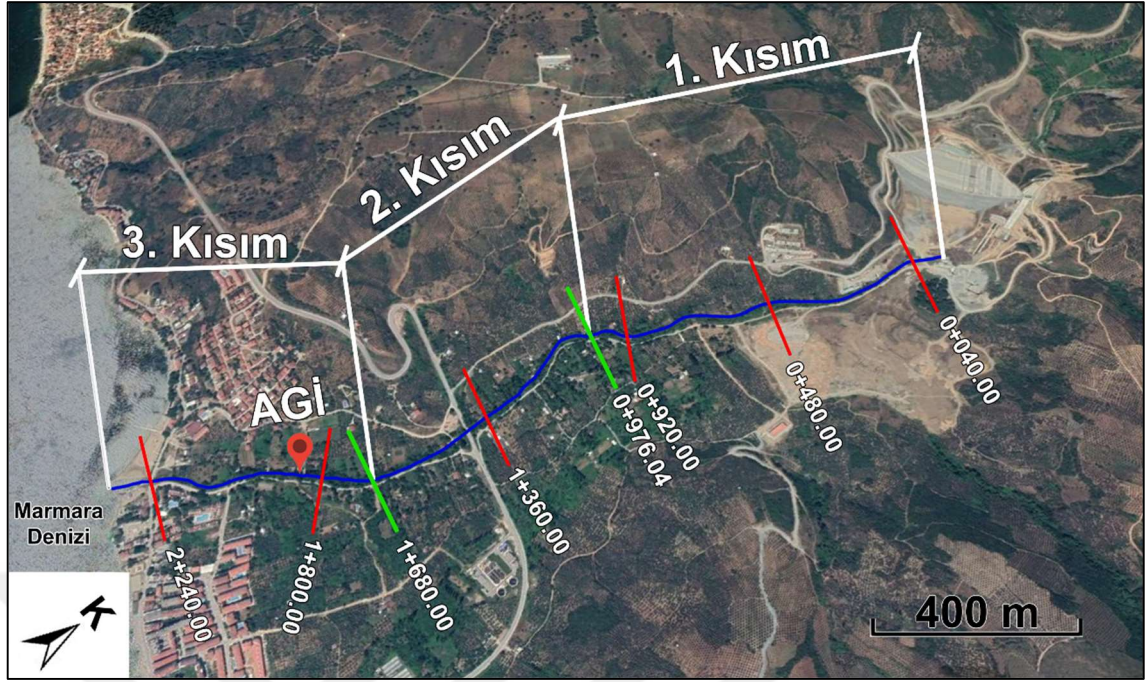
3.2.1. Topoğrafik Ölçümlerin İşlenmesi

Sahada ölçümleri yapılan noktalar NetCAD 5.1 programında yer alan Netsurf modülü ile üçgen model haline getirilerek sayısallaştırılmıştır. Bu veriler sayesinde istenilen bölgeye ait en kesitler, boykesitler, plan ve profiller oluşturulabilmektedir. Ayrıca, farklı iki dönem arasında ve aynı kesitlerde oluşan kazı-dolgu hacim değişimi ve kübaj hesapları yine NetCAD programında yer alan Netpro modülü ile yapılmaktadır.

Topoğrafik ölçümlerin yapıldığı Büyükkumla Deresi ölçümünde UTM 3° (Evrensel Enine Merkator) projeksiyon sistemi ve ED-50 (Avrupa Referans Sistemi 1950) koordinat sistemi kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ülkemizde halihazırda birkaç koordinat sistemi var olmasına karşın bu koordinat sistemi seçilmiştir. Bunun nedeni, ölçüm yapılan bölgedeki mevcut noktalar bu koordinat sisteminde üretilmiş noktalar olmasıdır. Farklı koordinat sisteminde (ör. Avrupa Referans Sistemi 1950 – ITRF 96 gibi) ölçüm yapabilmek için bu sistemde yeni noktalar inşa edilmeli ya da bu koordinat

sistemine sahip noktalardan ölçüm yapılan noktalara koordinat taşınmalı ve hesabın yapılması gerekmektedir. Ayrıca, Büyükkumla Barajı projeleri ED-50 koordinat sisteminde hazırlanmış ve imalatı da bu sistemde yapılmıştır. Yapılan ölçümün barajla ilişkilendirilmesi ve iki projenin üst üste çakıştırılması durumunda herhangi bir sorun yaşanmaması için bu sistem tercih edilmiştir.

Büyükkumla Barajı ile Marmara Denizi arasında kalan dere yatağında belirli aralıklarla dere güzergâhı boyunca yapılan topoğrafik ölçümlerin değerlendirilmesi, dere yatağı güzergâhı üç kısma ayrılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17). Topoğrafik ölçümler, barajın hemen çıkışında dipsavak ve dolusavak tahliye kanallarının kesiştiği noktadan itibaren derenin Marmara Denizi'ne boşaldığı noktaya kadar dere güzergâhı boyunca alınmıştır. Yapılan ölçümlerde, başlıca dere yatağının talvegi olmak üzere akışa göre sağ ve sol sahilde 25 metreye kadar her 20 metrede ve gerekli görülen kesit değişimlerinin bulunduğu ara noktalar dikkate alınmıştır. Önceden yapılmış mevcut 2014 yılı Mart ayı ölçümünün yanında, çalışma kapsamında talveg hattı boyunca Haziran 2016, Ekim 2016, Mart 2017, Kasım 2017, Nisan 2018, Ekim 2019 ve Eylül 2020 aylarında topoğrafik ölçümler yapılmış ve güzergâh boyunca en kesit ve boy kesitlerde morfolojik açıdan nasıl bir değişimin olduğu tespit edilmiştir. Dere güzergâhı memba, mansap ve orta bölgeleri temsil edebileceği düşüncesi ile 0+000,000 ile 0+976,039 km (95. en kesit) arası 1. kısım (barajın hemen mansabı), 0+976,039 ile 1+680,000 km (153. en kesit) 2. kısım (orta bölge) ve 1+680,000 ile 2+313,495 km (199. en kesit) 3. ve son kısım olarak (denize dökülen kısım) üç farklı bölgeye ayrılmış ve değerlendirmeler bu üç bölge için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir kısım için yıllara sari arazide elde edilen topoğrafik verilere ait değişimleri gösteren en kesitler üst üste çakıştırılmış ve bu en kesitlerde oluşan değişimi hesaplayan kübaj cetvelleri hazırlanarak dere boyunca ve alınan her en kesit noktasında oyulma ve yığılma miktarlarını veren hacim hesapları yapılmıştır. Söz konusu dere yatağında 2014 yılından beri yapılan topoğrafik ölçümler kendi içerisinde sınıflandırılmış ve her bir topoğrafik ölçüme ait değerler dere yatağında oyulma veya birikme türünden hacimsel hesap olarak ortaya konmuştur.



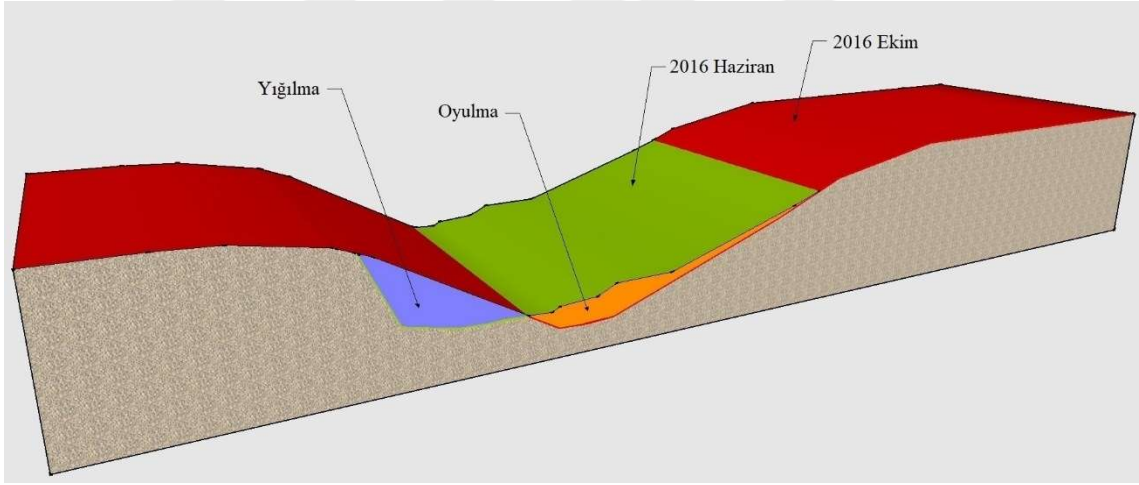
Şekil 3.17. Büyükkuşla Deresi, Büyükkuşla barajı inşaat alanı, Büyükkuşla barajı mansabındaki dere kesiminin bölündüğü üç bölge sınırları (yeşil çizgiler), enkesit değerlendirmelerinde dikkate alınan kesit konumları (kırmızı çizgiler)

Topoğrafik ölçümler arasındaki değişimlerin belirlenmesi için dokuz farklı zaman aralığı şantiye çalışmalarına paralel olarak belirlenmiştir. Bu zaman aralıklarının ilk beşi; Mart 2014 – Haziran 2016, Haziran 2016 – Ekim 2016, Ekim 2016 – Mart 2017, Mart 2017 – Kasım 2017 ve Kasım 2017 – Nisan 2018 olmak üzere yaklaşık 6'şar aylık periyotlardadır. Bunlara ilave olarak yıllık periyotlar göz önüne alınarak Haziran 2016 – Mart 2017, Mart 2017 – Nisan 2018, Nisan 2018 – Ekim 2019 ve Ekim 2019 – Eylül 2020 değişimleri de irdelenmiş ayrıca ilk topoğrafik ölçüm ile son topoğrafik ölçümler olan 1. kısım için Mart 2014 – Nisan 2018 ile Mart 2014 – Eylül 2020 arası ve 2. ve 3. kısımlar için ise Haziran 2016 – Nisan 2018 ile Ekim 2016 – Eylül 2020 arası morfolojik değişim miktarları tespit edilerek irdelenmiştir. Boy profilinde 1. kısım olarak değerlendirilen km:0+000,000 ile km:0+976,039 arasında baraj gövde inşaatı başlamadan çok önce etüt amaçlı dere yatağı talveg hattında alınmış topoğrafik ham veriler bulunması sebebiyle 2014 yılı ile 2020 yılı arasındaki değişimi ortaya koyacak gerekli değerlendirmeler yapmak mümkün olabilmiştir. Ancak, 2014 yılındaki talveg seviyesine ait topoğrafik veriler dere yatağı boyunca Marmara Denizi'ne dökülen noktaya kadar

mevcut olmadığından 2. ve 3. kısımda Haziran 2016 ölçümleri başlangıç olarak kabul edilmiş ve karşılaştırmalar bu yıllar arasında yapılabilmektedir.

3.2.1.1. Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Hesapları

Topoğrafik ölçümlere ait kıyaslamalar, ilk önce her üç kısım için ayrı ayrı olmak üzere altışar aylık ve yıllık dönemlerdeki toplam oyulma ve yığılma miktarları irdelenerek yapılmıştır. Bu işlem için, dikkate alınan iki zaman aralığını temsil eden aynı noktadaki en kesitler karşılaştırılmış ve başlangıç ve son olarak düşünülen bu iki en kesit arasında oluşan oyulma ve yığılma alanları tespit edilmiştir (Şekil 3.18). Bu alanlar, bir sonraki en kesit mesafesinin yarısı ile çarpılarak hacme dönüştürülmüştür. Baraj mansabı bölgesini temsil eden 1. kısım olarak belirlenen bölgede 95 adet en kesit ile yapılan bu değerlendirmede elde edilen 95 adet hacmin toplamı 1. bölgenin toplam oyulma ve yığılma miktarlarını vermektedir. Aynı şekilde, ikinci bölgede 58 adet en kesit ve üçüncü bölgede 46 adet en kesit ile bu işlemler yapılarak bu bölgelerde iki zaman aralığında oluşan miktarlar belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Dere güzergahında herhangi bir en kesitte iki farklı döneme ait en kesitlerin karşılaştırılması

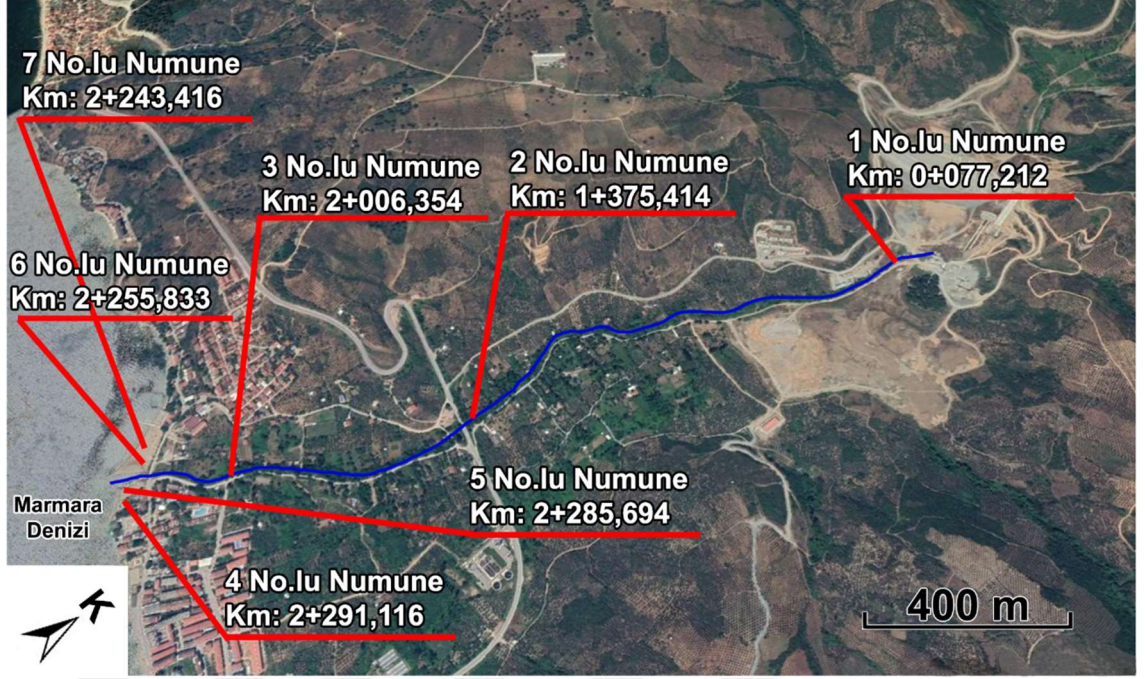
3.2.1.2. Alansal Haritaların Oluşturulması

Hacimsel değerlendirmelerin ardından, alansal bazda dere yatağı güzergahı boyunca nasıl bir değişimin görüldüğü, oyulma ve yığılma bölgelerinin nerede ve ne seviyede gerçekleştiğini tespit edebilmek için alansal haritalar oluşturulmuştur. Arazide yapılan topoğrafik ölçümler sonucunda elde edilen noktasal veriler sayısal yükseklik modelleri oluşturulması için kullanılmıştır. ArcGIS 10.5 programında bulunan Alansal Analiz (Spatial Analyst) modülünde yer alan Kriging metodu ile bu noktasal veriler alansal haritalara dönüştürülmüştür. Arun (2013) tarafından bir dere güzergahı boyunca farklı metotları denemiş ve bu gibi bölgelerde kullanılacak en iyi metodun Kriging olduğunu ortaya koymuştur. Alansal haritalarda her bir piksel değeri $10^{-5} \times 10^{-5}$ derecelik bir alanı kapsamakta ve her bir alansal harita yaklaşık 90 000 pikselden oluşmaktadır.

Her bir dönem için oluşturulan haritalar incelenmek istenilen dönemler için kübaj hesaplamaları ile benzer, son alım – ilk alım olacak şekilde fark haritalarına dönüştürülmüştür. Bu işlem yine ArcGIS içerisinde yer alan Minus metodu ile yapılmıştır. Dönemler arası farkı içeren sayısal yükseklik modellerini ortofoto üzerine yerleştirilerek nihai alansal haritalar oluşturulmuştur.

3.2.2. Elek Analizi

Bu çalışma kapsamında Mayıs 2017, Haziran 2019 ve Ocak 2021 tarihlerinde olmak üzere üç farklı zaman periyodunda Büyükkumla Deresi'nden 7 farklı noktada zemin formasyonunu irdelemek ve varsa değişimlerin hangi oranda olduğunu tespit edebilmek için alınan numuneler üzerinde elek analizi deneyleri yapılmıştır. İki dönem arasındaki nehir yatağındaki değişimin zemin cinsinden belirlenmesi için her iki dönemde de aynı noktalarda numuneler alınmıştır. Dere yatağından alınan numunelerin yerleri Şekil 3.19'da görüldüğü üzere uydu görüntüsü kullanılarak işaretlenmiştir.



Şekil 3.19. Numune alım noktalarına ait uydu görüntüsü

Büyükkuşla Barajı mansabındaki dere yatağı üç kısma ayrılarak incelendiğinden, her bir kısmı temsil edecek şekilde birer numune alınması ayrıca nehir yatağının denize birleştiği bölgede ise sağ ve sol sahillerde ikişer adet olmak üzere dört noktadan daha numune alımı yapılmıştır. Her bir dönemde dere güzergahı boyunca üç, derenin deniz ile birleştiği bölgede dört adet olmak üzere toplam 7 adet numune alınmıştır. Çizelge 3.4'te numune alım koordinatları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Numune alınan noktaların koordinat çizelgesi

Numune No	Y	X	KM
N.1	422 980,480	4 484 961,700	0+077,212
N.2	422 785,884	4 483 769,893	1+375,414
N.3	422 596,169	4 483 203,961	2+006,354
N.4	422 516,970	4 482 944,910	2+291,116
N.5	422 505,810	4 482 954,190	2+285,694
N.6	422 436,390	4 483 007,850	2+255,833
N.7	422 421,420	4 483 025,700	2+243,416

Dere yatağından alınan numuneler DSİ 1. Bölge Müdürlüğü Kalite ve Kontrol Şubesi Laboratuvarı'nda değerlendirilmiştir. Bu nedenle, numunenin alınma şekli, nakli ve tüm deney süreci DSİ Kalite ve Kontrol Dairesi Başkanlığı'nın kabul ettiği ve uyguladığı

standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 2017 yılı deneylerinde TS1900 ve TS1900-1 standardı kullanılmış olup bu standart 2019 yılında TS EN ISO 17892-4 olarak güncellenmiştir. 2021 yılı deneylerinde de son geçerli standart olan TS EN ISO 17892-4 kullanılmıştır. Numune alma sürecinde önceden belirlenen noktalarda kürek, kazma, el burguları ve küçük iş makineleri kullanılarak numuneler ellişer kilogramlık torbalara konulmuştur. Her bir noktada ortalama 50 cm derinlik ve 50 cm yarıçap genişliğinde açılan bölgelerden numuneler alınmıştır. Çizelge 3.4’te belirtilen noktalarda numune alım işlemine ve alınan numunelere ait fotoğrafları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

Alınan numunelerin ihtiva ettiği zemin danelerinin boyutlarını ve dağılımlarını belirlemek amacıyla dane çapı dağılım analizi yapılmıştır. Bu analiz yapılırken elek takımından yararlanılmıştır. Kullanılan elek takımında TS1900-1 standardına göre 75 mm (3 inç), 38 mm (1,5 inç), 19 mm (3/4 inç), 9.5 mm (3/8 inç), 4.75 mm (No 4), 2.00 mm (No 10), 1.19 mm (No 16), 0.59 mm (No 30), 0.42 mm (No 40), 0.149 mm (No 100), 0.075 mm (No 200) olmak üzere 11 farklı elek mevcuttur. 2019 yılında ise TS EN ISO 17892-4 standardına geçilerek 75 mm (3 inç), 63 mm (2.5 inç), 38 mm (1,5 inç), 20 mm (4/5 inç), 9.5 mm (3/8 inç), 6.3 mm (1/4 inç), 4.75 mm (No 4), 2.00 mm (No 10), 1.19 mm (No 16), 0.63 mm (ISO), 0.425 mm (No 40), 0.20 mm (ISO), 0.075 mm (No 200) ve 0.063 mm (No 230) olmak üzere 14 farklı elek içeren bir takım kullanılmıştır (TSE Teknik Kurul, 2016).



Şekil 3.20. Numune alım işlemi ve alınan numuneler



Şekil 3.21. TS EN ISO 17892-4 standardı elek takımı

Laboratuvara getirilen numuneler öncelikle her birisi ayrı ayrı çuvallarından çıkarılmış ve doğal ortama serilerek organik maddelerden arındırıldıktan sonra su muhtevasının kuruması sağlanmıştır. Doğal olarak kurutulan ve topaklanmaları ayrıştırılan numune çeyrekleme ve yarılama yöntemi ile istenilen miktara kadar homojen olarak azaltılarak eleğe uygun hale getirilmiştir. En büyük elek çapı olan 75 mm'den büyük çaplara sahip numuneler ayrıştırılarak tartılmış ve kenara ayrılmıştır. Geriye kalan numune bir tavaya serilmiş ve üzerine iç boşlukları dolduracak ve üstünü örtecek kadar su ilave edilmiştir. Bu su içerisine litre başına 2 g olacak şekilde sodyum heksametafosfat ilave edilmiştir. Su içerisindeki numune aralıklarla karıştırılarak bir gün bekletilmiş birbirine yapışan danelerin dane çapına zarar verilmeden ayrıştırılması sağlanmıştır. Daha sonra, yıkama işlemine geçilmiş ve 0,075 mm göz açıklıklı 200 no.lu eleğin zarar görmemesi için 4,75 mm göz açıklıklı 4 no.lu elek konulmuştur. Tavada bulunan numune azar azar su ile birlikte 4 no.lu elek üzerinden boşaltılmıştır. 4 no.lu elek üzerinde kalan malzeme başka bir tavaya ayrılmıştır. 0,075 mm göz açıklıklı elekte kalan malzeme karıştırılarak altta kalan su berraklaşana kadar yıkanmıştır. 0,075 mm göz açıklıklı eleğin üzerinde kalan malzemelerde daha önceki ayrılanların bulunduğu tavaya ilave edilmiştir. Yıkama işlemi bittikten sonra tavadaki malzeme 105 °C'lik etüvde 24 saatte kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan malzeme eleme işlemine tabii tutulmuş ve her bir elekte kalan malzemeler

tartılmıştır. Daha sonra, bu değerler deneyde kullanılan toplam numune ağırlığına bölünerek elde edilen değer 100 ile çarpılmış ve yüzde olarak geçen-kalan miktarlar bulunmuştur (Denklem 3.1). Bu işlem her elek için ayrı ayrı yapılmıştır.

$$\% \text{ cinsinden geçen miktar } P = \frac{\text{Geçen miktar (gr)}}{\text{Toplam miktar (gr)}} \times 100 \quad (3.1)$$

Bulunan değerler elek analizi grafiğine işlenerek granülometrik eğri çıkartılmıştır. 4,75 mm elek üzerinde kalan malzeme çakıl, 4,75 mm geçip, 0,075 mm'nin üstünde kalan malzeme kum, 0,075 mm'lik eleği geçen malzeme ise ince daneli malzeme (kil, silt) olarak adlandırılmaktadır.

Belirli çaplardaki dane gruplarının zeminin toplam kütesine oranla yüzde olarak belirtilmesi dane çapı olarak ifade edilmektedir. Dane boyu dağılım eğrisi yayvan olan zeminler farklı dane boyutlarında, dağılım eğrisi dik olan eğriler ise malzeme boyutunun daha az değişken olduğunu göstermektedir. İyi derecelenmiş (eş boyutlu) bir zeminde dane boyutları en büyüğünden en küçüğüne kadar her boyutta her neredeyse eşit temsil edilmektedir. En büyük veya en küçük tane boyutlarında veya bazı sınırlar içerisinde kalan dane boyutları oranı çokluk gösteriyorsa bu durum kötü derecelenmiş bir zemini ifade ediyor demektir. Genel olarak zemin sınıflandırması dane çapı dağılımındaki yüzde oranı ağırlıkları dikkate alınarak yapılmaktadır (Canpolat, 2010). Burada esas alınan 4 no.lu elek üstü malzeme oranıdır. 4 no.lu elek üstü çakıl, 4 no.lu elek altında kalan kısım ise kum olarak adlandırılmıştır. Zeminin en ince %10'luk bölümünün en büyük dane çapı "efektif çap" olarak adlandırılmakta ve D_{10} simgesiyle gösterilmektedir. İyi derecelenmiş malzemeler işlenebilir ve kolay kazılıp sıkıştırılabilir. Zeminlerde boyutların sınırı genişledikçe sıkıştırılabilirlik değerinde bir azalma, kayma direncinde ise artma göze çarpmaktadır. Bir malzemenin iyi ya da kötü derecelenmiş olduğunu anlamak için dane dağılım eğrisinin eğimini ve biçimini açıklayan katsayılar mevcuttur. Bu katsayılar üniformluk ve süreklilik (eğrilik) katsayılarıdır. Dane çapı dağılımı eğrisinden %60'a karşılık gelen çapın (D_{60}), efektif çapa oranı üniformluk katsayısı (C_U) olarak gösterilmektedir (Denklem 3.2). Ayrıca, elek analizlerinde elde edilen sonuçlar

kullanılarak dane çapı dağılım eğrisinden %60, %30 ve %10'a karşılık gelen değerler kullanılarak süreklilik (eğrilik) katsayısı da elde edilebilmektedir (Denklem 3.3).

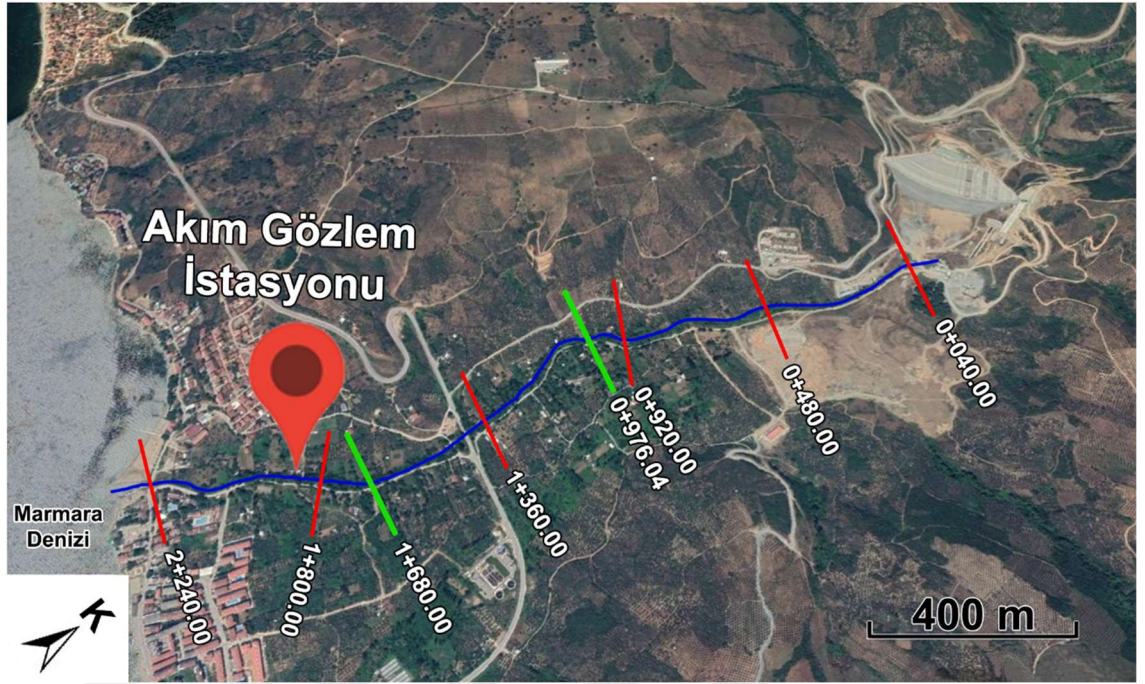
$$C_U = D_{60} / D_{10} \quad (3.2)$$

$$C_r = D_{30}^2 / D_{60} * D_{10} \quad (3.3)$$

3.2.3. Sediment Ölçümü

Büyükkuşla Deresi'nde doğal akış nedeniyle memba tarafından mansaba doğru taşınan sediment miktarının hangi seviyede olduğunun bilinmesine yönelik olarak 2020 yılı Ocak ayı itibari ile bu tez çalışması kapsamında DSİ 1. Bölge Müdürlüğü tarafından düzenli olarak her ay numune alımı yapılmıştır. Alımlar, DSİ Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı tarafından belirlenen numune alım metotları ve değerlendirme sürecine uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Büyükkuşla Deresi üzerinde bulunan ve Şekil 3.22'de yeri gösterilen DSİ'ye ait D02A088 no.lu AGİ'nin bulunduğu noktada numune alımları yapılmıştır.

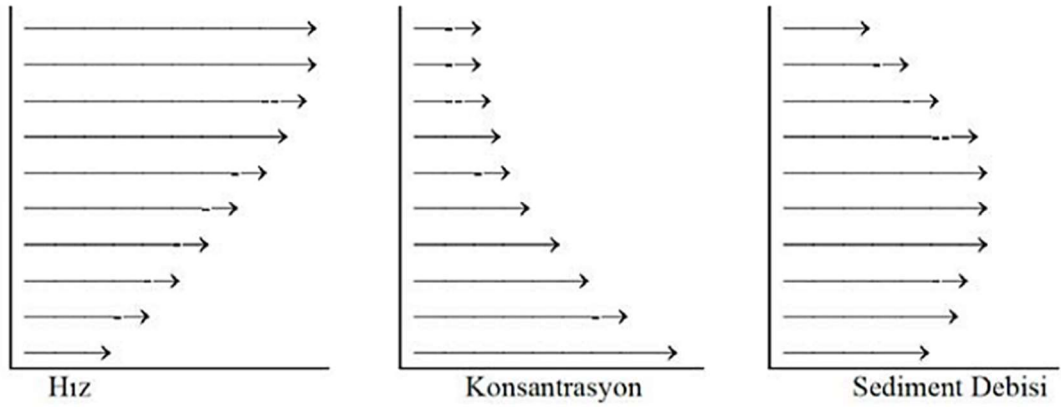
Bir akarsu içerisinde akım ile taşınan katı madde konsantrasyonu akarsu en kesiti içerisinde her noktada farklılık göstermektedir. Bu nedenle hız, konsantrasyon ve sediment debisi ilişkisinin doğru belirlenmesi için iki çeşit numune alma yöntemi bulunmaktadır. İlk yöntem noktasal numune alma yöntemi olup bu yöntemde akarsuyunun herhangi bir kesitinde sadece tek bir noktaya bakılmaktadır. İkinci yöntem olan derinlik entegrasyon metodunda ise bir en kesit boyunca farklı derinliklerden en az 6 numune alınarak tüm kesit temsil edilmeye çalışılmaktadır. DSİ tarafından uygulanan yöntem "derinlik entegrasyon metodu" olup her dönemde aynı kesitten numune alımları bu metot dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.22. Akım gözlem istasyonu konum haritası

Bir akarsu da su yüzeyinden tabana doğru inildikçe kesitin hızı, konsantrasyonu ve sediment debisi Şekil 3.23'te gösterilen oklar yönünde değişim göstermektedir. Akarsu yatağında tabanda hızın azalmasına rağmen konsantrasyon artmaktadır. Sediment debisi ise hız ve konsantrasyon değerlerinin yaklaşık olarak ortalamasına ulaşmaktadır. Derinlik entegrasyon metodu da bu ilkeye dayalı olarak aynı en kesit boyunca her bir dikey dilimden farklı derinliklerde geçen katı maddelerin miktarını belirlemek için en uygun yöntemdir. Bu yöntemde, öncelikle AGİ'nin bulunduğu noktada akım ölçümü yapılmıştır. Yapılan bu ölçüm sonucu elde edilen debi değeri uzun dönemli alımlarla kıyaslanmış ve ortalama değerinin altında kalıyorsa en kesit boyunca 6 bölüme, ortalama değerinin üzerinde ise en kesit boyunca 10 bölüme ayrılarak numune alımı yapılmıştır. En kesitte 6 veya 10 parçaya bölünen her bir bölümden geçen debinin miktarı, su derinliği ve akımın hızının ölçülmesi işlemi ile belirlenmiştir. Bu işlemler öncesinde ölçüm yapılacak kesitin yerine şerit metre yardımı ile bir düzlem oluşturularak bölümlerin net bir şekilde ayrılması sağlanmıştır (Şekil 3.24). Öncelikle, su derinliği her bir bölüm için ayrı ayrı tespit edilmiştir (Şekil 3.25a). Daha sonra, bu parçalarda suyun hızını ölçebilmek için muline adı verilen cihaz yardımıyla Şekil 3.25b'deki gibi hızlar ölçülmüş ve buradan hareketle kesitten geçen toplam anlık debi belirlenmiştir. Debi belirlendikten sonra, Şekil

3.26’da gösterilen deney tüpleri düzeneğe yerleştirilerek en kesitte yer alan her bir bölümü temsil edecek şekilde su numuneleri alınmıştır. Alınan her bir numune tüpü üzerine numuneye ait bilgiler yazılmış (Şekil 3.27) ve bu numunelerin tamamı ağzı kapalı bir şekilde özel bir sandığa yerleştirilmiştir. Numune alımları sırasında ölçülen hız ve su derinliği gibi bilgiler akım ölçüm notları formuna işlenmiş ve bu formlar ile birlikte numune sandığı laboratuvara gönderilmiştir.



Şekil 3.23. Hız-Konsantrasyon-Sediment Debisi ilişkisi (DSİ, 2019)



Şekil 3.24. D02A088 no.lu AGİ ve numune alım en kesiti yeri



Şekil 3.25. Su derinliği ölçümü ve akım ölçer (muline) yardımıyla kesit hızlarının belirlenmesi



Şekil 3.26. Sediment numune alımı ve kullanılan deney ekipmanları



Şekil 3.27. Sediment numunesi alımı sırasında kullanılan tüpler

Laboratuvara gelen numuneler filtrasyon işlemine tabii tutulmaktadır. Bu işlem için filtre kağıdı kullanılmıştır. Her bir numune tüpünün filtre kağıtlarından süzülmesi sağlanmış

ve filtre kağıdı üzerinde kalan katı madde 105 °C kurutma fırınında 2 saat bekletildikten sonra sediment miktarı (kum+kil+silt) bulunmuştur. Daha sonra, sediment konsantrasyonu aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

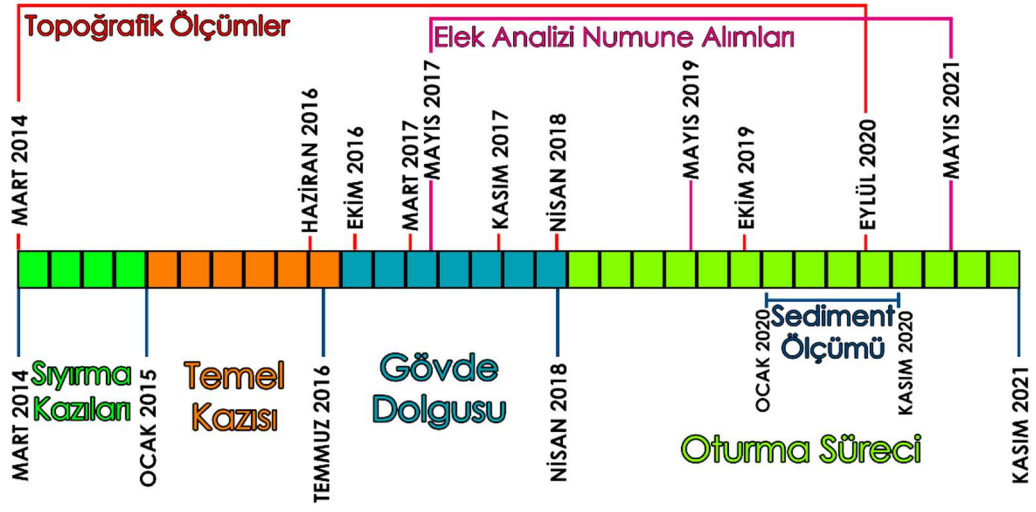
$$\text{Sed. Konsantrasyonu (C), ppm} = \frac{\text{Net Sediment (kum + kil + silt) Ağırlığı} \times 10^6}{\text{Sediment Örnek (su + sediment) Ağırlığı}} \quad (3.4)$$

İstasyona ait askıdaki sediment miktarı (ton/gün) toplanan numunelerin konsantrasyon (ppm) değeri ile debi değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_s = Q * C * 0,864 \quad (3.5)$$

Burada; Q_s akarsudan geçen günlük sediment miktarını (ton/gün), Q numune alımı sırasında ölçülen akımı (m^3/s) ve C laboratuvarda hesaplanan sediment konsantrasyonunu (ppm) göstermektedir. Numunelere ait konsantrasyon değerleri belirlendikten sonra elek analizi yöntemi kullanılarak kum, silt ve kil içeriklerine ait dane çapı sınıflandırılması yapılmıştır. Bu işlemde 0,0625 mm göz açıklıklı elek kullanılmış ve elek üstünde kalan malzeme kum, geçen malzeme ise kil + silt olarak sınıflandırılmıştır. Kil, silt ve kum miktarları ile debi değerleri arasında bir ilişki kurularak sediment anahtar eğrisi çıkartılmıştır. Bu sayede, debi değerleri bilinen ancak sediment ölçümü yapılmayan günlere ait sediment hesabının yapılması mümkün olmuştur.

Baraj inşaat çalışmaları, topoğrafik ölçüm dönemleri, elek analizi için numune alım tarihleri, sediment ölçüm periyodu bir bütün halinde Şekil 3.28’de sunulmaktadır.



Şekil 3.28. Çalışma bölgesinde sahada yapılan işlere ait kronolojik cetvel

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, öncelikle çalışma bölgesi için alımı gerçekleştirilen topoğrafik ölçümlerin altışar aylık ve yıllık değerlendirmeleri sunulmuştur. Topoğrafik ölçümlerden elde edilen farklı periyotlardaki oyulma ve yığılma miktarlarının değişimleri öncelikli olarak irdelenmiştir. Farklı dönemlerdeki bu oyulma ve yığılma miktarlarının kazı ve dolgu faaliyetleri, yağış ve debi ile ilişkileri araştırılmıştır. Kesitlerde hesaplanan oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri de altışar aylık ve yıllık periyotlarda incelenmiş ve ayrıca farklı dönemlerdeki okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları çıkartılmıştır. Farklı dönemlerdeki ve bazı kesitlerdeki en kesit değişimleri ile farklı dönemlerdeki boy profil değişimleri irdelenmiştir. Farklı bölgelerdeki dane çapı dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi çalışması yapılmıştır. Sediment anahtar eğrisi çıkartılarak oluşan etkinin doğal akış nedeni ile mi yoksa baraj faaliyetleri sonucunda mı oluştuğu belirlenmiştir.

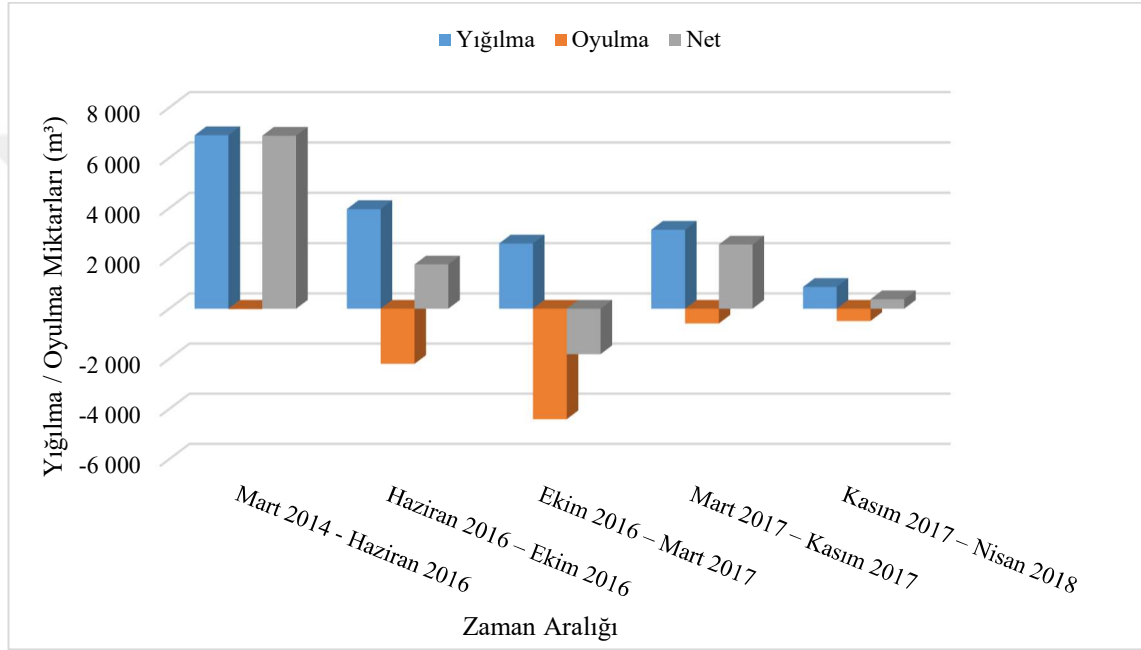
4.1. Büyükkumla Deresi'nde Yapılan Topoğrafik Ölçümlerden Elde Edilen Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Değişimleri

4.1.1. Altı Aylık Değişimler

Büyükkumla Deresi'nde Büyükkumla Barajı dolusavak deşarj kanalı çıkışı ile Marmara Denizi giriş ağzı arası için morfolojik ölçümler altışar aylık periyotlarda kıyaslanmıştır. Oyulma ve yığılma miktarlarının sebepleri, dikkate alınan zaman aralıklarında şantiye sahasında yapılan faaliyetler (kazı ve dolgu), yağış miktarları (aylık maksimum ve toplam yağışlar) ve debi değerleri (aylık maksimum ve ortalama) arasındaki ilişkiler incelenerek irdelenmiştir. Daha sonra, boy kesiti boyunca üç farklı bölge için tespit edilen altışar aylık dönemlerdeki toplamda oluşan net değişimler birbiri ile kıyaslanmıştır.

Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için altışar aylık dönemlerdeki toplam oyulma ve yığılma miktarları Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bu şekle göre, Haziran 2016 ile Ekim 2016 en kesit ölçümleri arasında 1. kısımda toplamda 2 201 m³'lük bir oyulmanın ve 3 964 m³'lük bir yığılmanın olduğu ve dolayısı ile bu bölgede bu periyotta net olarak 1 763 m³'lük bir yığılmanın gerçekleştiği görülmüştür. Ekim 2016 ile Mart 2017 arasında

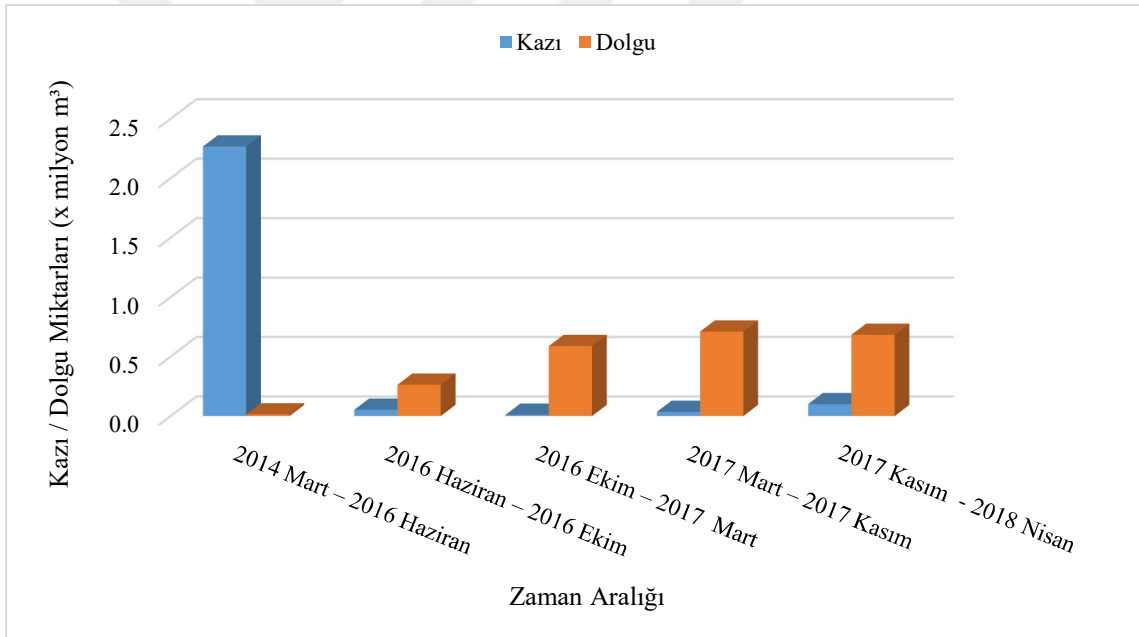
1. kısımda 4 408 m³ oyulma ve 2 593 m³'lük bir yığılma olduğu tespit edilmiş, 2017 yılı Mart ile 2017 Kasım arasında ise yine 1. bölgede 590 m³ oyulma ve 3 142 m³ yığılma en kesitlerde hesap edilmiş net olarak toplamda 2 552 m³'lük bir yığılmanın oluştuğu anlaşılmıştır. 2017 yılı Kasım ile 2018 yılı Nisan arasına bakıldığında, 1. kısımda çok fazla bir değişimin olmadığı artık katı madde hareketinin biraz daha stabil hale geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda, bu dönemde 1. kısımda 491 m³ oyulma ve 868 m³ yığılma ile net olarak bu dönemde bu bölgede 377 m³ sediment birikmesinin gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

Çalışma bölgesinin baraj gövdesinin hemen mansabındaki 1. kısımda farklı dönemlerdeki değişimleri açıklayabilmek için, dikkate alınan 6 aylık dönemlerde şantiye sahasında gerçekleştirilen faaliyetler neticesinde oluşan kazı ve dolgu miktarları incelenmiş ve sayısal bulgular Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Bu çizelgeden görülebileceği gibi, kazı faaliyetlerinin büyük bir kısmı Mart 2014 ve Haziran 2016 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu zaman aralığında neredeyse dolgu faaliyeti olmamıştır. Daha sonraki dönemlerde ise, dolgu faaliyetinin arttığı ve son yılda en üst seviyeye ulaştığı ve kazı faaliyeti olsa bile ilk iki yıldaki kazı miktarlarına kıyasla çok düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Bu çizelge ve şekle göre, baraj inşaatının 2014 yılı Mart ayı ile 2016

yılı Haziran dönemi arasında 2 267 491 m³ kazı imalatı gerçekleştiği ancak dolgu imalatının 13 600 m³ gibi düşük bir oranda kaldığı görülmektedir. Baraj inşaatı çalışmalarında 2 468 256 m³ toplam kazı gerçekleştiği dikkate alındığında kazı imalatının %92'lik kısmı Mart 2014 ile Haziran 2016 arasında gerçekleşmiştir. Bu nedenle, kazı nedeniyle zeminde oluşan örselenmiş yüzeyin bir kısmının dere yatağı mansabına doğru taşındığı ve bu taşınan malzemenin Şekil 4.1'de Mart 2014 – Haziran 2016 tarihleri arasında 1. kısım olarak nitelendirilen bölgede tespit edilen toplam 6 897 m³ yığılmanın ana kaynağının olduğu düşünülmektedir. Tüm diğer altışar aylık dönemlere bakıldığında, kazı faaliyetlerinin azalmasına paralel olarak yığılma miktarının da gitgide azaldığı tespit edilmekle beraber Çizelge 4.1'deki son altı aylık dönemdeki kazı faaliyeti artışının yığılmayı etkilemediği bunun nedeninin ise artık baraj gövdesinin çok derine inmesi olduğu sonucuna varılmıştır.



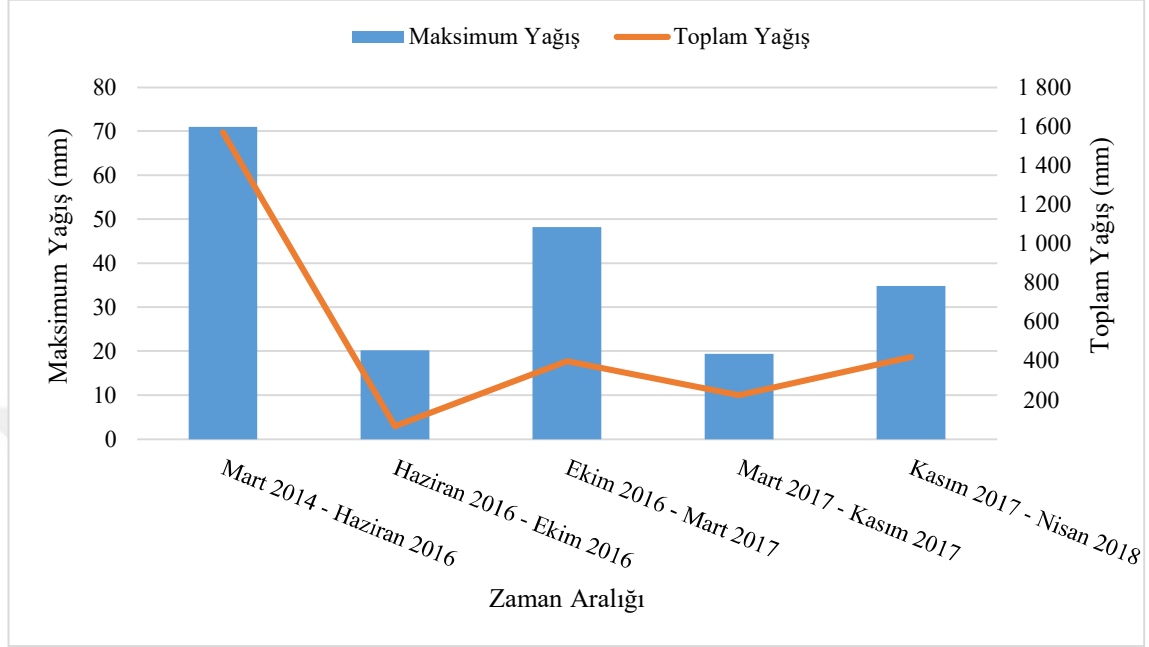
Şekil 4.2. Baraj İnşaatına ait Mart 2014– Nisan 2018 tarihleri arasında farklı altışar aylık dönemlerdeki kazı ve dolgu faaliyetleri

Çizelge 4.1. Baraj inşaatına ait Mart 2014 – Nisan 2018 tarihleri arasındaki kazı ve dolgu miktarları

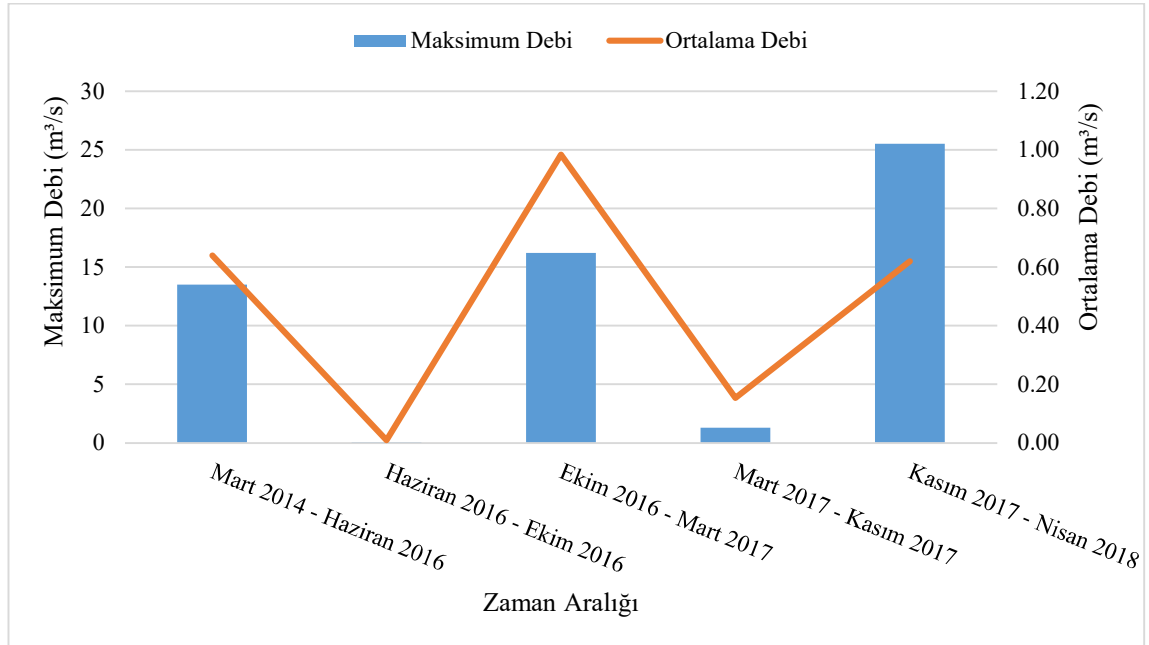
Ölçüm Dönemi	Ünite	Kazı Miktarı (m ³)	Dolgu Miktarı (m ³)
Mart 2014 – Haziran 2016	Gövde Sıyırma ve Temel Kazıları	1 841 676	
	Ulaşım Yolları Yapımı	242 197	
	Dolusavak ve Palyeleri	89 763	
	Tünel ve Portal Yapıları	21 463	
	Su Alma Yapısı	65 932	
	Memba ve Mansap Batardoları		13 602
	Kaya Ocağı Sıyırma Kazıları	6 461	
	Ara Toplam	2 267 492	13 602
Haziran 2016 – Ekim 2016	Gövde Sıyırma ve Temel Kazıları	7 590	
	Su Alma Yapısı	27	
	Kaya Ocağı Sıyırma Kazıları	45 161	
	Gövde Dolgusu		263 589
	Ara Toplam	52 778	263 589
Ekim 2016 – Mart 2017	Gövde Sıyırma ve Temel Kazıları	2 212	
	Ulaşım Yolları Yapımı	9 000	
	Gövde Dolgusu		588 911
	Ara Toplam	11 212	588 911
Mart 2017 – Kasım 2017	Dolusavak ve Palyeleri	35 678	
	Gövde Dolgusu		710 985
	Ara Toplam	35 678	710 985
Kasım 2017 – Nisan 2018	Gövde Sıyırma ve Temel Kazıları	96 520	
	Ulaşım Yolları Yapımı	3 451	
	Su Alma Yapısı	1 125	
	Gövde Dolgusu		683 563
	Ara Toplam	101 096	683 563
	GENEL TOPLAM	2 468 256	2 260 650

Çalışma bölgesindeki dere yatağı güzergahındaki Şekil 4.1’de sunulan yığılma ve oyulma miktarlarının sebeplerini araştırmak için öncelikle çalışma sahasına en yakın meteoroloji istasyonunda (Gemlik) ölçülmüş aylık maksimum ve toplam yağış yükseklikleri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiş ve çalışma periyotlarındaki değişimleri Şekil 4.3’te sunulmuştur. Ayrıca, DSİ Bursa Bölge Müdürlüğü’nce çalışma sahasının bulunduğu dere yatağı üzerinde baraj gövdesinin mansap tarafında gerçekleştirilen debi ölçümleri (D02A088 Nolu AGİ) temin edilmiş ve çalışma periyotlarındaki ortalama ve maksimum debi değişimleri Şekil 4.4’te verilmiştir. Şekil 4.3’ten görülebileceği gibi, en büyük maksimum ve toplam yağış henüz derivasyon tünelinin inşaatının tamamlanmadığı ve sıyırma kazılarının yapıldığı Mart 2014 – Haziran 2016 döneminde oluşmuştur. En düşük maksimum ve toplam yağış ise, sıyırma kazılarının çoğunun tamamlandığı Haziran 2016 – Ekim 2016 zaman aralığında gerçekleşmiştir. Şekil 4.4’ten yağışlarla dere yatağında oluşan akışlar arasında yüksek bir korelasyon olmadığı anlaşılmaktadır. En düşük yağışın olduğu dönemde akarsu yatağında da en düşük debi olduğu görülmektedir. Ancak, yağışın en yüksek yağdığı dönemde akarsu yatağında en yüksek debi gözlenmemiştir. Akarsuda en yüksek debi değerinin gözleendiği dönem ortalama debi için Ekim 2016 – Mart 2017 ve maksimum debi için ise Kasım 2017 – Nisan 2018 aralığıdır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 birlikte değerlendirildiğinde, çalışma periyodunun ilk döneminde sıyırma kazıları ile birlikte oluşan maksimum ve toplam yağışın diğer dönemlere nazaran fazla gelmesi sebebi ile ortalama ve maksimum debinin diğer dönemlere kıyasla daha düşük olmasına karşın bu dönemde çalışma sahasının 1. kısmında önemli miktarda yığılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Bir sonraki periyotta ise, yaz dönemine geçildiğinden hem yağışlarda hem de akışlarda azalma olmuş ve yığılma miktarında önemli bir azalış gerçekleşmiştir. Ancak, bu dönemde halen kazı faaliyetlerinin yoğun bir şekilde devam etmesi nedeniyle yığılma olayının da sürdüğü görülmektedir. Üçüncü periyot olan Ekim 2016 – Mart 2017 döneminde ise yığılmanın azaldığı ve önemli sayılabilecek bir miktarda oyulmanın olduğu, bunun kazı faaliyetleri hemen hemen tamamlanması, akarsu yatağının derivasyon tüneline çevrilmesi ve yağışlar ile akarsu debisinin artması nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Daha sonraki dönemlerde ise oyulma ve yığılma miktarlarının yağışlar ve dolayısı ile akışların artmasına karşın çok fazla değişken olmadığı, dolayısıyla baraj

inşaatının kazı faaliyetleri tamamlandıktan yaklaşık 2 yıl sonra akarsu yatağının dengesini bulduğu anlaşılmıştır.

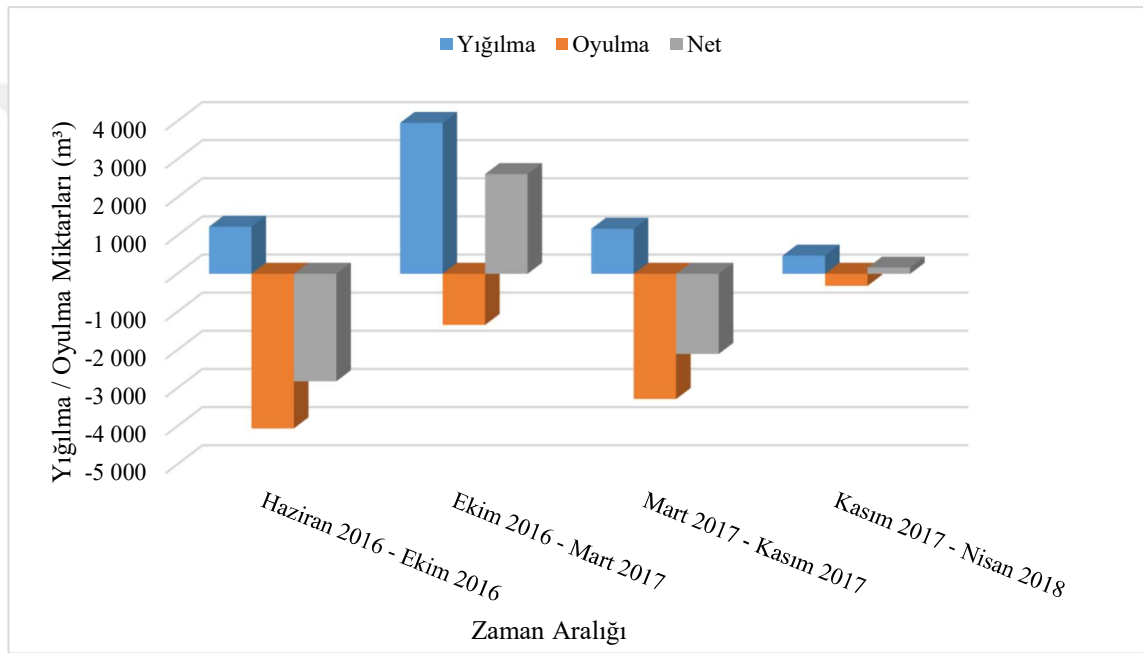


Şekil 4.3. Gemlik (17663) Meteoroloji İstasyonunda çalışma periyotlarında ölçülmüş aylık maksimum ve toplam yağış yükseklikleri (mm)



Şekil 4.4. Çalışma sahasında D02A088 Nolu AGİ için belirlenen farklı dönemlerdeki ortalama ve maksimum debiler (m³/s)

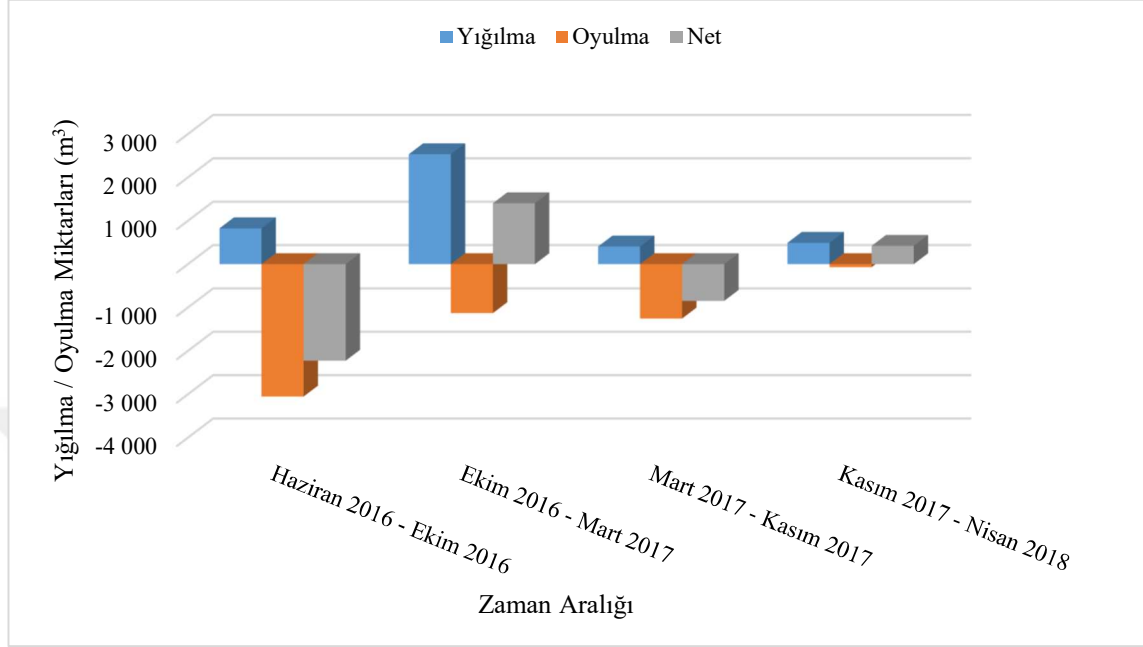
Dere yatağı güzergahında 2. kısım olarak adlandırılan 0+976,039 ile 1+680,000 km'leri arasındaki morfolojik değişim altışar aylık periyotlarda Şekil 4.5'te sunulmaktadır. Buna göre; 2016 yılı Haziran ve Ekim ayları arasında 2. kısımda toplamda 4 053 m³ oyulmanın ve 1 234 m³ yığılmanın olduğu tespit edilmiştir. Ekim 2016 ile Mart 2017 arasında ise 1 341 m³ oyulma ve 3 958 m³ birikme olduğu, yine Mart 2017 ile Kasım 2017 arasında yapılan ölçümlerde ise 3 282 m³ oyulma ve 1 180 m³ birikmenin olduğu belirlenmiştir. Kasım 2017 ile Nisan 2018 arasında ise 2. kısımda 314 m³ oyulma ve 477 m³ birikme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 2. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

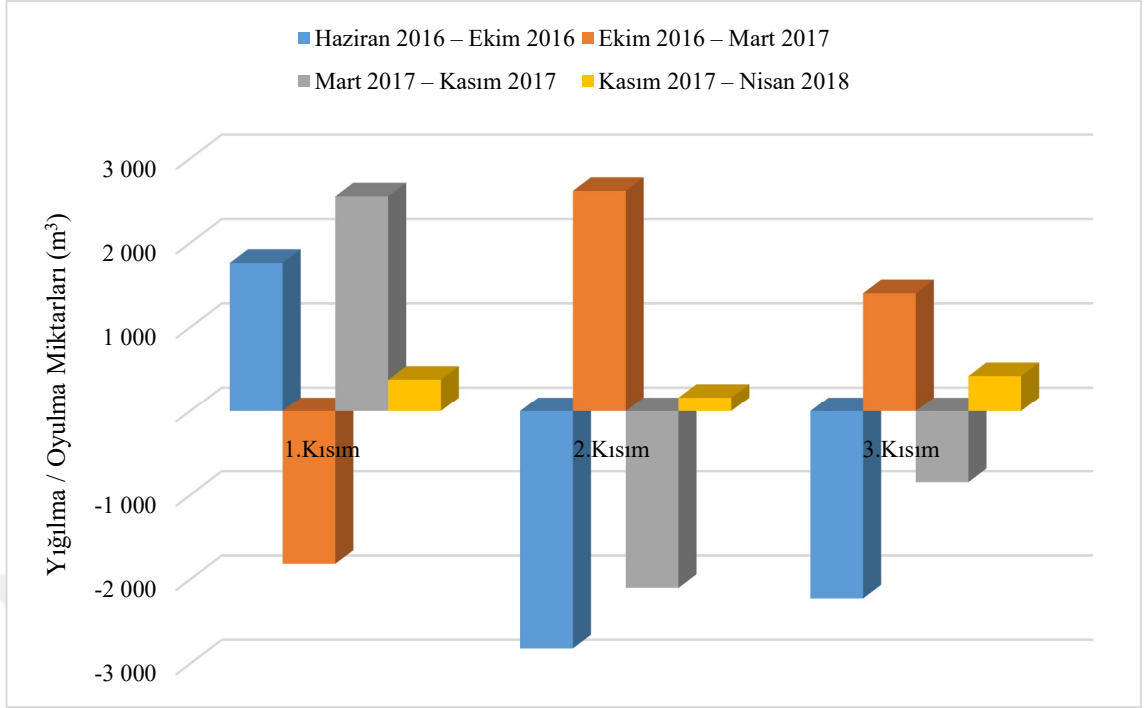
Söz konusu dere güzergâhının 3. kısmı olarak tanımlanan 1+680,000 ile 2+313,495 km'leri arasında oluşan değişim irdelendiğinde, Haziran 2016 – Ekim 2016 arasında kesitler boyunca 3 052 m³ oyulma ve 826 m³ birikme olduğu yani toplamda 2 226 m³ bir oyulma gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Ekim 2016 ile Mart 2017 arasında ise bu durumun değiştiği 1 130 m³ oyulma ve 2 533 m³ yığılma yani toplamda 1 403 m³ katı madde güzergâh boyunca yığılmıştır. Mart 2017 ile Kasım 2017 arasında aynı yıl içerisinde 1 252 m³ oyulma ile 405 m³ yığılma, oluşarak net 846 m³ oyulmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Kasım 2017 ile Nisan 2018 arasında 69 m³ oyulma ve 491

m³ birikme gerçekleşmiş, net olarak 422 m³ civarında bir katı madde birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 3. kısım için altışar aylık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

Büyükkumla Deresi'nin Marmara Denizi'ne döküldüğü bölgeyi kapsayan üç kısım arasında bir değerlendirme yapmak için, altı aylık periyotlarda üç farklı kısım için belirlenen toplam net oyulma veya yığılma miktarlarının değişimleri belirlenmiş ve Şekil 4.7'de sunulmuştur. Bu şekle göre, üç kısımda da ortak ölçüm aralıklarının ilkinde (Haziran 2016 – Ekim 2016) baraj dolusavak çıkışındaki ilk bölgede kazı faaliyetleri sonucunda yığılma, çalışma bölgesinin ortası olarak belirlenen kısımda üst bölgede oluşan yığılma neticesinde oyulma ve denize dökülen 3. kısımda ise üst kısımdaki gibi oyulma olmuştur. İkinci zaman diliminde (Ekim 2016 – Mart 2017) ise, 1. kısımda zaten bir önceki dönemde biriken malzeme devamı gelmediğinden dolayı derivasyon tüneline gelen temiz su akışı nedeniyle artık oyulmaya maruz kalmış, takibinde ise 2. ve 3. kısımda yığılma oluşmuştur. 3. zaman diliminde daha 1.kısımda yoğun miktarda yığılma olurken, 2. ve 3. kısımlarda oyulma gerçekleşmiştir. Son periyotta ise bütün dere yatağı boyunca az miktarda yığılmaların olduğu görülmektedir.

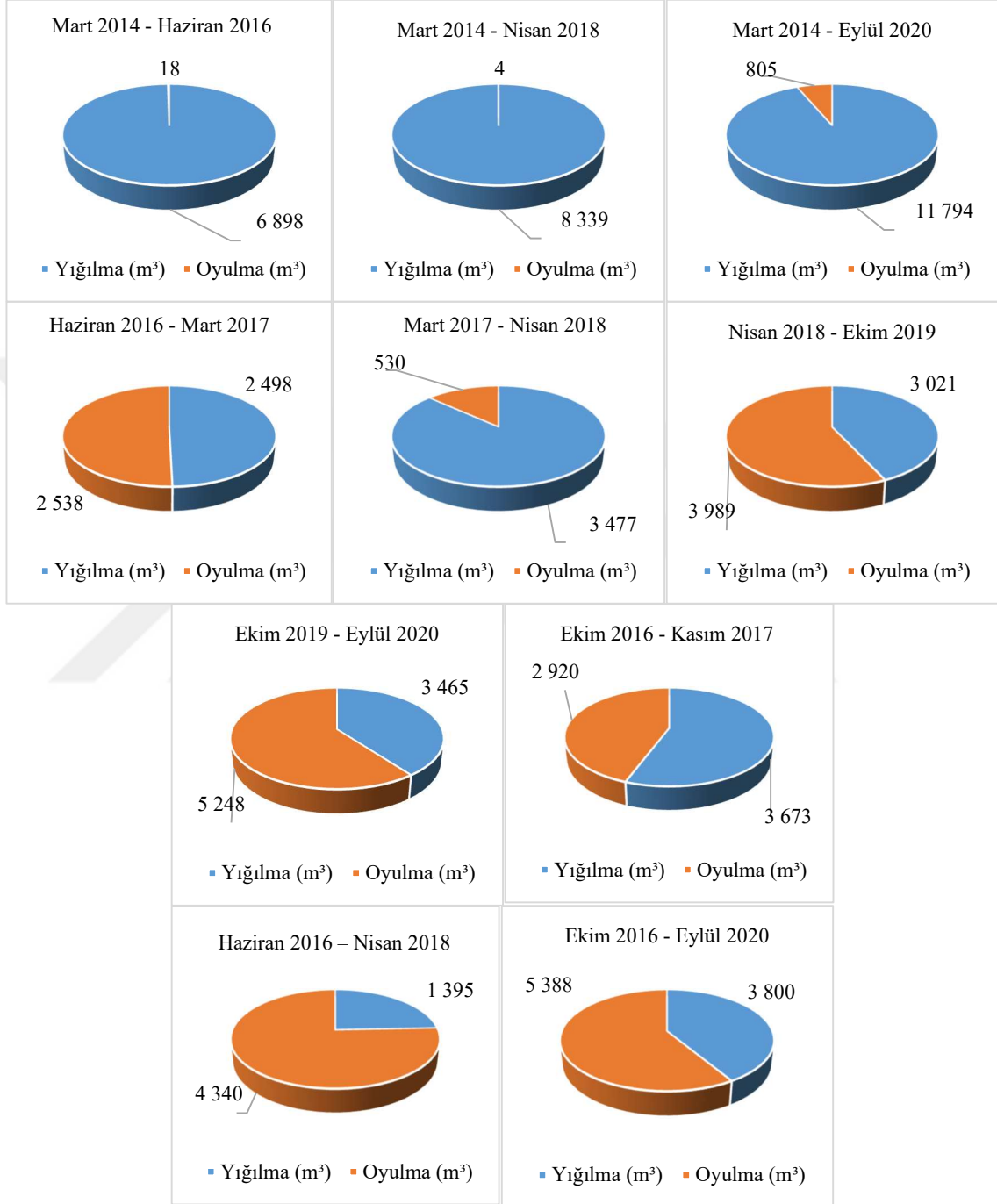


Şekil 4.7. Büyükkumla Deresi üzerinde çalışma bölgesi boy kesiti boyunca 6'şar aylık dönemlerde her 3 kısım için tespit edilen net değişim miktarlarının kıyaslaması (m^3)

4.1.2. Yıllık Değişimler

Bir önceki bölümde altışar aylık dönemlerde değerlendirilen morfolojik değişim bu bölümde yıllık periyotlar baz alınarak irdelenmiştir. Yıllık bazdaki değişimler için 10 farklı kombinasyon düşünülerek her bir bölge için toplamda oluşan oyulma ve yığılma miktarları belirlenmiş ve bu miktarlar kıyaslanarak farklı dönemlerde farklı durumların oluşma sebepleri araştırılmıştır. Şekil 4.8'de Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için farklı yıllık periyotlara ait oyulma ve yığılma miktarlarının değişimini verilmektedir. Buna göre, 1. kısımda 2014 yılı Mart ile 2016 yılı Haziran ayı arasında toplamda yaklaşık $18 m^3$ 'lük bir oyulma ve memba tarafından gelen katı maddenin taşınımı ile $6 897 m^3$ 'lük yığılmanın olduğu görülmüştür. Oyulma ve yığılma arasındaki fark dikkate alındığında, toplamda $6 879 m^3$ katı maddenin bu bölgede biriktiği anlaşılmaktadır. Haziran 2016 – Mart 2017 tarihleri arasında 1. kısımda dere yatağında $2 538 m^3$ oyulma ve $2 498 m^3$ yığılma ile yaklaşık $40 m^3$ 'lük bir net katı madde yığılmasının olduğu görülmüştür. Mart 2017 ile Nisan 2018 tarihleri arasında yapılan ölçümlere dayanılarak elde edilen hesap neticesinde 1. kısımda $530 m^3$ oyulma ve $3 477 m^3$ yığılma

ile bu bölgede bu zaman aralığında net 2 947 m³'lük bir yığılmanın olduğu tespit edilmiştir.

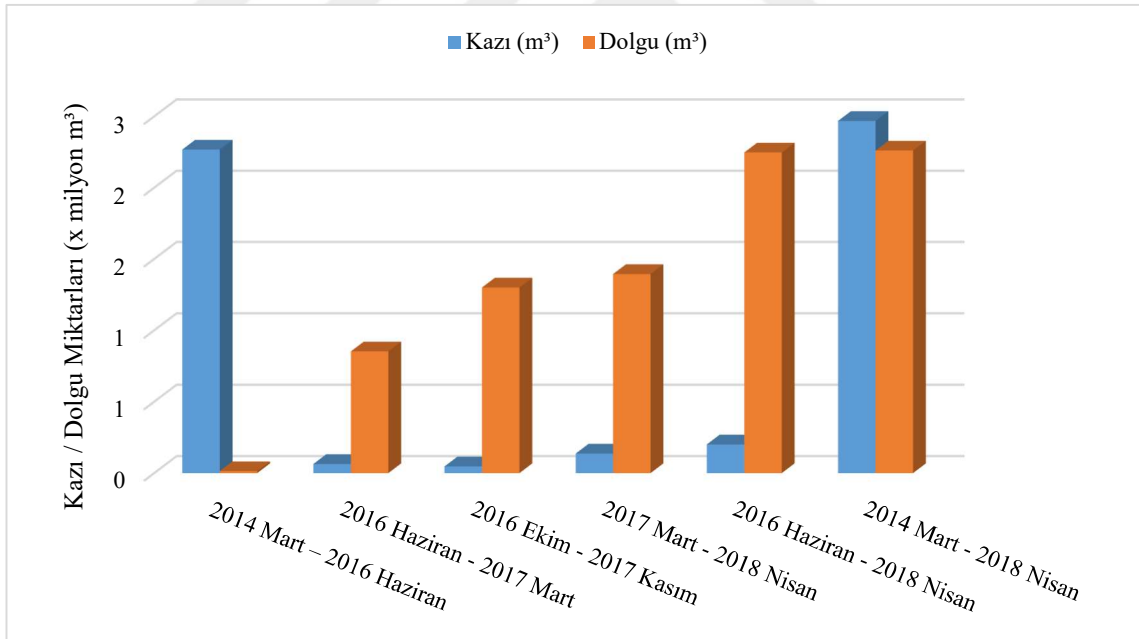


Şekil 4.8. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 1. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

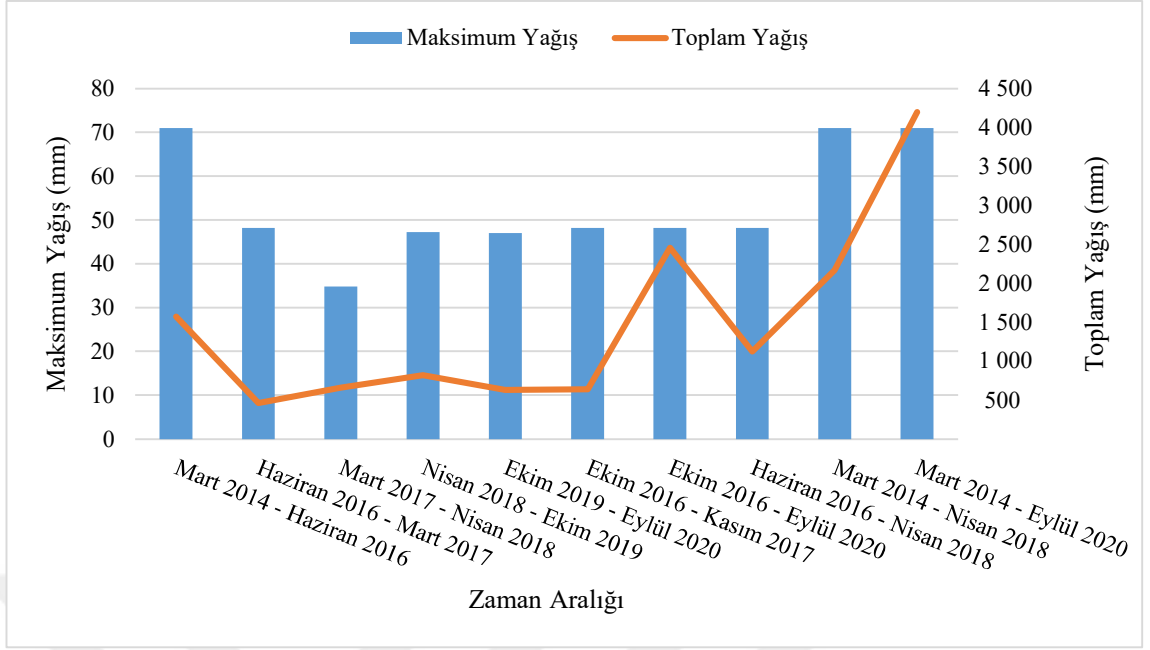
1. kısım için mevcut olan 2014 yılı Mart ayı ilk ölçüm verisi ile baraj inşaatı faaliyetlerinin sona erdiği 2018 yılı Nisan ayı ölçüm verileri arasındaki değerlerin mukayesesi yapıldığında, toplamda 4 m³ oyulma ve 8 339 m³ katı madde birikmesi olduğu ve böylece toplamda 4 yıllık bir periyotta 1. kısımda yıllık ortalama 2 084 m³'lük bir malzeme yığılmasının olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 4.8). Bu kısımda, dikkate alınan zaman periyotlarındaki oyulma ve yığılma miktarlarının şantiye sahasındaki kazı ve dolgu faaliyetleri ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Yığılmanın büyük bir kısmının (yıllık 3 449 m³, dört yıllık dönemdeki toplam yığılmanın %42'si) şantiyenin başlangıç safhalarındaki (Mart 2014 – Haziran 2016) kazı faaliyetleri (yaklaşık yıllık 1,13 milyon m³, dört yıllık dönemdeki toplam kazı faaliyetinin %46'sı) sonucu olduğu görülmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11'de sunulan yıllık yağış ve debi nedeniyle hareketlenen malzemenin ilk iki yıllık dönemde hemen baraj gövdesi mansabına taşınması neticesinde gerçekleştiği düşünülmektedir. Daha sonraki dönemlerde oluşan nispeten çok daha az bir yığılmanın devam etmesi neticesinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Haziran 2016 – Mart 2017 döneminde kazı faaliyetleri hemen hemen tamamlanmıştır (Şekil 4.9). Bu dönemde, diğer dönemlere kıyasla oluşan en yüksek yağış nedeniyle 1. bölgede daha önceki 2 yıllık dönemde zaten biriken malzemenin dere yatağının daha aşağılarına taşınması ile oyulmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum, Ekim 2016 – Kasım 2017 dönemindeki durumla da paralellik göstermektedir. Mart 2017 – Nisan 2018 döneminde ise, yine kazı faaliyetlerinin ve bu dönemde akarsu yatağında görülen ortalama debinin düşük seviyelerde seyretmesi nedeniyle yine bu dönemde en yüksek debi gözlenmesine karşın 1. bölgede toplamda yığılma miktarının arttığı görülmüştür. Şekil 4.8'de Mart 2014 – Nisan 2018 dönemine ait oyulma ve yığılma değişim grafiğinde 1. bölgedeki toplamalarının kıyaslaması sunulmaktadır. Bu grafikten de görülebileceği gibi, 4 yıllık dönem içerisinde toplamda 1. bölgede yığılmanın yaklaşık 8 339 m³ ile oldukça baskın olduğu görülmektedir.

Baraj inşaatında kazı ve dolgu faaliyetlerinin Nisan 2018 tarihinde sonlanmasına rağmen barajda su tutulma işlemine geçilmemiştir. Baraj gövdesinin oturma süreci için beklenmiştir. Bu süreçte derenin doğal akışı dipsavak derivasyon tüneli vasıtasıyla devam ettirilmiştir. Şekil 4.8'de Nisan 2018 – Ekim 2019 dönemine ait grafiğe bakıldığında 3 989 m³ oyulma, 3 021 m³ yığılma ve net olarak 968 m³ oyulma gözlenmiştir. Benzer

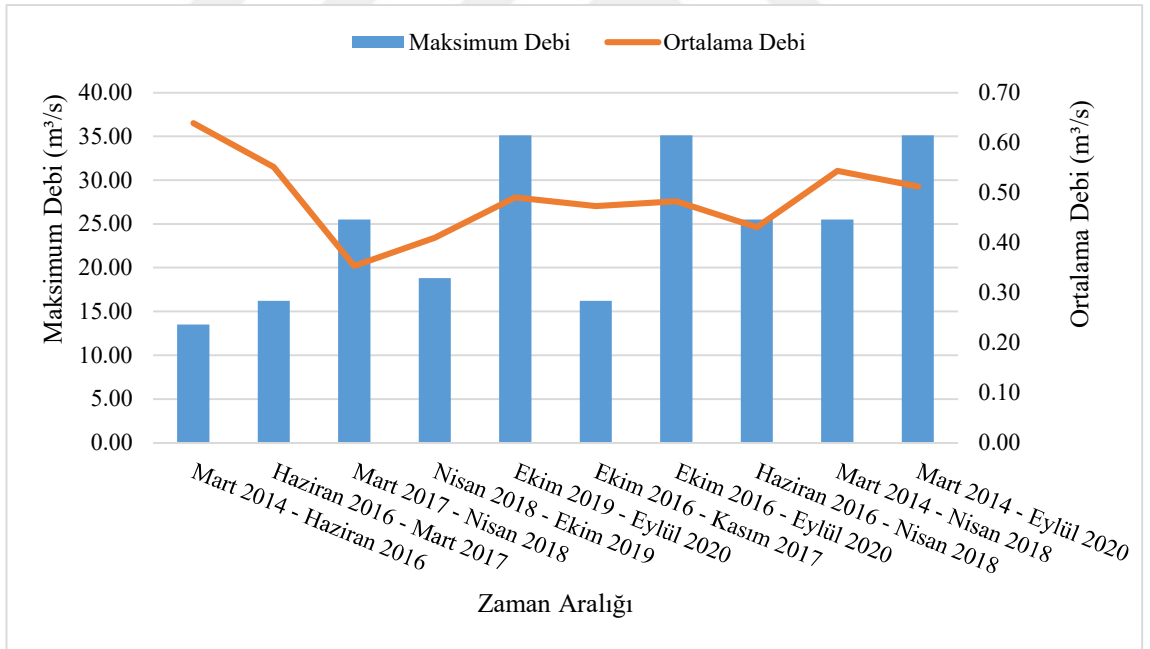
şekilde, bir sonraki dönem olan Ekim 2019 – Eylül 2020’de de 5 248 m³ oyulma, 3 464 m³ yığılma ve net olarak 1 784 m³ oyulma yönünde değişim gerçekleşmiştir. Bu dönemlerde, baraj inşaatında kazı ve dolgu hareketi olmaması nedeniyle malzeme barajın mansap tarafına taşınmamıştır. Bununla birlikte, Şekil 4.10’da yer alan 2016 ve 2017 yıllarındaki yağış eğilimlerine benzer bir durum meydana gelmiştir. Buna karşın, Şekil 4.11’de yer alan debi grafikleri incelendiğinde, Ekim 2019 – Eylül 2020 döneminde diğer dönemlere göre daha yüksek debi değerlerinin olduğu görülmektedir. Baraj inşaat faaliyetlerinin durması nedeniyle, geçmiş dönemlere göre baraj membasında serbest halde daha az malzemenin bulunduğu da dikkate alındığında dere yatağın 1. kısmında diğer dönemlerin aksine oyulma yönünde bir değişim gerçekleşmiştir. İlk ölçüm dönemi olan Mart 2014 ile son ölçüm dönemi olan Eylül 2020 arasını değerlendirildiğinde, oyulma miktarının 805 m³, yığılma miktarının ise 11 794 m³’tür ve net değişimin 10 989 m³’lük yığılma şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Baraj inşaatına ait Mart 2014 – Nisan 2018 tarihleri arasında farklı yıllık dönemlerdeki kazı ve dolgu hacimleri (m³)



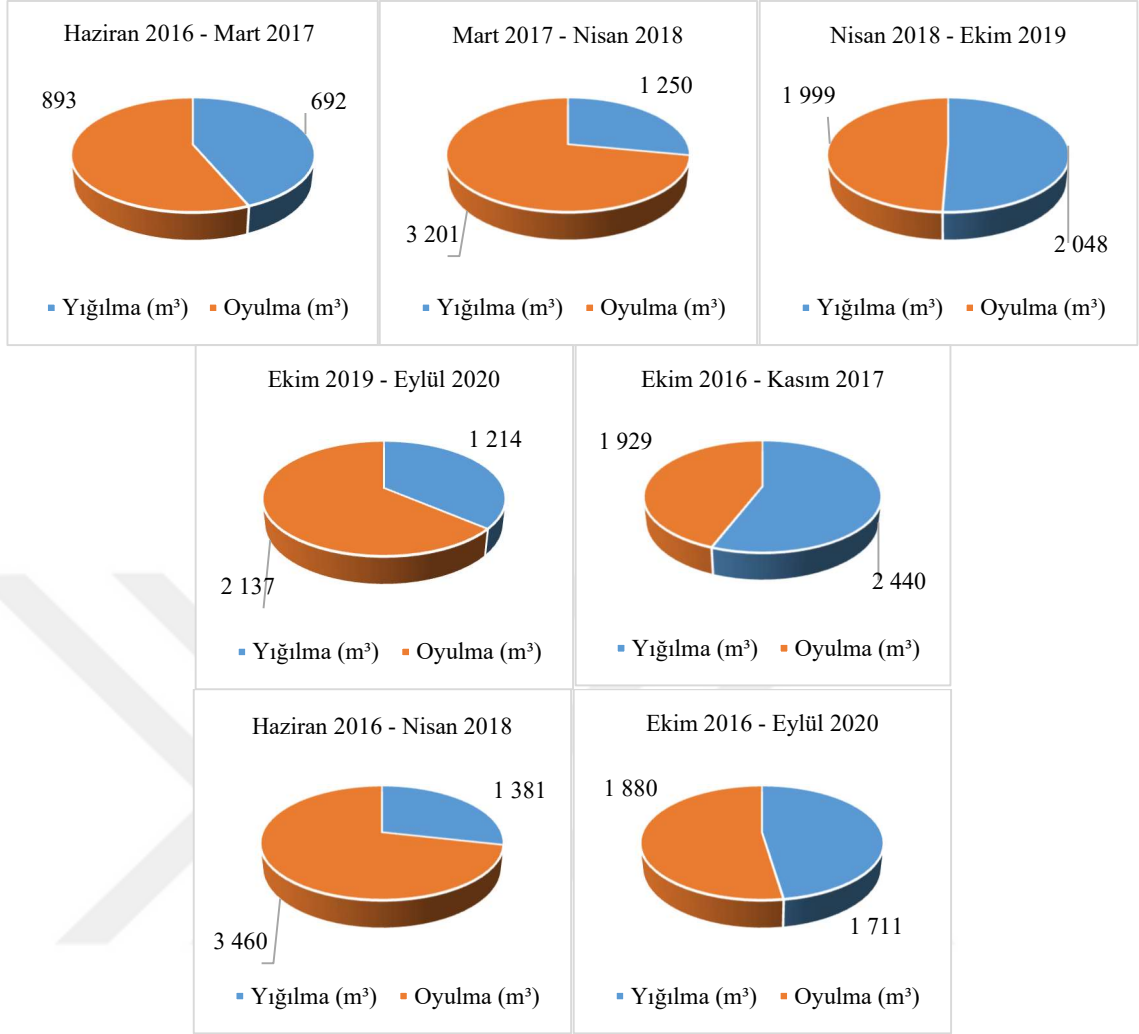
Şekil 4.10. Gemlik (17663) Meteoroloji İstasyonunda çalışma periyotlarında ölçülmüş maksimum ve toplam yağış yükseklikleri (mm)



Şekil 4.11. Çalışma sahasında D02A088 Nolu AGİ için belirlenen farklı yıllık dönemlerdeki ortalama ve maksimum debiler (m³/s)

Çalışma bölgesinde 2. kısım olarak nitelendirilen bölgede de 1. kısımda olduğu gibi yıllar arasında dere yatağındaki değişim incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu şekle göre, Haziran 2016 ile Mart 2017 arasında 893 m³'lük bir oyulma ve bununla

birlikte aynı bölge için 692 m³ yığılma olduğu görülmüştür. Mart 2017 ile Nisan 2018 arasında ise yaklaşık bir yıllık periyotta 3 201 m³ oyulma ve 1 250 m³ yığılma olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerin ilki olan 2016 Haziran ayı ile 2018 Nisan ayı arasındaki değişim incelendiğinde, yaklaşık bu 2 yıl içerisinde toplamda 3 460 m³ oyulma ve 1 381 m³'lük bir yığılma olduğu toplamda 2 079 m³'lük bir oyulmanın söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Haziran 2016 – Mart 2017 döneminde hem 1. hem de 2. bölgede oyulma ve yığılma miktarlarının dengeli olduğu görülmekle birlikte bir sonraki yıl olan Mart 2017 – Nisan 2018 döneminde 1. bölgede meydana gelen oyulma yönündeki hareket nedeniyle 2. bölgede yığılmanın hakim olduğu sonucu çıkarılmıştır. Her iki bölgedeki ortak başlangıç ve bitiş tarihleri baz alındığında (Haziran 2016 – Nisan 2018) 1. bölgede hakim olan oyulma neticesinde 2. bölgede yığılma hakimiyetinde bir durumun oluştuğu belirlenmiştir. Nisan 2018 – Ekim 2019 dönemi, önceki dönemlerden farklı olarak yığılma ve oyulmanın hemen hemen eşit ve dengeli hale geldiği bir dönem olmuştur. Bu dönemde 1 999 m³ oyulma, 2 048 m³ yığılma gerçekleşmiştir. Bir sonraki ve son ölçüm dönemi olan Ekim 2019 – Eylül 2020 arasında ise 2 137 m³ oyulma, 1 214 m³ yığılma gerçekleşerek net 923 m³ oyulma olmuştur. Bu dönemin çalışma takviminde yer alan diğer dönemlere göre Şekil 4.11'de verilen maksimum ve ortalama debi değerlerinin en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu yüksek debi değerlerinin bu bölgede oyulma eğiliminin 1. bölgede olduğu gibi devam ettirdiği anlaşılmaktadır. Bu bölgede, Ekim 2016 – Eylül 2020 aralığında bütüncül inceleme yapıldığında ise 1 880 m³ oyulma, 1 711 m³ yığılma meydana geldiği hesaplanmıştır. Bu durum, dere yatağının bu süreç içerisinde toplamda yığılma ve oyulma yönünde dengeye ulaşmaya çalıştığını açıkça göstermektedir.

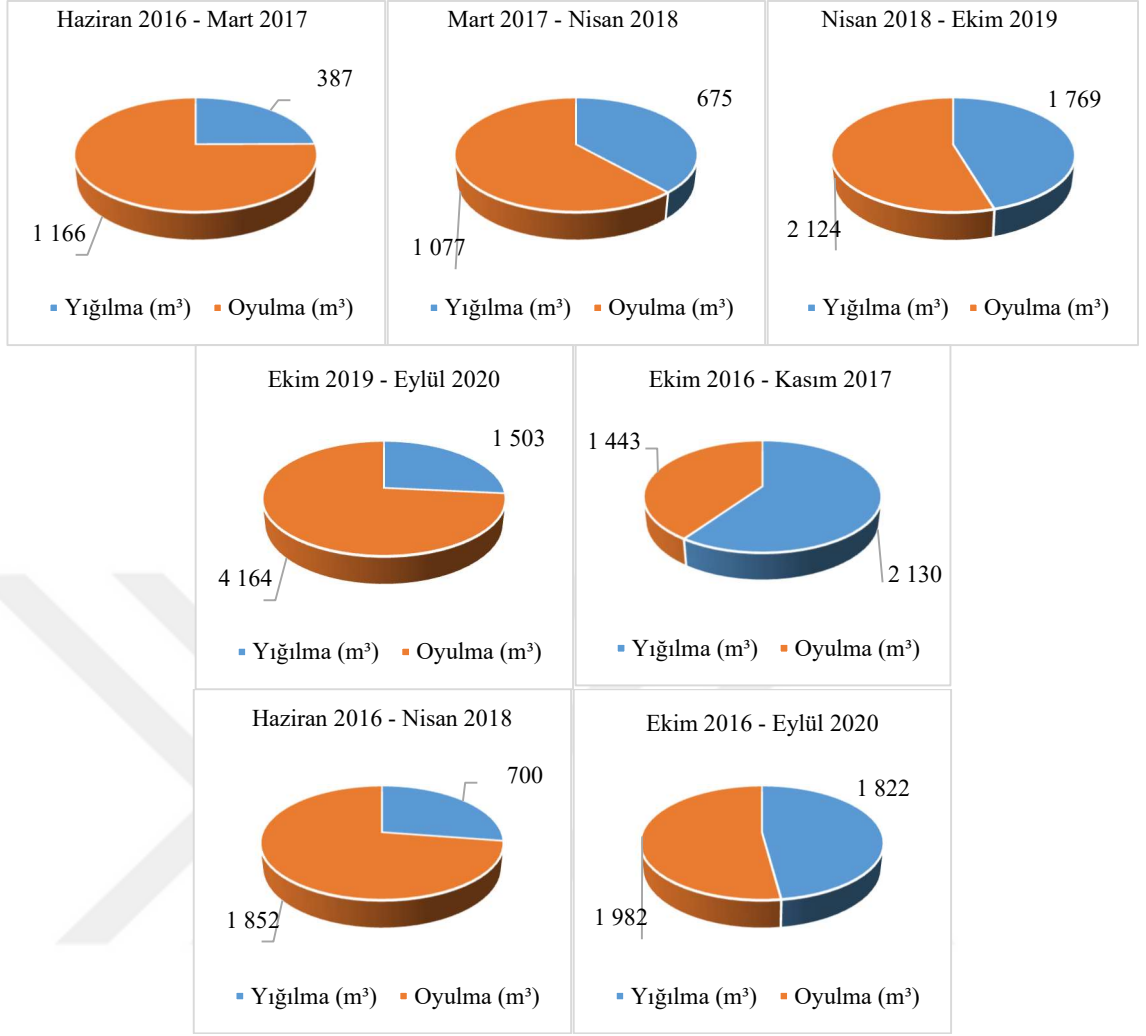


Şekil 4.12. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 2. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

Çalışma bölgesinin Marmara Denizi'ne yakın kısmı olan 3. kısımdaki ilk topoğrafik ölçüm (Haziran 2016) ile baraj inşaat faaliyetlerinin sonu (Nisan 2018) arasındaki kot farkları kıyaslandığında, 1 852 m³ oyulma ile 700 m³ katı madde birikimi olduğu ve dere yatağı boyunca toplamda 1 152 m³'lük bir oyulmanın ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ancak, 3. kısmın mansap bölgesi olan Marmara Denizi ile birleştiği km: 2+200,000 ile 2+313,495 arasında 16.03.2017 ile 16.04.2017 tarihleri arasında DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı iş makinaları ile temizlik yapıldığı ve dere yatağının bu denize mansaplandığı bölgeden çıkan kazı fazlası malzemenin derenin kenarına istif edildiği belirlenmiştir. Kazıdan çıkan bu malzeme üzerinde yapılan topoğrafik ölçümler neticesinde toplamda 2 134 m³'lük bir hacim hesap edilmiştir. Çalışma bölgesinin 3.

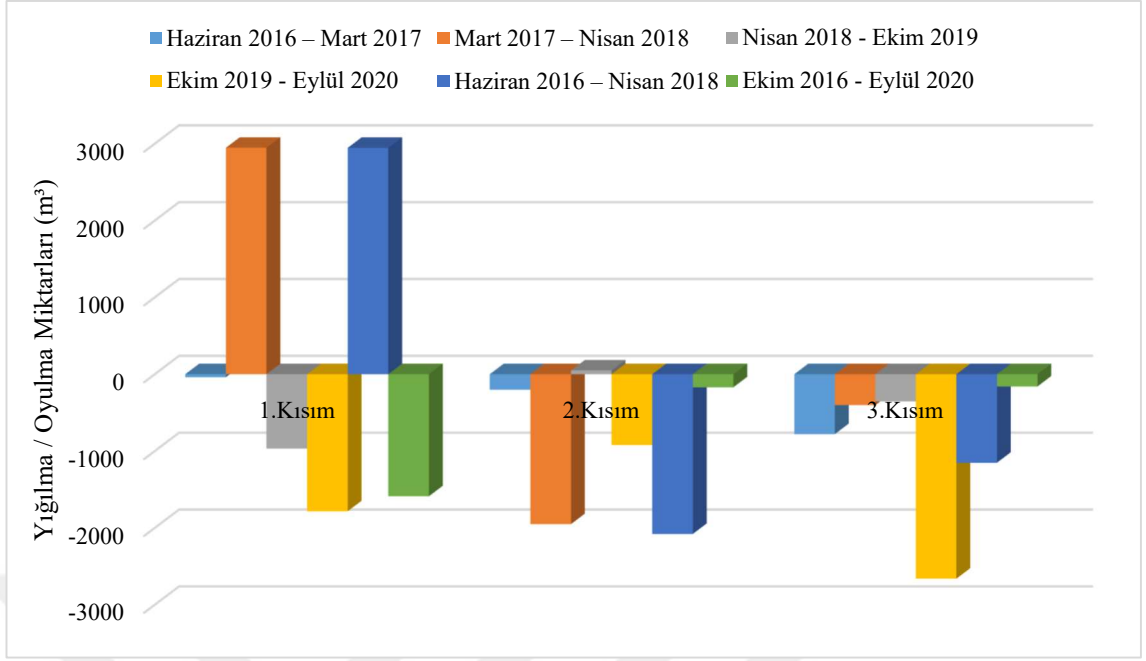
kısımında her ne kadar yapılan dere yatağı topoğrafyasındaki ölçümlerde dere yatağında oyulma oluştuğu belirlenmiş olsa da DSİ tarafından bu bölgede yapılan temizlik neticesinde derenin yan sahillerine biriktirilen malzeme dikkate alındığında derenin denize mansaplandığı giriş ağzında bir yığılma olduğu ifade edilebilmektedir. Buna karşın, 3. kısımda birinci ve ikinci kısma göre daha stabil bir durumun olduğu, oyulma ve yığılma açısından çok fazla farkların oluşmadığı görülmekte olup yaklaşık 1 000 m³ tutarında bir yığılmanın oluştuğu anlaşılmaktadır. Marmara Denizi'ne giriş ağzı olan bölgede balıkçılık faaliyetleri olması nedeniyle yerel kurumlar ve DSİ tarafından çeşitli zaman aralıklarında yığılan malzemenin temizlenmesi için dere yatağı düzenlemesi yapılmaktadır. En geniş ölçüm aralıklarından biri olan Ekim 2016 – Eylül 2020 dönemi incelendiğinde net değişimin 160 m³ gibi küçük bir oyulma yönünde olduğunu görülmektedir. Ancak bu bölgede Mayıs 2020 tarihinde DSİ iş makineleri ile yapılan müdahale göz önüne alındığında, yığılma yönünde bir eğilimin olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Büyükkuşla Deresi'nin Marmara Denizi'ne döküldüğü bölgeyi kapsayan üç kısım arasında bir değerlendirme yapmak için, yıllık periyotlarda net oyulma veya yığılma miktarlarının değişimleri belirlenmiş ve Şekil 4.14'te sunulmuştur. Bu şekle göre, ortak ölçüm aralıklarının ilkinde (Haziran 2016 – Mart 2017), her üç kısımda neredeyse denge hali bulunduğu görülmektedir. İkinci dönem olan Mart 2017 – Nisan 2018 tarihleri arasında baraj inşaatında gövde dolgusu yoğun şekilde devam etmiştir. Baraj membasında yer alan taş ocağından çıkarılan malzeme ile baraj gövdesi teşkil edilmiştir. Bu süre içerisinde dere yatağında özellikle 1. kısımda yoğun bir yığılma yaşandığı tespit edilmiştir. 1. kısımda içeriğinde bulunan katı maddeyi bırakan akım, 2. ve 3. kısımlarda ise oyulma yönünde bir etki gösterdiği saptanmıştır. Baraj gövde dolgusu tamamlanarak kazı ve dolgu faaliyetlerine son verildiği Nisan 2018 ile Ekim 2019 arasındaki dönemde daha önceki dönemlerde akım ile yığılan malzemelerin akımın etkisiyle taşındığı ve bu oyulmaya neden olduğu görülmüştür. Ekim 2019 – Eylül 2020 aralığında ise artan debi ile birlikte deredeki oyulma eğilimi artmıştır.



Şekil 4.13. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca 3. kısım için yıllık oyulma ve yığılma miktarları (m³)

Ekim 2016 döneminden önceki dönemde yapılan kazı faaliyetleri ile yığılmanın olduğu 1. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 döneminde baraj inşaatındaki kazı faaliyetlerinin de azalması sonucu oyulmanın olduğu, 2. ve 3. kısımlarda ise oyulma ve yığılma yönünde dengeli bir durumun ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak, özellikle 3. kısım için yukarıda ifade edildiği gibi dış müdahaleler nedeniyle denize giriş ağzında yığılan sedimentin temizlenmesi de hesap açısından oyulma yönünde bir sonuç elde edilmesine neden olmuştur.



Şekil 4.14. Büyükkumla Deresi boy kesiti boyunca yıllık periyotlarda her 3 kısım için tespit edilen net değişim miktarlarının kıyaslaması

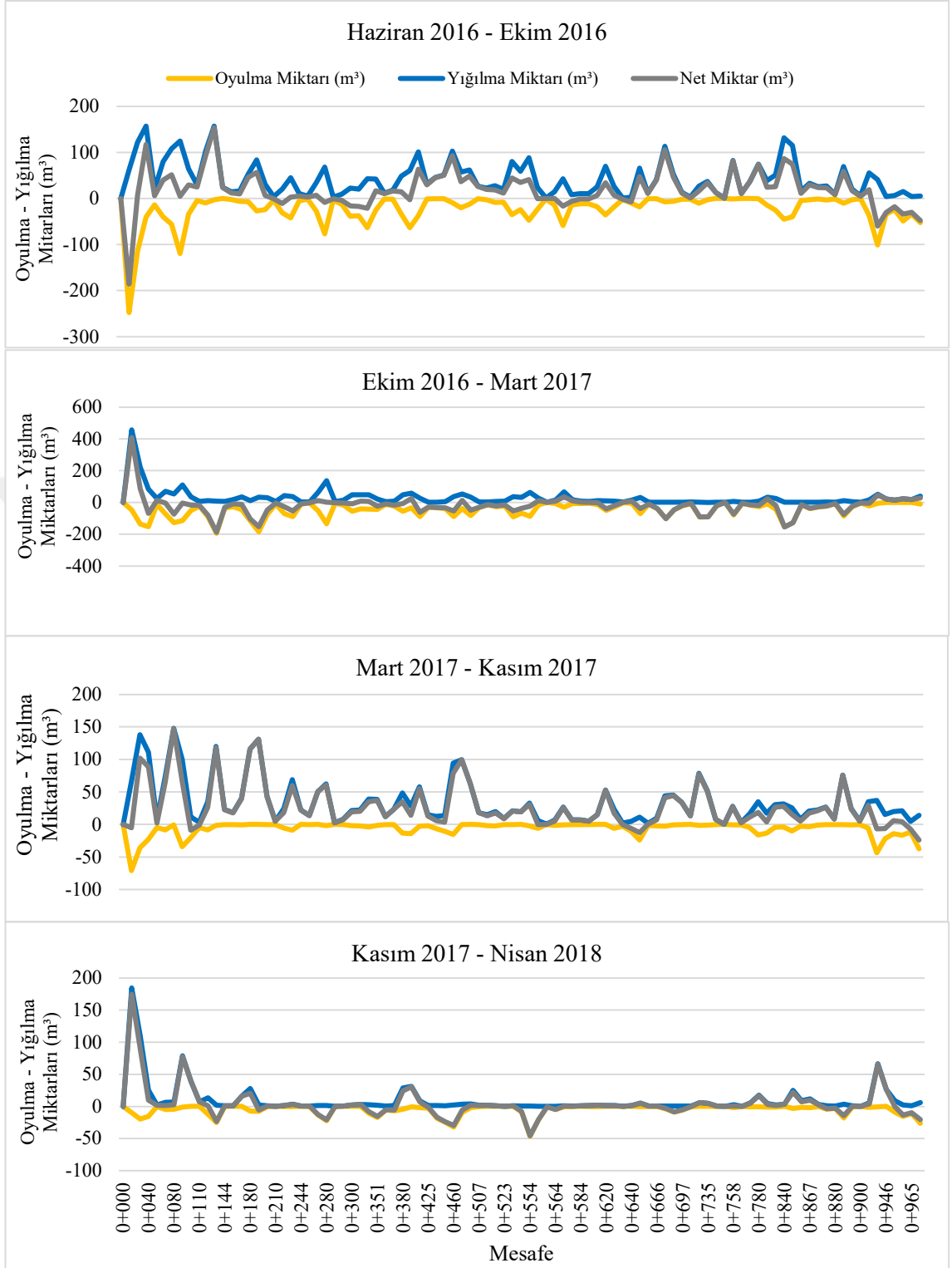
4.2. Oyulma ve Yığılma Miktarlarının Güzergah Boyunca Değişimleri

Dere yatağı güzergahı boyunca altı aylık ve yıllık periyotlarda oyulma ve yığılma miktarlarının değişimleri her bir kesitte boy profili boyunca belirlenmiştir. Bu şekillerde, farklı dönemlerde baraj mansabından denize dökülen sınıra kadar her bir kesitte ne kadar oyulma ve yığılmanın olduğu hacimsel olarak ve boy profili boyunca görülebilmektedir. Ayrıca, aynı döneme ait sonraki ve önceki ölçümler arasındaki farkların alansal dağılım grafikleri de elde edilmiştir. Bu şekillerden ise, dere yatağına üstten bakıldığında hangi dönemde hangi bölgelerde oyulma hangi bölgelerde yığılma olduğu yükseklik olarak belirlenmiştir.

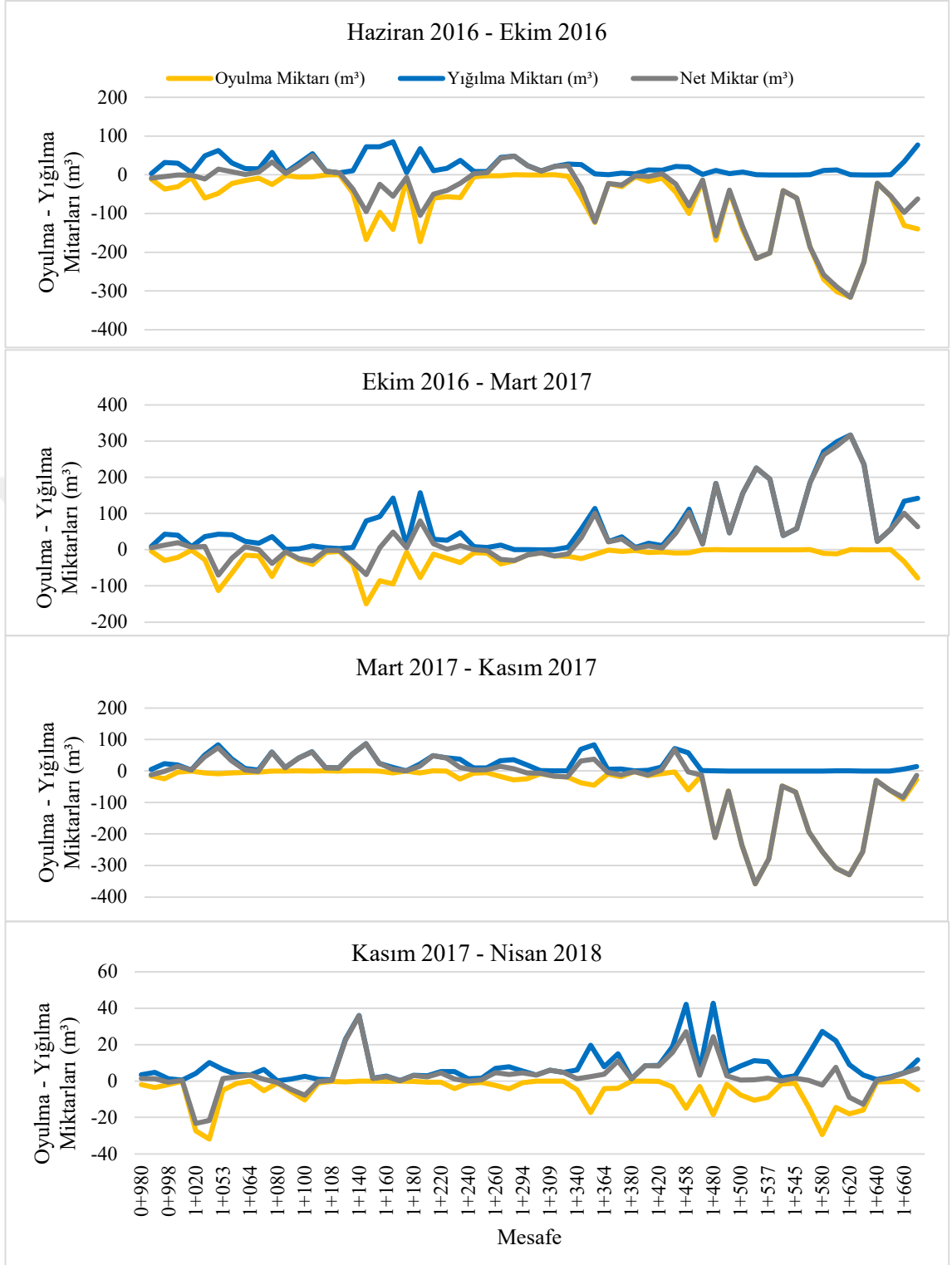
4.2.1. Altı Aylık Değişimler

Dere yatağı boyunca 1. kısımda farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri Şekil 4.15'te sunulmuştur. Kazı faaliyetlerinin büyük oranda bittiği tarih olan Haziran 2016 tarihinden itibaren 6 ay sonraki dönemde her bir kesitte hem oyulmaların hem de yığılmaların muhtemelen akışın doğal yapısı gereği olduğu, net harekete bakıldığında ise kesitlerin

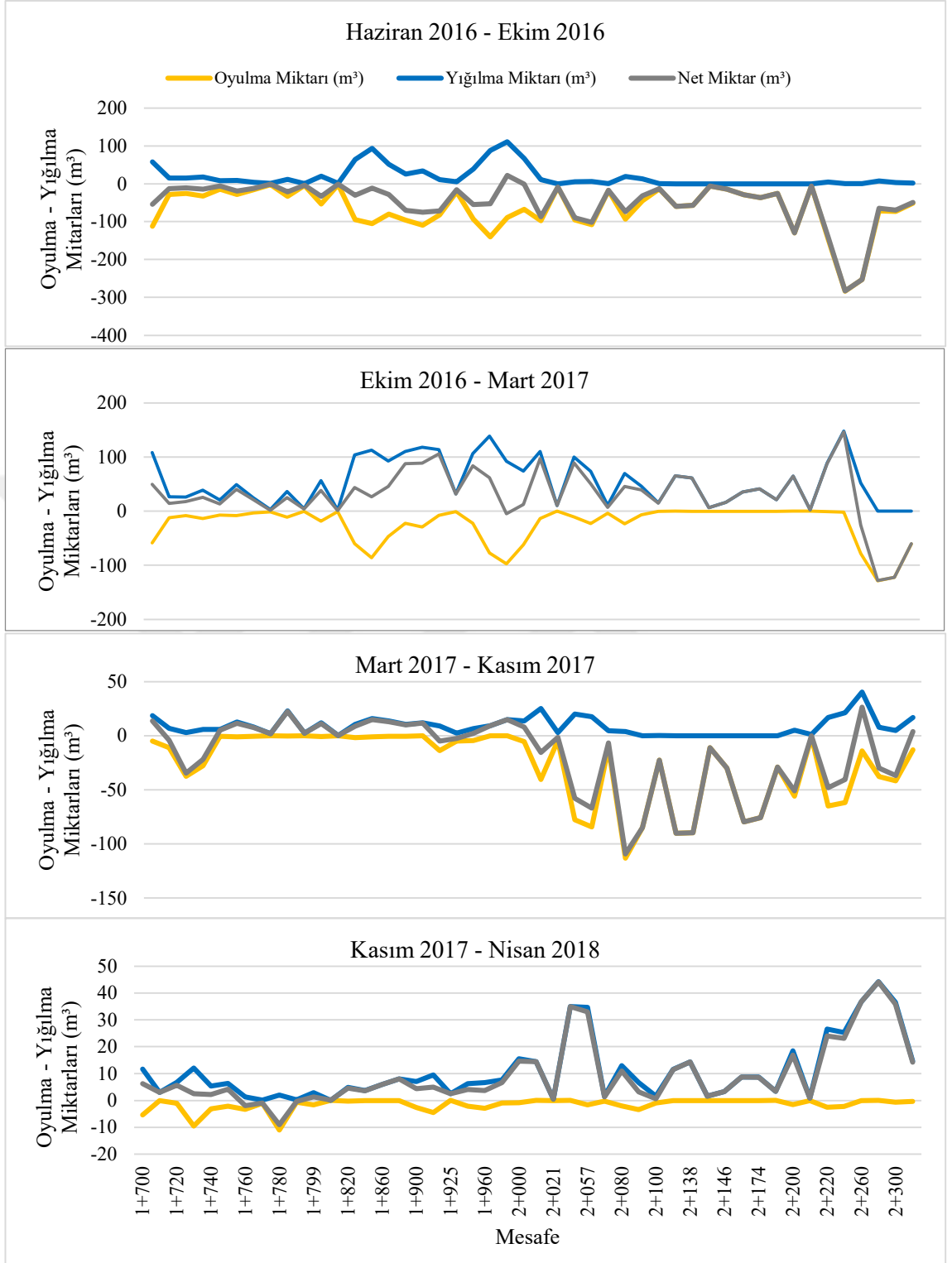
büyük çoğunluğunda yığılmaların daha fazla olduğu ve baraj mansap kısmı hariç dere yatağı güzergahı boyunca hem oyulma hem de yığılmalarda en fazla 100 m³'lük hareketin olduğu görülmektedir. İkinci altı aylık dönem olan ve kış dönemi olarak nitelendirilebilen Ekim 2016 – Mart 2017 aralığında ise, kesitlerin çok azında yığılmalar olduğu görülse bile büyük çoğunluğunda oyulma yönünde bir davranış dere yatağı güzergahı boyunca oyulmanın hakim olmasına neden olmuştur. Dere güzergahı boyunca sadece 1 kesitte 100 m³'ün üzerinde bir hareket varken 200 m³'e varan oyulmaların birkaç kesitte olduğu da görülmüştür. Yaz dönemi olarak nitelendirilebilecek Mart 2017 – Kasım 2017 aralığında ise, Ekim 2016 – Mart 2017 döneminin tersine çok az kesitte oyulma hareketi gözlenirken dere yatağı güzergahı boyunca hemen hemen bütün kesitlerde yığılmanın olduğu ve bunun net harekete de yansıdığı görülmektedir. Bu zaman aralığında oyulma yalnızca bir kesitte 70 m³ değerinin üzerine çıkarken aynı bir önceki dönemde olduğu gibi ama tersine pek çok kesitte yığılma 50 m³ üzerinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.15'te en son grafikte daha önceki altı aylık dönemlerde oluşan durumlardan çok farklı bir durumun olduğu görülmektedir. Baraj sahasında büyük oranda tamamlanan kazı ve dolgu faaliyetleri neticesinde dere yatağı boyunca 1. kesitte hemen hemen kesitlerde oyulma ve yığılma hareketi olmamıştır. Baraj mansabındaki 2 kesit hariç dere yatağı boyunca 2 kesitte yığılma ve 1 kesitte oyulma 50 m³ mertebesine ulaşmıştır. Dört farklı altı aylık dönemde baraj mansabındaki kazı ve dolgu faaliyetlerinden etkilenildiği için dere yatağındaki diğer kesitlere kıyasla ilk 2 kesitte yüksek değerlerde oyulma ve yığılma miktarları görülmektedir. Şekil 4.16'da ise 2. kısım için dere yatağında dört farklı altı aylık döneme ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimlerini sunulmaktadır. Çalışma bölgesindeki 1. kısmın tersine 2. kısımda ilk altı aylık dönemde oyulmanın, ikinci altı aylık dönemde yığılmanın ve üçüncü altı aylık dönemde oyulmanın etkin olduğu görülmüştür. Dördüncü altı aylık dönemde ise 1. kısımda oyulma ve yığılma yönünde herhangi bir hakimiyet olmamasına karşın 2. kısımda yığılmanın hakim olduğu ortaya çıkmıştır. İlk altı aylık dönemde (Haziran 2016 – Ekim 2016) 1 + 620,000 km kesitinde en büyük oyulma hacminin yaklaşık 300 m³ olduğu, ikinci altı aylık dönemde ise aynı kesitte en büyük yığılma hacminin 300 m³ olduğu, üçüncü altı aylık dönemde oyulmanın 2 farklı kesitte 350 m³ civarında en büyük değere ulaştığı ve dördüncü altı aylık dönemde en büyük 40 m³ civarındaki değeri ile diğer dönemlere kıyasla çok daha az bir hareketin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1. kısım)



Şekil 4.16. Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (2. kısım)



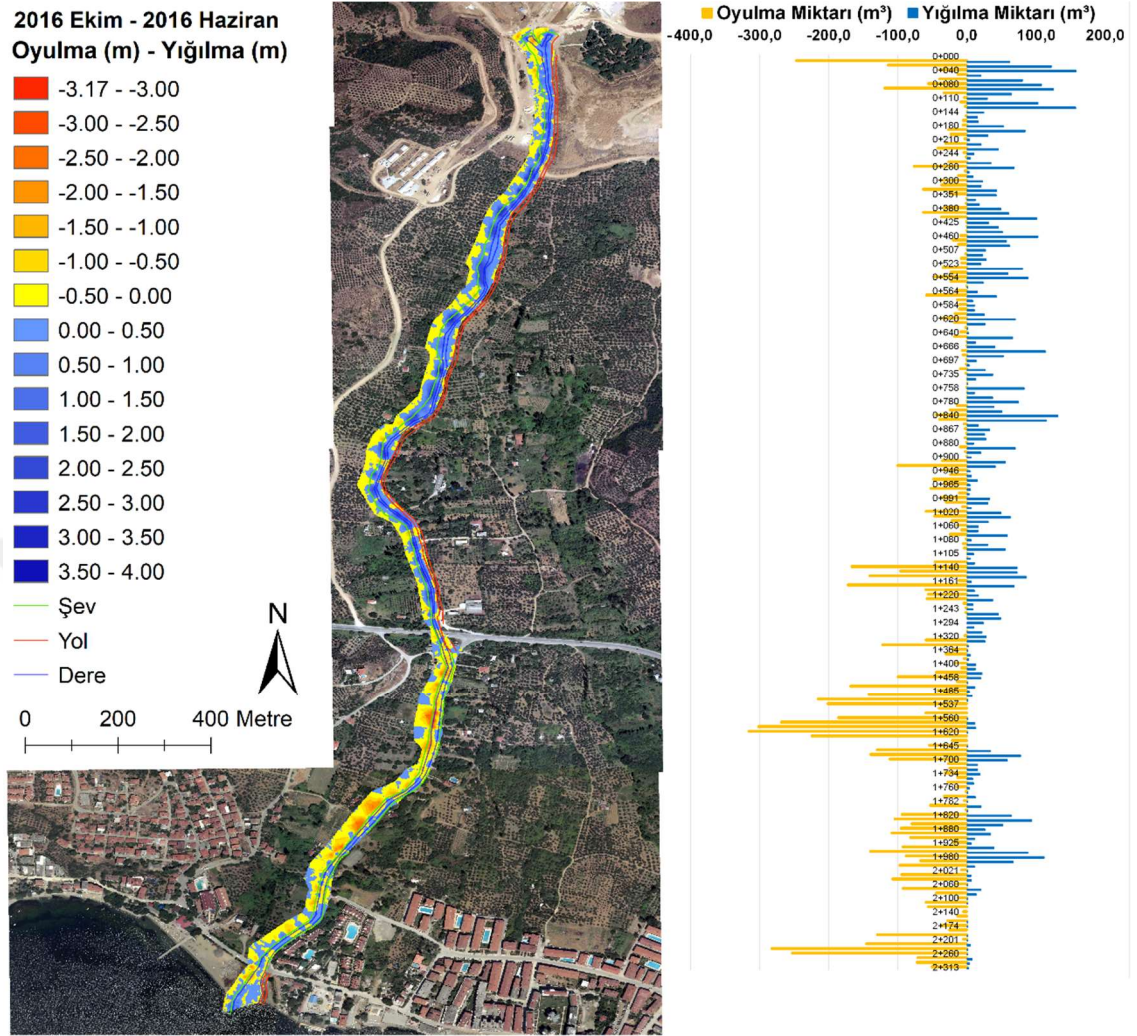
Şekil 4.17. Dere yatağında farklı altı aylık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (3. kısım)

1. kısım ve 2. kısım arasındaki farklı davranışı, baraj mansabı baraj gövdesinin mansap kısmının membası gibi düşünüldüğünde, memba tarafında oyulma varken mansap tarafında yığılmanın olduğu tersi durumunda da oyulmanın olması beklenen bir durumdur. Bunun yanında, katı madde hareketinde yağış ve akım değerlerine bağlı mevsimsel etki de açıkça görülebilmektedir. Çalışma bölgesinin memba kısmında yaz mevsimi döneminde yığılmalar hakimken kış mevsiminde ise oyulmaların hakim olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.17’de ise 3. kısım olan akarsuyun tam denize döküldüğü bölge için dere yatağında dört farklı altı aylık döneme ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri verilmiştir. İlk altı aylık dönemde 3. kısımda da 2. kısımdaki oyulma hakimiyetinin bütün kesitlerde devam ettiği, ikinci altı aylık dönemde de yığılma, üçüncü altı aylık dönemde oyulmanın ve dördüncü altı aylık dönemde yığılmanın 2. kısımdaki gibi devam ettiği anlaşılmıştır. Bu durumda, aslında 3 bölgeye ayrılan dere yatağının 1. kısmının bir bölge gibi davrandığı ve 2. ile 3. kısımların da bir bütün olarak tek bir bölge olarak davrandığı anlaşılmaktadır.

Dere güzergahı boyunca oyulma ve yığılma miktarlarının kesitlerdeki hacimsel değerlendirmelerinden sonra, dört farklı altı aylık dönemde ayrı ayrı bir önceki ve bir sonraki dönemler arasındaki yükselti okumalarının arasındaki farkların alansal haritaları da üretilmiş ve Şekil 4.18 – 4.21’de sunulmuştur. Şekil 4.18, dere yatağında Haziran 2016 ile Ekim 2016 döneminde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımlarını göstermektedir. Bu alansal haritaların sağ tarafında ise, dere güzergahı boyunca her bir kesitte oluşan oyulma ve yığılma hacimlerinin değişimleri sütun grafik şeklinde sunulmuştur. Grafiklerdeki sarı renk oyulmayı gösterirken mavi renk yığılmayı göstermektedir. İlk altı aylık dönemde Armutlu Gemlik Karayolu’nun deniz tarafında belirgin bir şekilde oyulma yüzey alanlarının görüldüğü ve yüksek miktarda oyulmaların yerel olarak bu yolun deniz tarafında belli bölgelerde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, yolun üst tarafında ise, tamamen yığılmanın hakimiyetinde olduğu ve bu zaman aralığında baraj mansabından denize kadar ki dere yatağı boyunca yüzey alanlarının %48 oyulma ve %52 yığılma şeklinde gerçekleştiği de belirlenmiştir. Bu yüzdeler oranlar belirlenirken haritalardaki negatif ve pozitif değerlerin sayıları belirlenmiş ve toplam sayıya oranlanarak yığılma veya oyulmanın yüzey alan yüzdeleri hesaplanmıştır. Yığılmanın en büyük 4 m oyulmanın ise en büyük 3,17 m derinliğinde oluşabildiği de tespit edilmiştir.

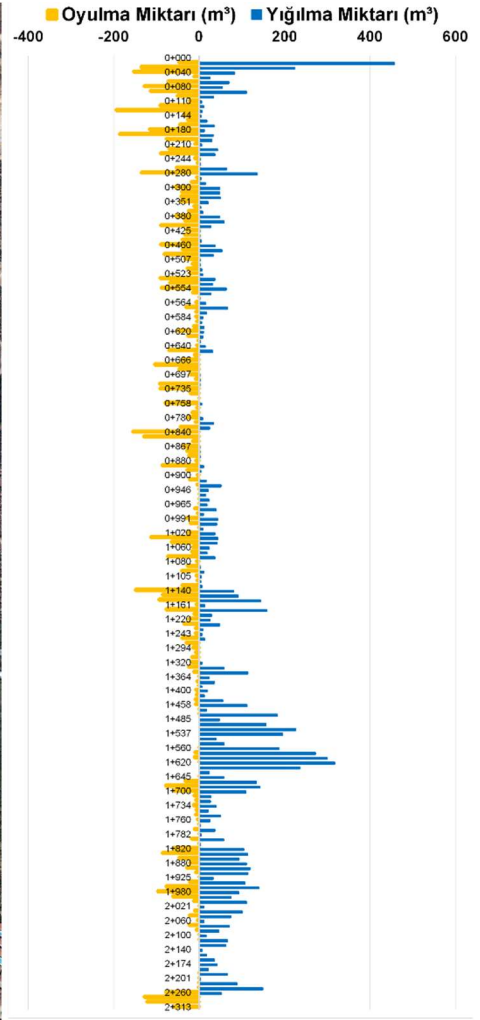
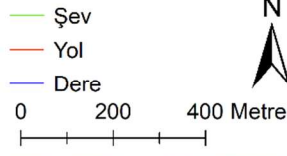
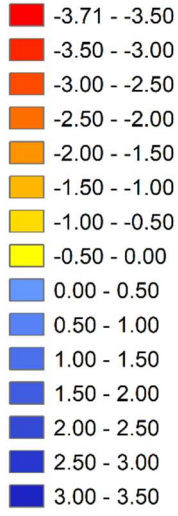
Dere yatağında Ekim 2016 ile Mart 2017 tarihlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları Şekil 4.19'da görselleştirilmiştir. Bu yüzey haritasında da belirgin bir şekilde akarsuyun mansap kısmında en büyük 3,5 m derinliğinde yığılmaların ve barajın hemen mansap bölgesinde en büyük 3,71 m derinliğinde oyulmaların olduğu iki farklı bölgenin ortaya çıktığı görülmektedir. Burada, bir önceki altı aylık dönemdeki durumun dışında oyulma bölgesi Armutlu Gemlik Karayolu'na kadar inmemiştir. Daha yukarıda yığılma rejimine geçiş sağlamış ve denize döküldüğü noktaya kadar yığılma eğilimi devam etmiştir. Oyulma ve yığılmaların yüzey alanı açısından oransal dağılımı ise bu ikinci altı aylık zaman aralığında %50'dir.

Şekil 4.20, dere yatağında Mart 2017 ile Kasım 2017 tarihlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımlarını sunmaktadır. Burada da, dere yatağı boyunca her bir kesit için belirlenen oyulma ve yığılma hacimlerin değişimlerindeki duruma benzer bir şekilde bu zaman aralığında baraj mansabında yığılma ve denize dökülen kısımda oyulma hakimiyetinde bir hareket söz konusu olmuştur. Bu zaman aralığında oluşan yığılma / oyulma alanlarının ayırım noktası bir önceki altı aylık dönemdeki ayırım noktası ile örtüşmektedir. En büyük oyulma 3,56 m derinliğinde gözükrken yığılma bölgesinde bu değer 4 m olarak belirlenmiştir. Yüzey alanlarının dağılımı ise, oyulma için %59, yığılma için %41'dir.

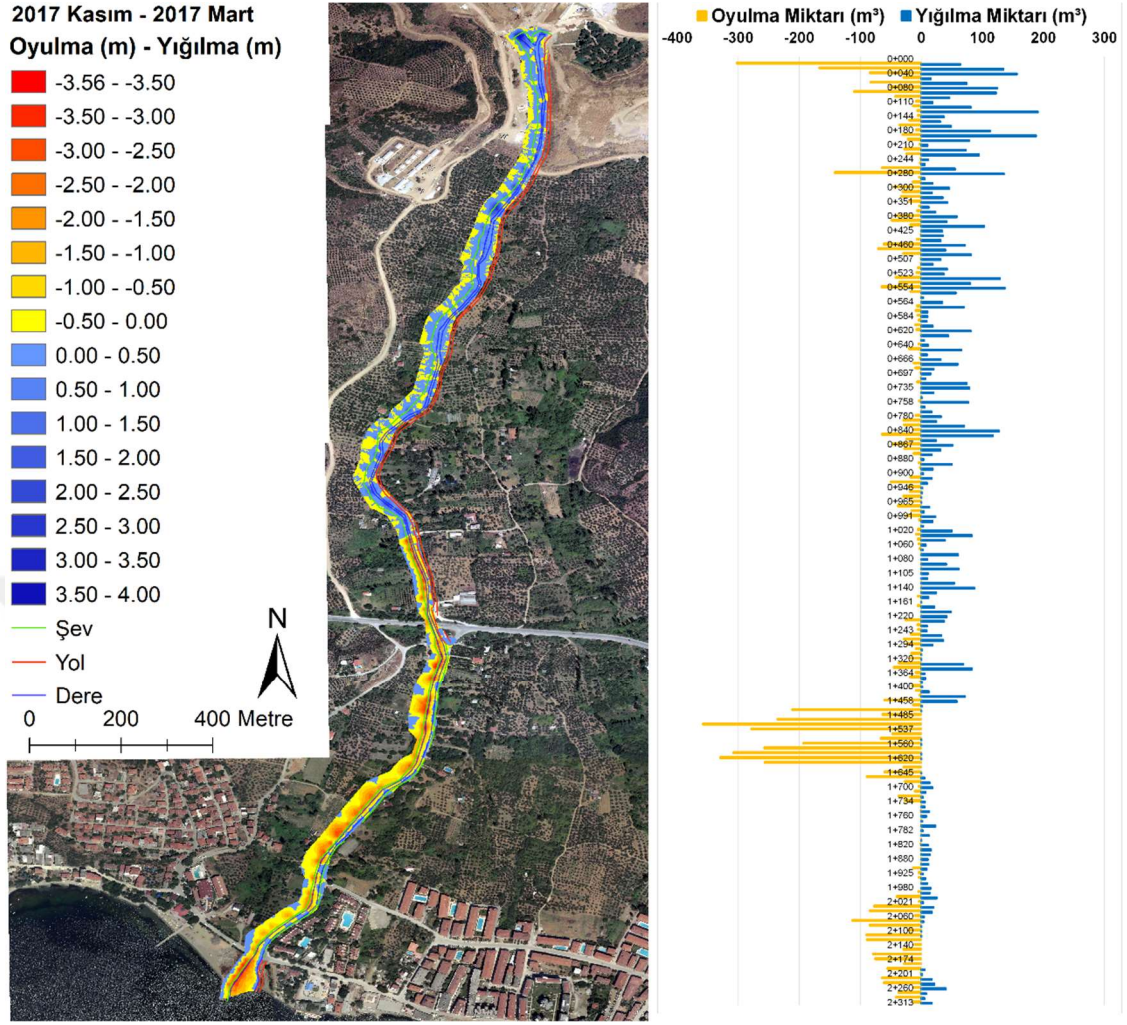


Şekil 4.18. Dere yatağında Haziran 2016 – Ekim 2016 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

2017 Mart - 2016 Ekim
Oyulma (m) - Yığılma (m)



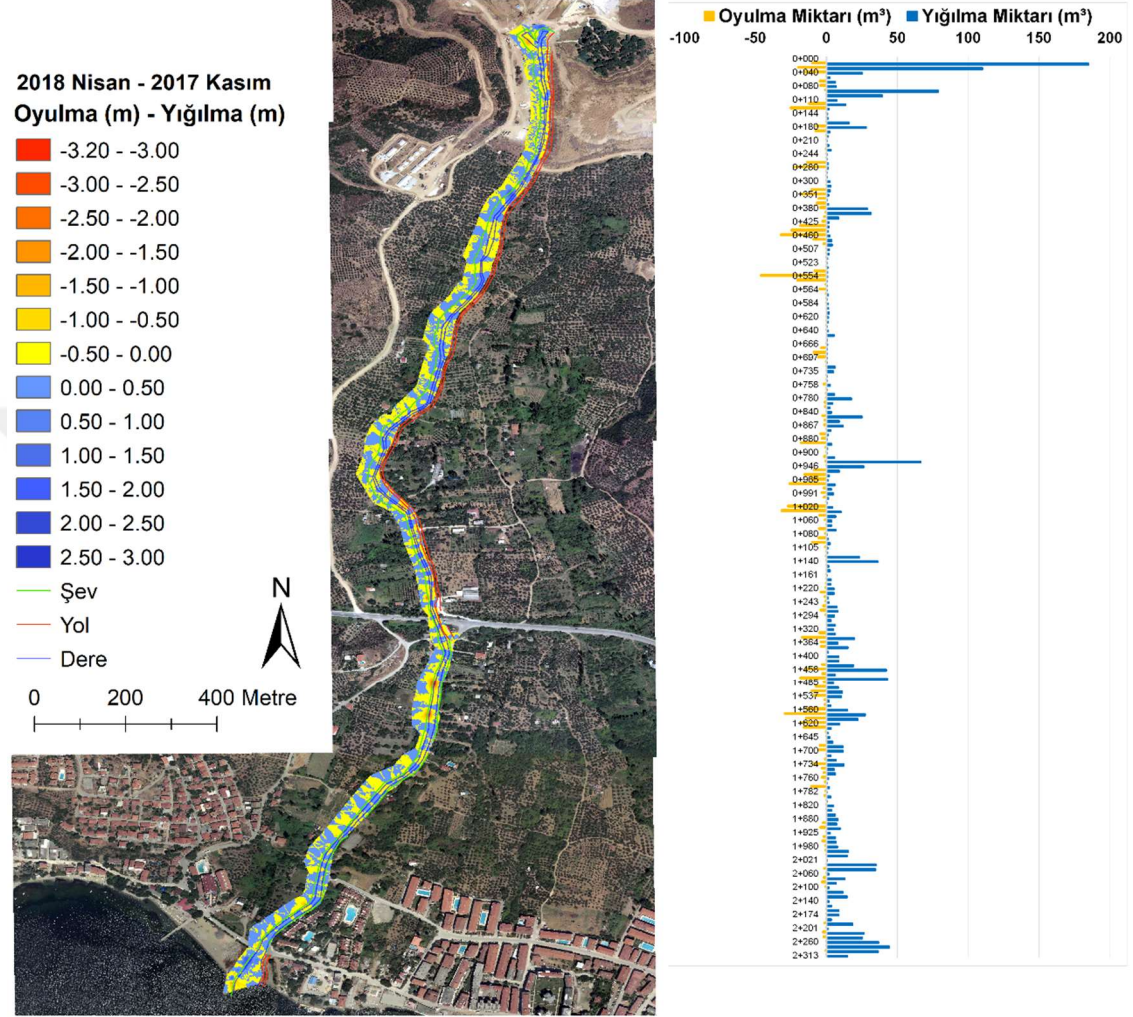
Şekil 4.19. Dere yatağında Ekim 2016 – Mart 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları



Şekil 4.20. Dere yatağında Mart 2017 – Kasım 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

Dere yatağında Kasım 2017 ile Nisan 2018 tarihlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları ise Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu alansal değişim grafiği öncekilerden çok farklı olarak ortaya çıkmıştır. Belirgin bir şekilde oyulma ve yığılma bölgeleri ayırt edilememektedir. Dere yatağı boyunca dikkate alınan bölgede hem oyulma hem de yığılma alanları dağınık bir biçimde oluşmuştur. Oyulma bölgelerinde en büyük yükseklik farkı 3,2 m iken yığılma bölgelerinde bu değer 3 m olarak ölçülmüştür. Oyulmanın yüzey alanı yüzdesi %54 iken yığılmanın yüzdesi %46 olarak gerçekleşmiştir. Ancak, dere yatağı boyunca oyulma ve yığılma yönünde koyu renklerin alanı çok düşük çıkmıştır. Koyu renklerin çok küçük bölgelerde oluştuğu görülmüş bunun da küçük ölçekli yerel müdahaleler sonucunda ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir. Genelde, bu zaman aralığında

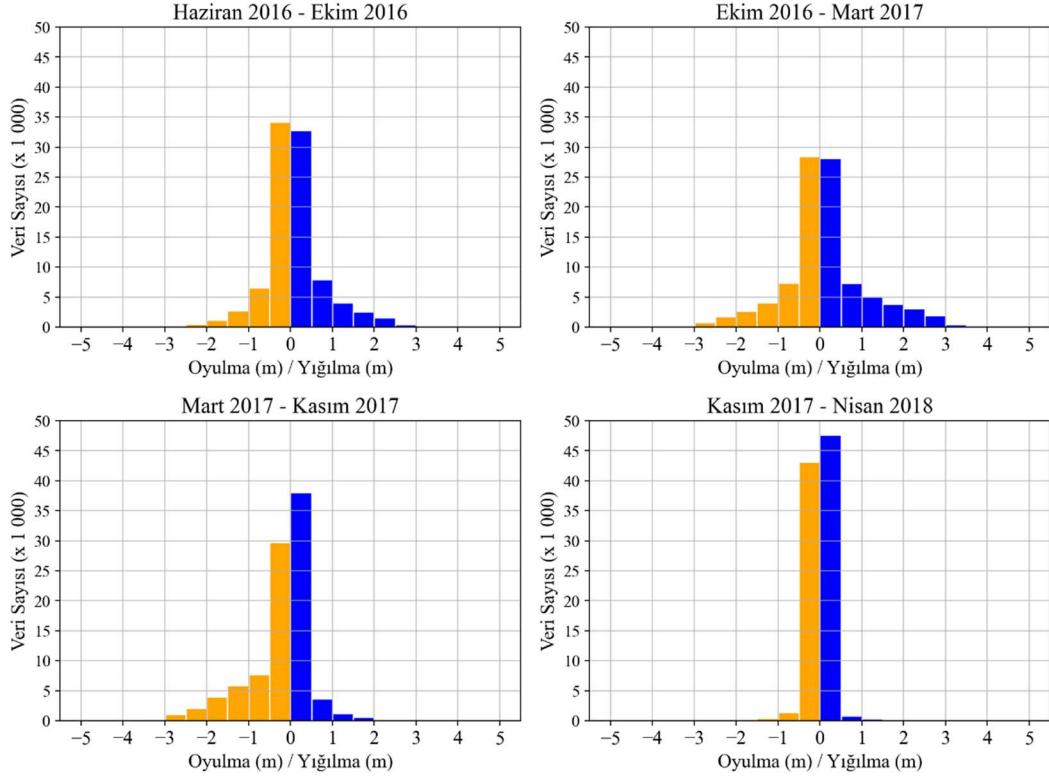
hareketin diğer zaman aralıklarına göre çok az olduğu ve dere yatağının hemen hemen stabil bir hal aldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.21. Dere yatağında Kasım 2017 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

Farklı dönemlerde bir önceki ve sonraki topoğrafik ölçümler arasındaki farklardan yararlanılarak her bir fark haritasında belli bir fark değerine sahip olma frekansları belirlenerek o zaman aralığında çalışma bölgesinin tamamında etkili olan yığılma ve oyulmaların hangi bantta yığıldığı belirlenmiş ve altı aylık dönemler için sonuçlar Şekil 4.22’de verilmiştir. Bu şekillerden de görülebileceği gibi, en fazla hareket Mart 2017 – Ekim 2016 kış döneminde olmuştur. Kazı faaliyetlerinden sonraki altı aylık yaz dönemi ve sonrasındaki kış döneminde oyulma ve yığılma olayları açısından sanki normal

dağılmış bir karakter gözlenmiştir. Ancak, bir sonraki yılın kış döneminde oyulma yönünde eğilimin olduğu ve yaz döneminde ise oyulma ve yığılma durumlarında 0,5 m derinliğinde bir bantta hareketin olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, son altı aylık dönemde akarsu kesitinde belirgin bir etkinin olmadığını göstermektedir.

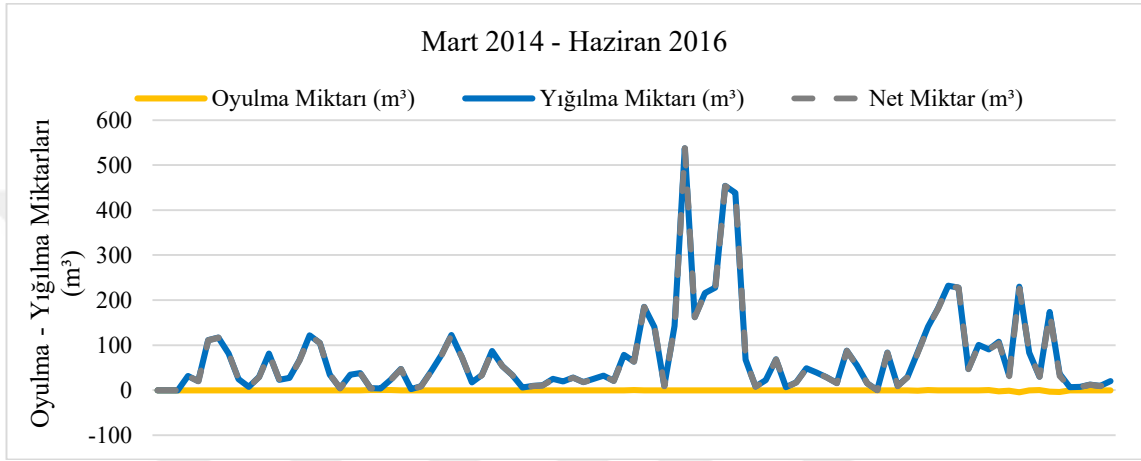


Şekil 4.22. Çalışma bölgesi boyunca farklı altı aylık dönemlerde belirlenen okumalar arasındaki farkların histogramları

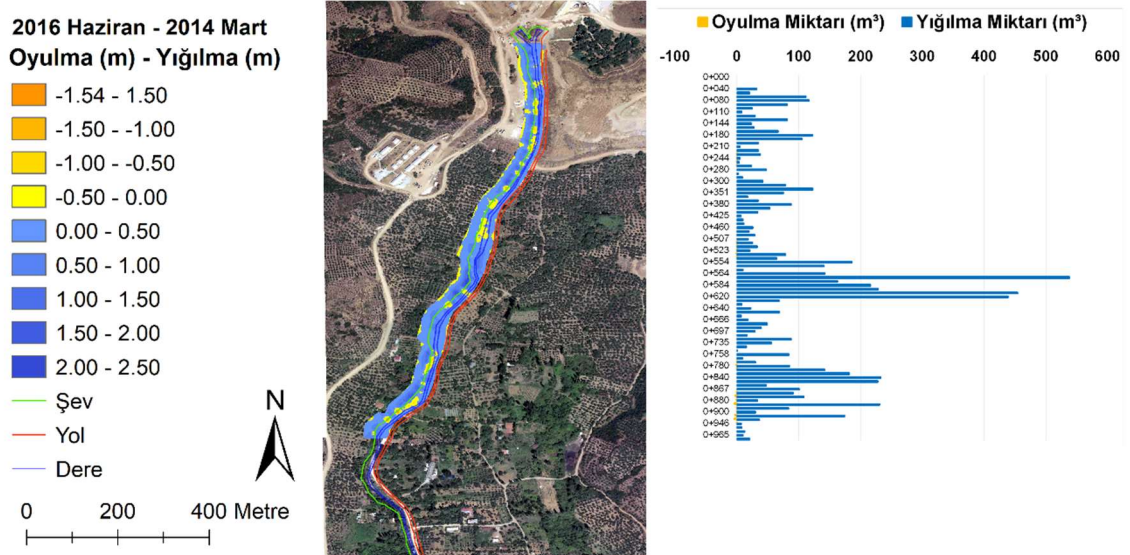
4.2.2. Yıllık Değişimler

Dere yatağı boyunca ilk ölçüm ile ikinci ölçüm arasındaki 1. kısma ait ilgili grafikler Şekil 4.23 ve 4.24'te verilmiştir. Bu şekle göre, boy profili boyunca yığılmanın hakim olduğu ve bu 1. kısmın ortasına yakın bir bölgede ise yığılma miktarlarının bir kesitte yaklaşık 500 m^3 değerinde en büyük değerine ulaştığı anlaşılmaktadır. En büyük bu bölgede görülme nedeninin, baraj inşaatındaki kazının büyük bir kısmının bu dönem içerisinde yapılmış olması ve baraj inşaatı boyunca yapılan kazının baraj mansabında dere yatağı sol sahilinde bu bölgeye yakın bir yerde depo edilmesi ile oluştuğu kanaatine varılmıştır (Ek-2 Ek Şekil 2). Bu şekilde, alansal fark grafiğinde, oyulmanın da olduğu ancak

miktarsal olarak düşük olduğu (yüzey alanlarının oranları dikkate alındığında %17 oyulma ve %83 yığılma) da görülmektedir. Ayrıca, alansal fark grafiğinde, dere yatağının kurba giren bölgelerinde doğal olarak kurbun dış bölgelerinde oyulma iç bölgelerinde ise yığılmanın olduğu gözlenmektedir. Bu kısımda belirlenen zaman aralığında oyulmanın maksimum 1,54 m ve yığılmanın yine maksimum 2,5 m civarında olduğu da görülmektedir.

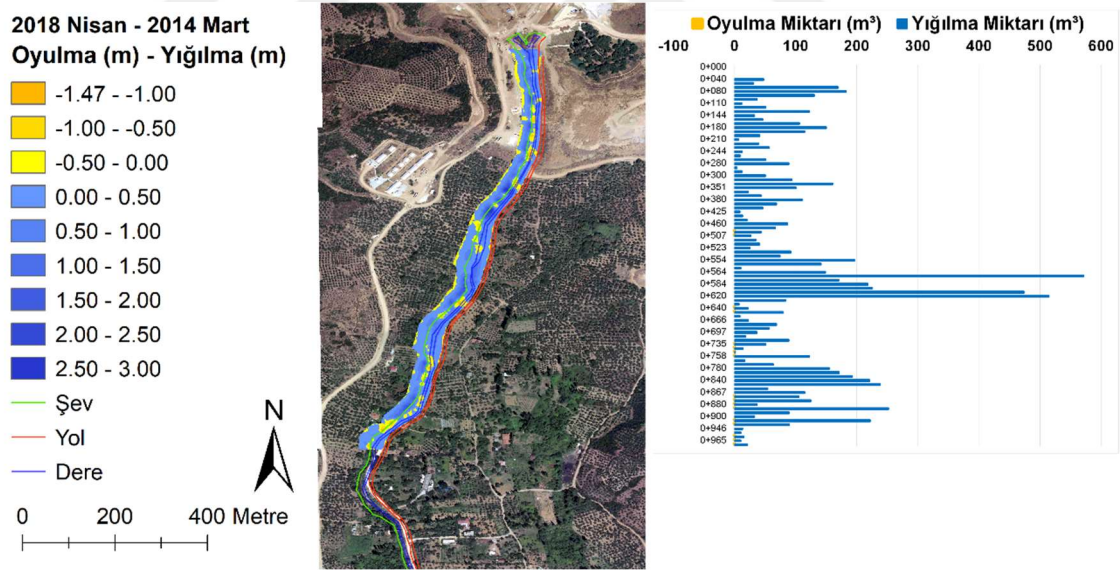


Şekil 4.23. Dere yatağında Mart 2014 ile Haziran 2016 dönemi arasında kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1.kısım)

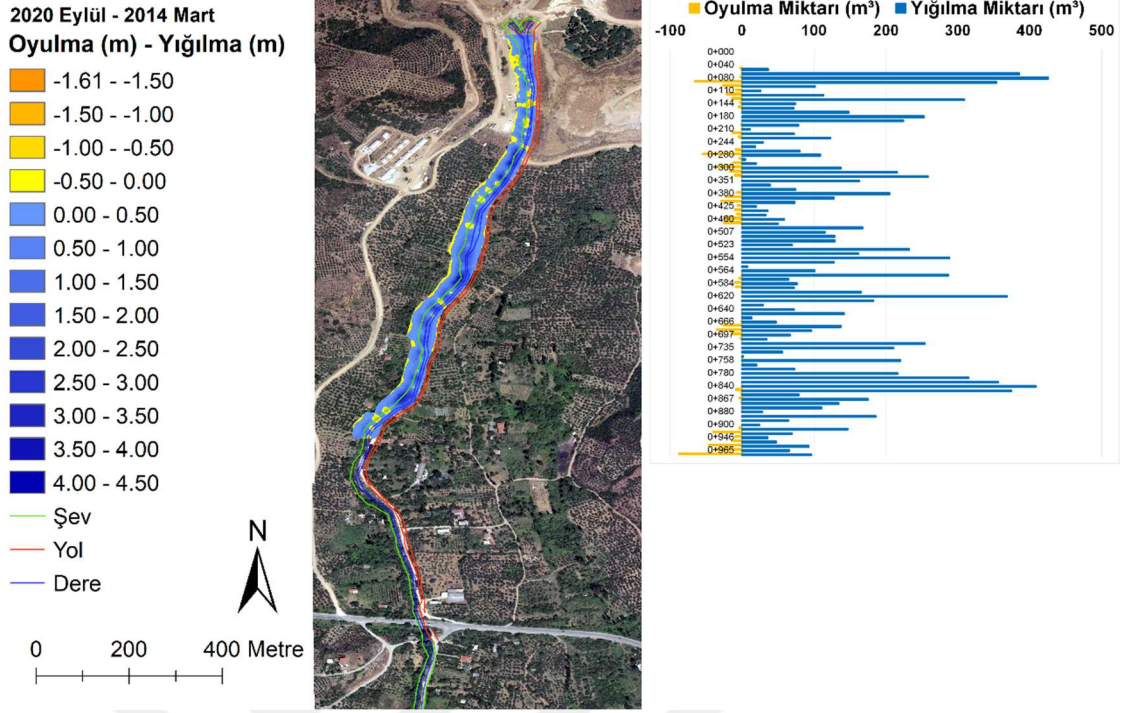


Şekil 4.24. Dere yatağında Mart 2014 – Haziran 2016 dönemi arasında gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları (1. kısım)

Şekil 4.25'te dere yatağında 1. kısımda baraj inşaatı başlangıç dönemi ile baraj gövde dolgusunun hemen hemen tamamlandığı tarih arasında (Mart 2014 ile Nisan 2018) akarsu yatağındaki değişimi göstermesi açısından bu dönemdeki topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları verilmektedir. Beklenildiği gibi, baraj sahasındaki kazı ve dolgu faaliyetleri neticesinde barajın hemen mansabındaki bölgede yoğun bir yığılma meydana geldiği görülmektedir. Bu bölgedeki yüzey alanlarının yaklaşık %16,5'i oyulma ve %83,5'i yığılma olduğu belirlenmiştir. En büyük oyulma derinliği 1,47 m, en büyük yığılma yüksekliği ise 3 m olarak ölçülmüştür. Şekil 4.26'da ise yine 1. kısımda çalışmanın son topoğrafik ölçüm dönemi olan Eylül 2020 tarihindeki veriler dikkate alınarak ilk topoğrafik alım ile mukayese yapılmıştır. Bu dönemde yoğun bir yığılma eğiliminin olduğu ancak bununla birlikte önceki dönemlere göre oyulma sürecinin de ortaya çıktığı görülmektedir. Yığılma yüksekliği en fazla 4,50 m seviyelerine ulaşırken, oyulma derinliği ise 1,61 m seviyesinde kalmıştır. Tüm alan incelendiğinde %14 oyulma ve %86 yığılma olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.25. Dere yatağında Mart 2014 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

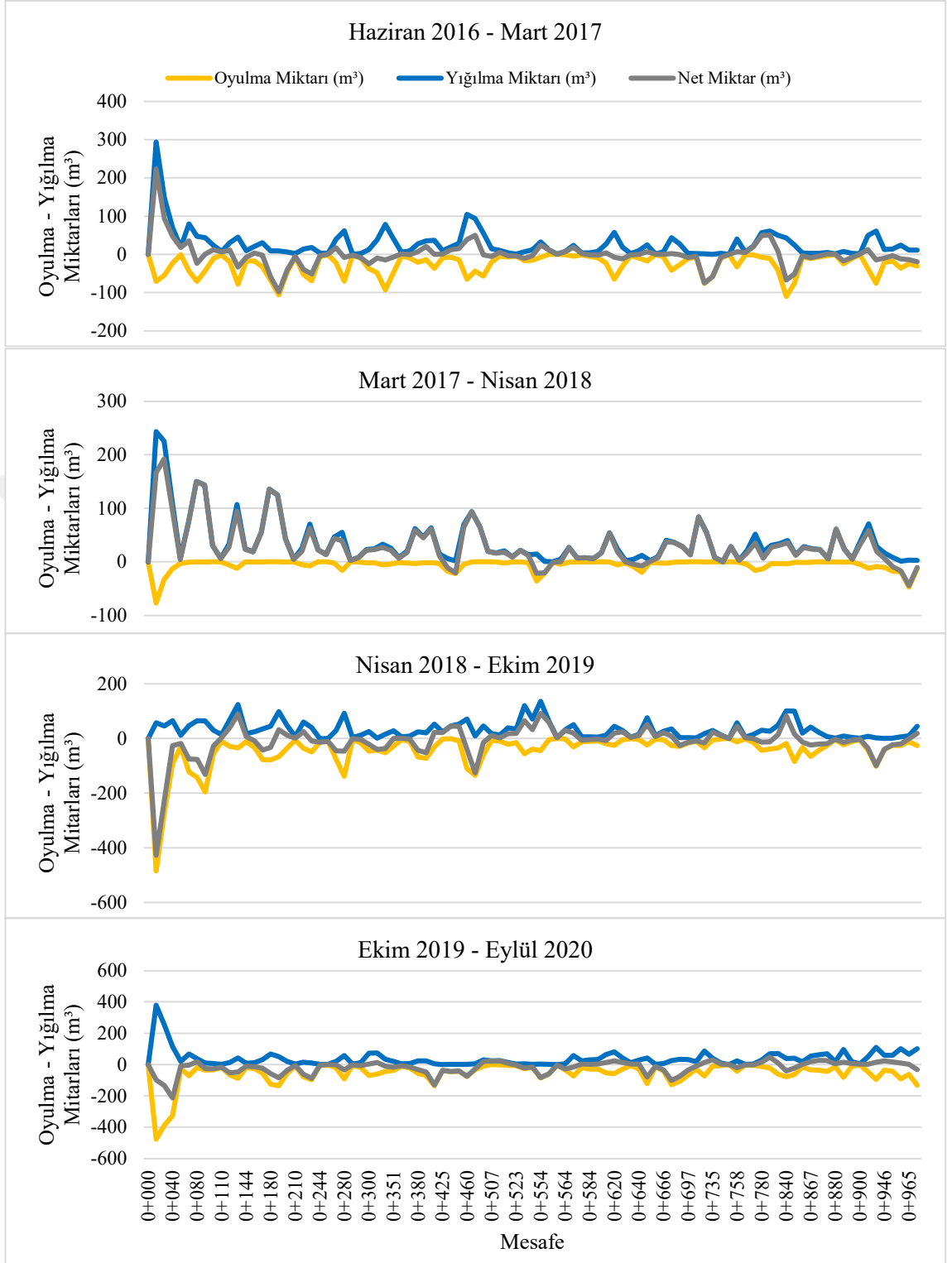


Şekil 4.26. Dere yatağında Mart 2014 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

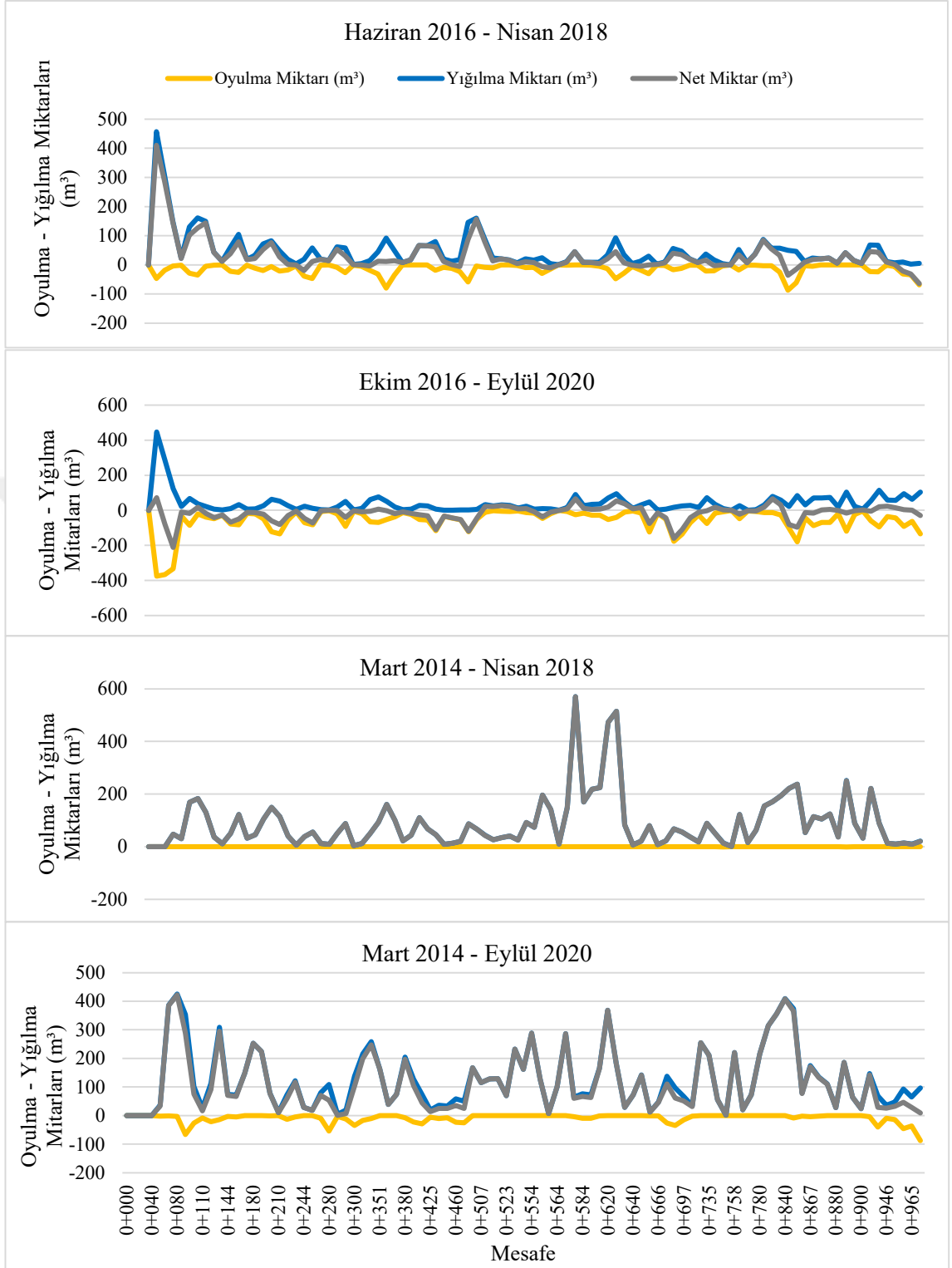
Şekil 4.27, dere yatağında 1. kısımda beş yıl boyunca alınan ölçümlerden oluşan sekiz farklı döneme ait kesitlerde meydana gelen hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimlerini göstermektedir. Baraj inşaat sahasında hemen hemen kazı faaliyetinin tamamlandığı tarih olan Haziran 2016 itibari ile alınan topoğrafik ölçümler ile yaklaşık 1 yıl sonra alınan topoğrafik ölçümlerin analizleri sonucunda dere yatağı güzergahı boyunca baraj gövdesine yakın bölgelerde net değişimin oyulma hakimiyetinde olduğu görülmüştür. Daha mansapta ise çok az kesitte 50 m³ civarında yığılmalar ve birkaç kesitte 100 m³ civarında oyulmaların olduğu net değişim oluşmasına karşın büyük bir kısmı kapsayan diğer kesitlerde net değişiminin ihmal edilebilecek seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu durum, Haziran 2016 tarihinden önce yığılan malzeme nedeniyle baraj dolusavak çıkışından sonraki birkaç kesitte oyulma hakimiyetinin olduğunu ve devamında ise iklim durumuna bağlı olarak mevsimsel değişimlerin kendi içinde yıllık döngüde stabil hale geldiğini göstermektedir. Mart 2017 – Nisan 2018 zaman aralığında ise dolgu faaliyetleri nedeniyle dere yatağı boyunca 1 yıllık dönemde net değişimde yığılmaların hakim olduğu, barajın hemen mansap kısmında 150 m³'den fazla olan yığılmaların dere güzergahının mansabına doğru yaklaşık 75 m³ değerine gerilediği görülmektedir. Bir önceki yıllık dönemde oyulmaların yaşandığı kısımda belirgin

bir şekilde bu dönemde yığılmaların olduğu ve bir önceki yıllık dönemde net değişim göstermeyen kesitlerde bile bu yıl içinde yığılmaların olduğu anlaşılmaktadır. Nisan 2018'den tarihinden sonra Ekim 2019 ve Eylül 2020 tarihlerindeki ölçümler ile elde edilen değişim grafiğinde diğer dönemlerden farklı olarak oyulma ve yığılma yönünde daha az değişim yaşandığı görülmektedir. Özellikle, Ekim 2019 – Eylül 2020 ölçüm aralığında neredeyse dere yatağı stabil hale gelmiştir. Bu durum, baraj inşaatı faaliyetlerinin neredeyse iki yıldır devam etmemesi nedeniyle derenin artık doğal akış sürecine girdiğini ve denge haline ulaşmaya çalıştığını göstermektedir.

Haziran 2016 – Nisan 2018 arasındaki 2 yıllık toplam döngüye bakıldığında, Mart 2017 – Nisan 2018 arasındaki 1 yıllık dönemde oluşan yığılmaların bir önceki yıldaki oyulmalar nedeniyle biraz düştüğü ancak bu 2 yıllık dönemde dolgu faaliyetleri nedeniyle yığılmaların olduğu görülmektedir. Kazı faaliyetlerinin yoğun olduğu Mart 2014 – Haziran 2016 zaman aralığındaki 2 yıllık dönemde ise doğal olarak çok daha fazla bir yığılma hakimiyetinin var olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan son topoğrafik ölçümlerin elde edildiği Eylül 2020 ile Ekim 2016 tarihideki ölçümler mukayese edildiğinde özellikle barajın hemen mansabında yer alan bölgede oyulma ve yığılma miktarlarının yaklaşık 400 m³ seviyesinde olduğu görülmüştür. Aktif baraj inşaatının devam ettiği Ekim 2016 tarihindeki çalışmalar nedeniyle bu bölgede değişim yaşanmıştır. Şekil 4.27'de bu döneme ait grafik bu durumu açıkça göstermektedir. Mart 2014 – Nisan 2018 aralığındaki 4 yıllık dönemdeki dere güzergahı boyunca kesitlerdeki net değişim yaklaşık olarak Mart 2014 – Nisan 2018 aralığındaki 2 yıllık dönemde yoğun kazı faaliyetlerinin olduğu dönemde oluşan net değişime karşılık gelmektedir. Çalışmanın tüm sürecini özetleyen ve dere yatağı 1. kısmını temsil eden Mart 2014 – Eylül 2020 dönemine ait ölçümler mukayese edildiğinde çok bariz bir şekilde net değişimin yığılma yönünde olduğu tespit edilmektedir. Ancak, Mart 2014 – Nisan 2018 aralığında neredeyse hiç oyulma gözlenmemesine rağmen Mart 2014 – Eylül 2020 döneminde birçok noktada oyulma hareketinin de başladığı görülmektedir.

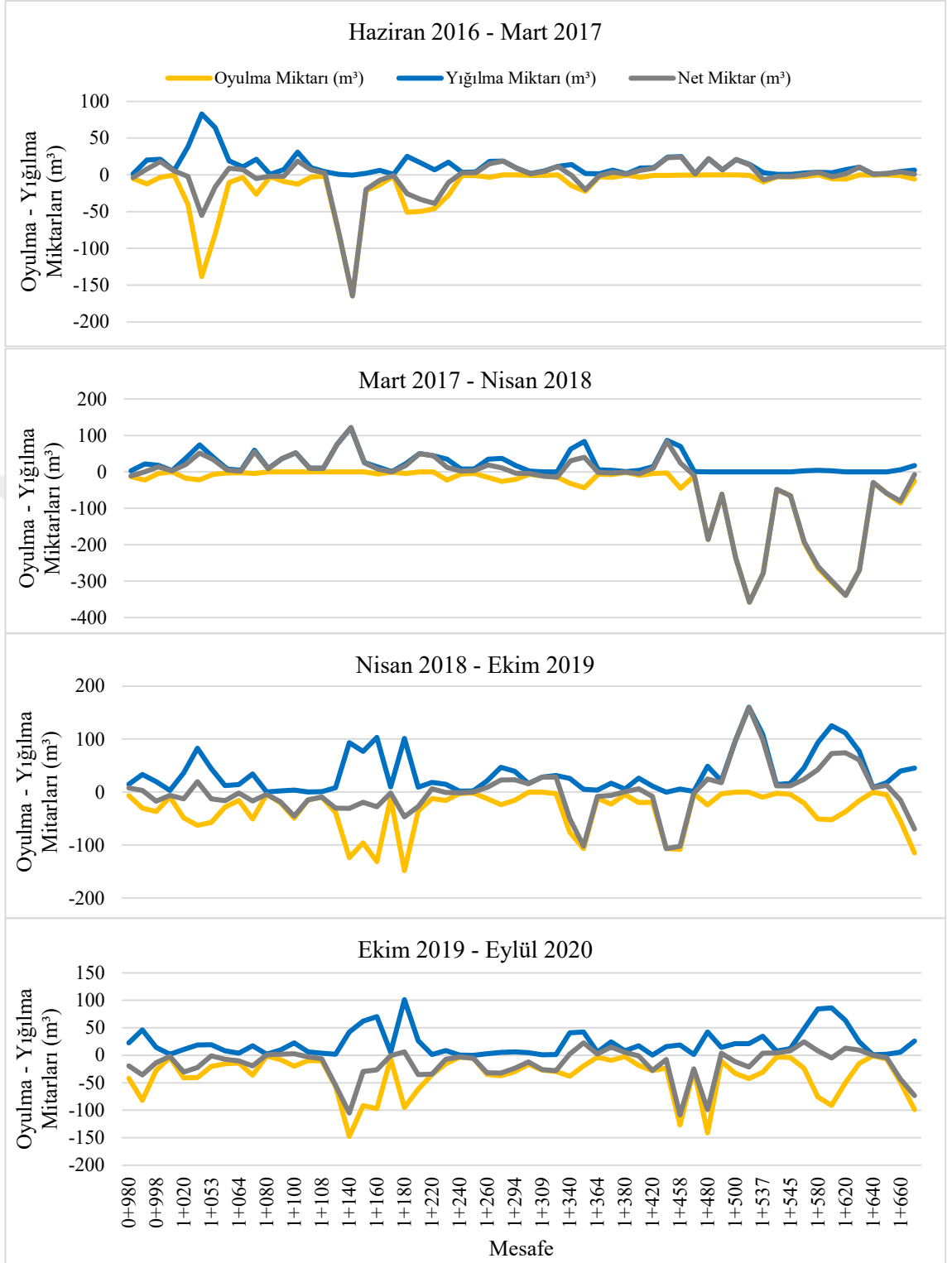


Şekil 4.27. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1.kısım)

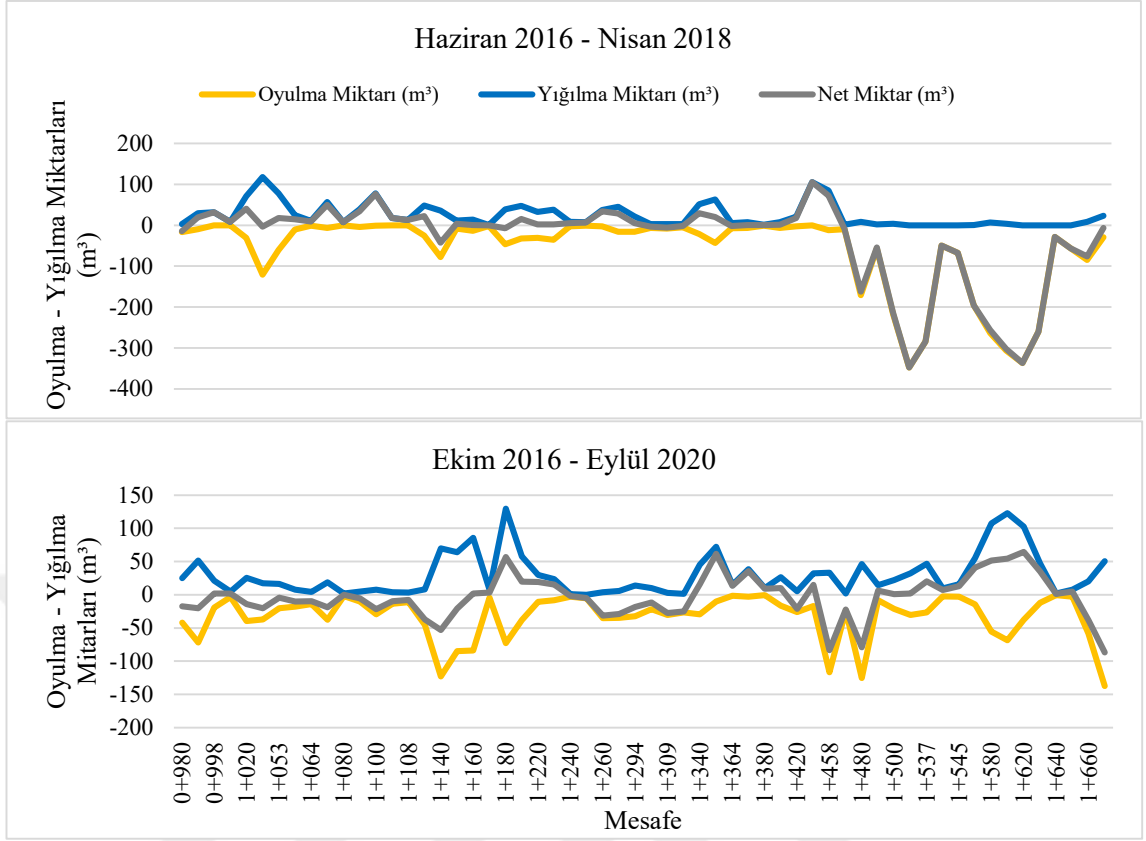


Şekil 4.27. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oculma ve yıgılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (1.kısım) (devamı)

Dere güzergahı boyunca 2. kısma ait üç farklı yıllık döneme ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının değişimleri Şekil 4.28’de sunulmuştur. Haziran 2016 – Mart 2017 zaman aralığında 2. kısmın baraja yakın tarafında nedeni anlaşılamayan birkaç kesitte oyulma yönünde net yerel değişimlerin olduğu ancak bu kısmın net değişimin genel değerlendirilmesinde ihmal edilebilir nitelikte olduğu görülmektedir. 2. kısımda ikinci yıllık döngü olan Mart 2017 – Nisan 2018 zaman aralığında da 1. kısımda aynı yıllık döneme ait net değişime benzer bir şekilde olduğu ancak 2. kısmın sonuna doğru birkaç kesitte 400 m³’lere varan oyulmaların olduğu gözlenmektedir. Bu ifade edilen belirgin oyulma değişiminin olduğu yer, Armutlu Gemlik Karayolu geçişinin hemen mansabı olarak karşımıza çıkmaktadır (EK-2 Ek Şekil 3). Bu nedenle, bu fazla oluşan oyulma olayının muhtemel bir akarsu kesit değişikliği nedeniyle oluşabilmiş olma ihtimali akla gelmektedir. Baraj inşaatında kazı ve dolgu faaliyetlerinin tamamlandığı ve gövdenin oturmasının bekleneceği sürecin başladığı Nisan 2018 tarihi ile Ekim 2019 dönemine ait veriler karşılaştırıldığında, oyulma ve yığılma miktarları her ne kadar yaklaşık 100 m³ seviyesinde olsa da özellikle karayolu geçişi olan 1+370,000’e kadar net değişim sıfıra yakın düzeydedir. Ancak, karayolu geçişi sonrası özellikle yığılma miktarının artarak yükseldiği görülmektedir. Çalışmanın son topoğrafik alım tarihi olan Eylül 2020 ile bir önceki alım tarihi olan Ekim 2019 verilerinin karşılaştırılması durumunda yine benzer şekilde karayolu geçişinden sonra bir değişimin olduğu ancak bunun bir önceki dönemin aksine oyulma ağırlıklı yaşandığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.11’deki debi değerleri ile birlikte durum değerlendirmesi yapıldığında, en yüksek debi değerlerinin Ekim 2019 – Eylül 2020 döneminde yaşanmasına rağmen 2. kısımdaki değişim diğer dönemlere göre daha yüksek değerlerde bir sonuç vermemiştir. Haziran 2016 – Nisan 2018 zaman aralığındaki 2 yıllık değişimin de neredeyse Mart 2017 – Nisan 2018 zaman aralığındaki 1 yıllık dönemin yansıması şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bütün bu sonuçlardan çalışma bölgesinde mevsimsel değişimlerden dolayı belirgin bir hareketin olduğu, bu hareketin kazı ve dolgu faaliyetlerinden beslendiği ancak yıllık döngüde belirgin bir değişimin olmadığı sonucuna varılmaktadır. Ekim 2016 – Eylül 2020 döneminde oyulma ve yığılma açısından birkaç noktada farklı yükseklik/derinlik değerleri 100 m³’lere ulaşmakla birlikte her kesitte oyulma ve yığılmanın olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın net değişim her bir kesitte sıfıra yakın bir değer almaktadır.



Şekil 4.28. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (2. kısım)



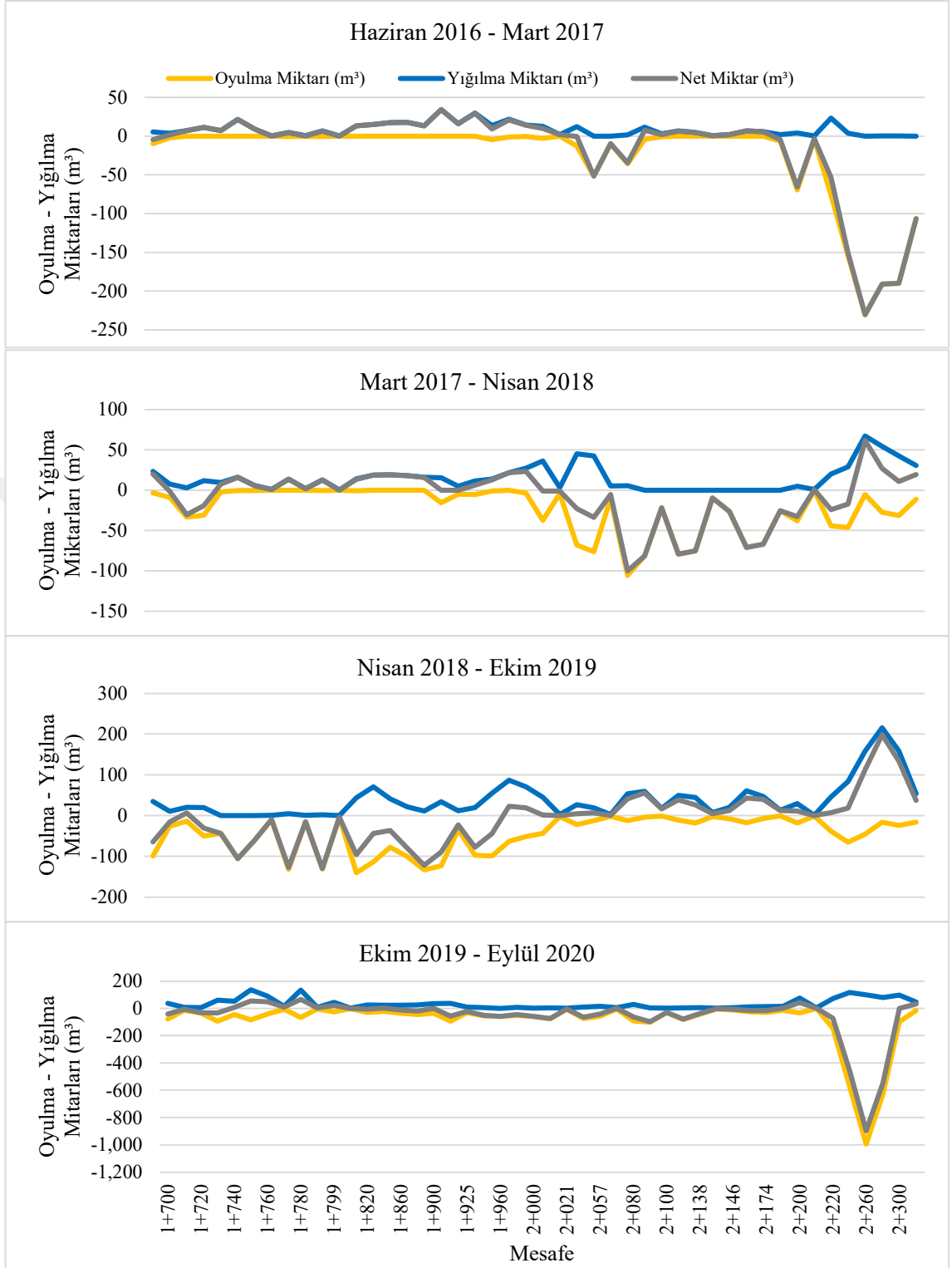
Şekil 4.28. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (2. kısım) (devamı)

Dere yatağında 3. kısma ait üç farklı yıllık döneme ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri Şekil 4.29’da verilmiştir. Haziran 2016 – Mart 2017 arasındaki zaman aralığında 3. kısımda kesitlerin büyük çoğunluğunda net taşınım yok denecek kadar azdır. Yalnızca, akarsu üzerinde km: 2+220,000’de bulunan köprü ile akarsuyun denize birleştiği nehir ağzında 250 m³’e varan oyulmalar oluşmuştur. Mart 2017 – Nisan 2018 zaman aralığındaki kesitlerdeki davranışın ise nehir ağzında yığılma ve akarsuyun yukarısına doğru belli bir bölgede oyulma şeklinde olduğu görülmektedir. Bu oyulma, Mart 2017 tarihinde DSİ iş makineleri tarafından km: 2+220,000’de bulunan köprü ile deniz giriş ağzında yapılan temizlik kazısı çalışması nedeniyle olduğu bilinmektedir. Bu dönemde yapılan temizlik kazısı ile 2 134 m³ dere yatağı malzemesi çıkarılarak depo sahasına istiflenmiştir. Ancak dere yatağı üst kotlarından gerek baraj inşaatı nedeniyle gerekse doğal akış sebebiyle bu noktaya taşınan katı madde sürekli birikerek delta oluşturmaktadır. Denize giriş ağzının aynı zamanda balıkçı barınağı olarak kullanılması nedeniyle belirli dönemlerde bu bölgede DSİ tarafından temizlik kazıları yapıldığı bilinmektedir. Mart 2017 tarihinde

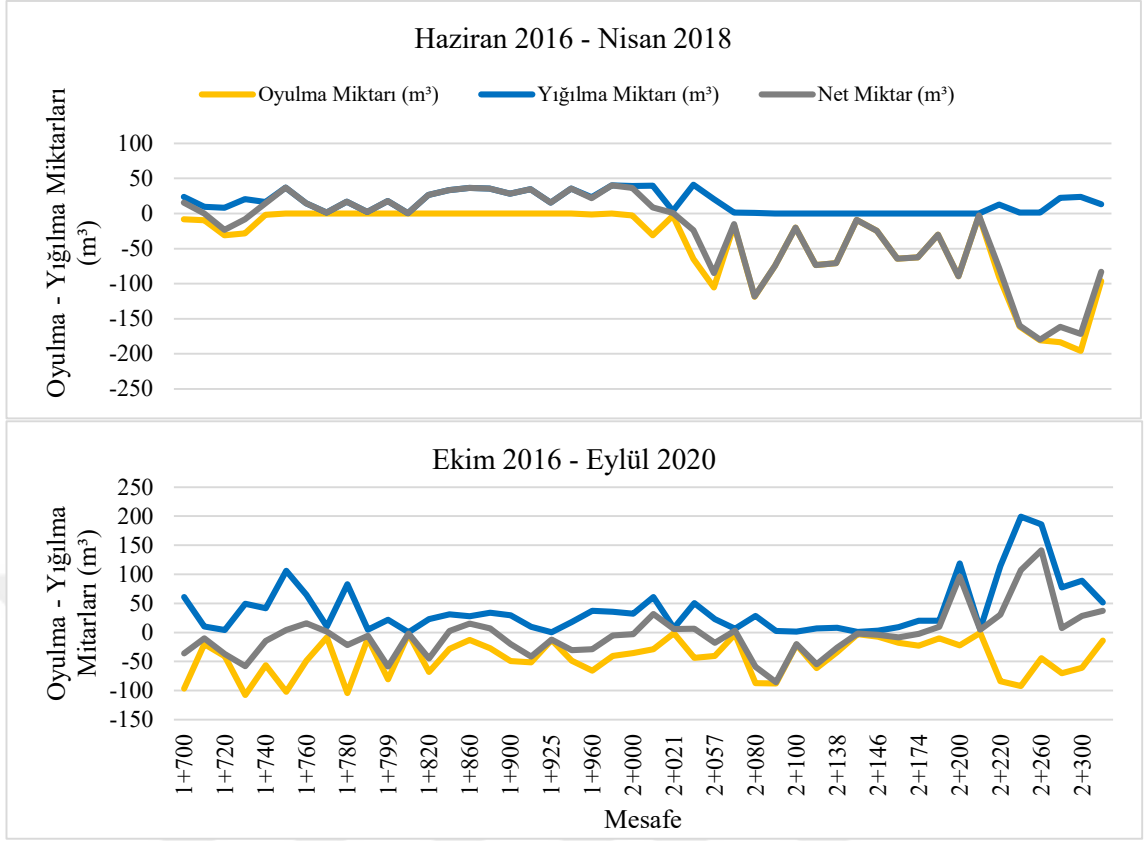
yapılan temizlik kazısından sonra bölgede yığılmalar devam etmiş ve Mayıs 2020 tarihinde yapılan ikinci temizlik kazısı ile bölgeden 1 555 m³ dere yatağı malzemesi çıkarılmıştır. Tüm bu temizlik faaliyetleri dikkate alındığında 3. kısma ait güzergah boyunca değişim grafiğinde, özellikle Haziran 2016 – Mart 2017 ve Ekim 2019 – Eylül 2020 dönemleri arasında denize giriş ağzındaki oyulmaların bu temizlik kazıları nedeniyle gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Yine bu iki dönemde km: 1+680,000 – 2+220,000 arasında dere yatağında oyulma ve yığılma değerlerinin sıfıra yakın olduğu görülmektedir.

Dere yatağında Haziran 2016 ile Mart 2017 döneminde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları Şekil 4.30'da sunulmuştur. Bu şekle göre, bu zaman aralığında oyulma ve yığılma bölgelerinin bariz bir şekilde ayrıldığı iki farklı bölgenin olduğu görülmektedir. Oyulma bölgesinde en büyük derinlik yaklaşık 2 m iken yığılma bölgesinde en büyük yükseklik 4,5 m'dir. Oyulma yüzey alanı %47 iken yığılma yüzey alanı %53 olarak belirlenmiştir. Kazı faaliyetleri sonucunda Mart 2014 – Haziran 2016 tarihleri arasında yığılmaya maruz kalan 1. kısmın, kazı faaliyetlerinin büyük ölçüde tamamlanmasından sonra oyulmaya doğru eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durumda yığılan malzemenin daha sonra oyularak mansaba doğru taşınmıştır.

Şekil 4.31, dere yatağında Mart 2017 ile Nisan 2018 tarihlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımlarını göstermektedir. Bu alansal haritada, bir önceki yıldakinin tersine barajın hemen mansabındaki bölgede yığılma bölgesi ve deniz tarafında ise oyulma bölgesi olduğu görülmektedir. Yığılmaların 4 m maksimum yüksekliğe sahip olduğu ve oyulmanın ise 3,54 m maksimum derinlikte olduğu anlaşılmıştır. Yüzey alanlarının oranları irdelendiğinde, oyulma yüzdesi %61 iken yığılma yüzdesinin %39 olduğu belirlenmiştir.



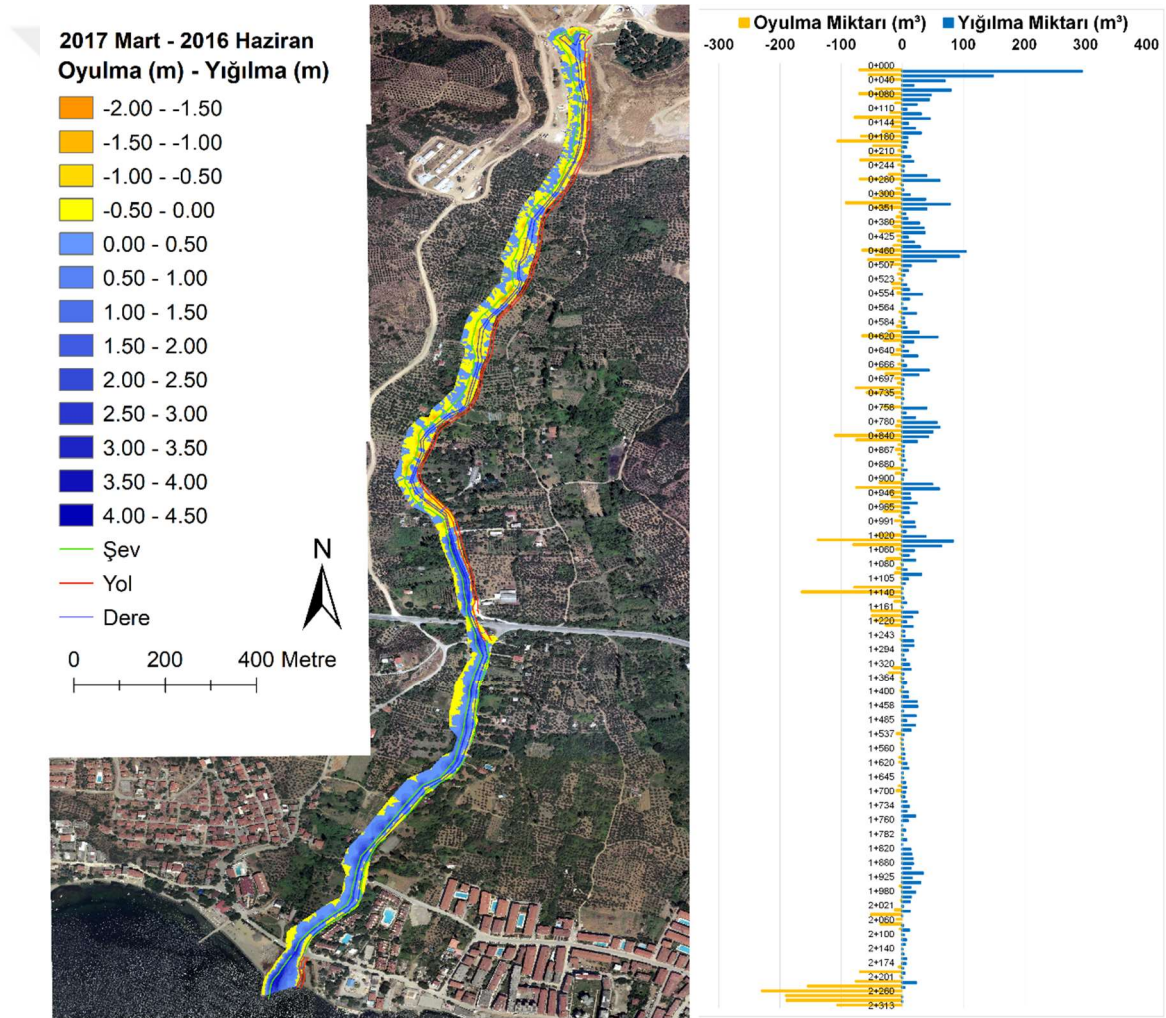
Şekil 4.29. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (3. kısım)



Şekil 4.29. Dere yatağında farklı yıllık dönemlere ait kesitlerde oluşan hacimsel oyulma ve yığılma miktarlarının güzergah boyunca değişimleri (3. kısım) (devamı)

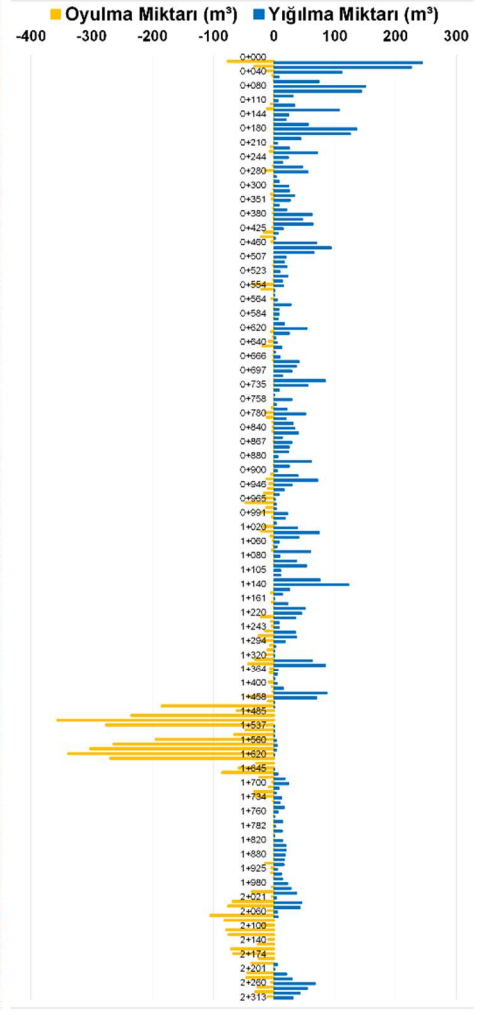
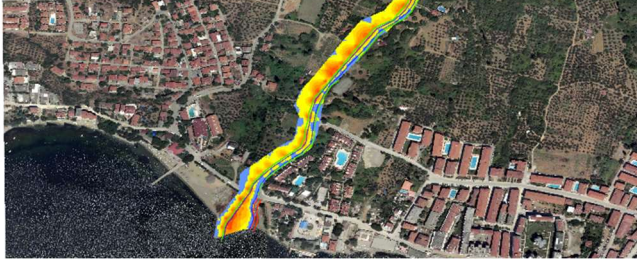
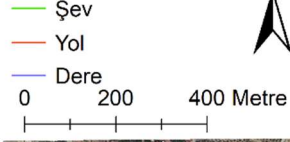
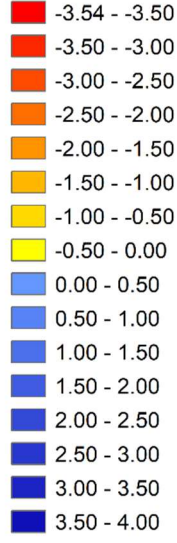
Kazı ve dolgu faaliyetlerinin tamamlandığı Nisan 2018'den sonraki yaklaşık 1 yıllık süre sonrasında Ekim 2019 tarihinde alınan topoğrafik veriler ile elde edilen alansal haritada yığılma ve oyulma dağılımları her bir en kesit noktasında var olduğu görülmektedir (Şekil 4.32). Özellikle, baraj dolusavak çıkışı ve denize giriş ağızı dışında kalan bölgede yığılma ve oyulma miktarlarında bir denge durumu söz konusudur. Şekil 4.33'te verilen Ekim 2019 – Eylül 2020 alansal dağılımında da Şekil 4.32'ye benzer şekilde denize giriş ağızı ve baraj çıkış noktasında yüksek oyulma ve yığılma değerleri gözükmesine rağmen, güzergahın diğer noktalarında oyulma ve yığılma açısından düşük değerler elde edilmiştir. Bu dönemde, söz konusu dere yatağının stabil bir hale dönüştüğü görülmektedir. Dere yatağında Haziran 2016 ile Nisan 2018 tarihlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları ise Şekil 4.34'te görselleştirilmiştir. Bu 2 yıllık alansal dağılım farklarına göre, barajın hemen mansabında hem oyulma hem de yığılma alanları akarsuyun akış doğrultusuna bağlı olarak görülmüştür. Buna rağmen, yığılmanın daha ağırlıkta olduğu ve özellikle Armutlu

Gemlik Karayolu'nun hemen mansap bölgesine doğru aşırı oyulmaların akarsudaki kesit değişikliği nedeniyle oluştuğu kanısına varılmıştır. Yığılmaların maksimum 4 m yükseklikte ve oyulmaların ise maksimum 3,46 m derinlikte olduğu ve yüzey alanlarının %54,5'i oyulma, %45,5'i yığılma olarak belirlenmiştir. Son topoğrafik ölçüm tarihi olan Eylül 2020 ile bu mevsime ait ilk alım tarihi olan Ekim 2016 arasındaki ölçümler ile oluşturulan alansal dağılım haritası Şekil 4.35'te verilmiştir. Bu dağılım haritasından görüleceği üzere, özellikle barajın hemen çıkışında 3,50 m yığılma yüksekliği ve 3,12 m oyulma derinliği oluşmuştur. Güzergah boyunca parçalı bir şekilde yığılma ve oyulma alanları görülmektedir. Yüzey alanlarının %47'i oyulma, %53'i yığılma şeklindedir.



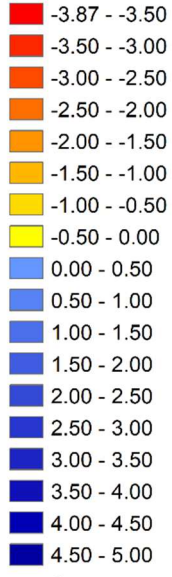
Şekil 4.30. Dere yatağında Haziran 2016 – Mart 2017 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

2018 Nisan - 2017 Mart
Oyulma (m) - Yığılma (m)



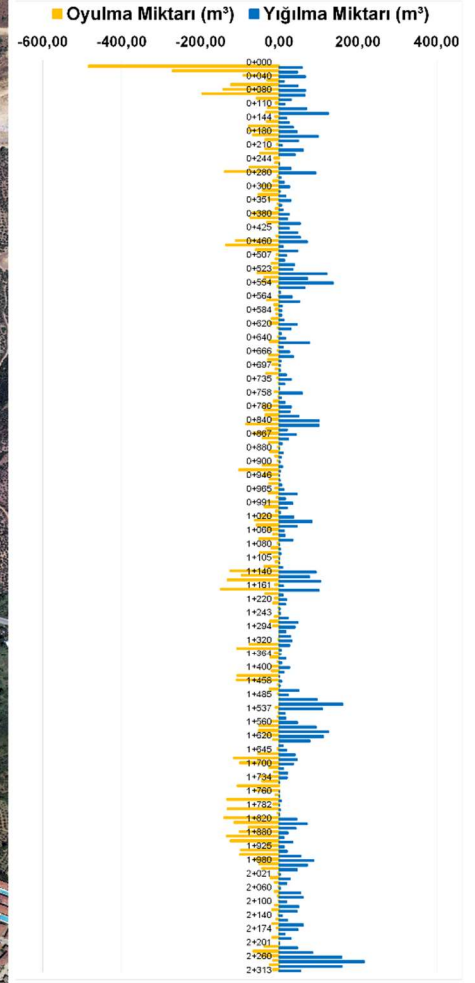
Şekil 4.31. Dere yatağında Mart 2017 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

2019 Ekim - 2018 Nisan
Oyulma (m) - Yığılma (m)



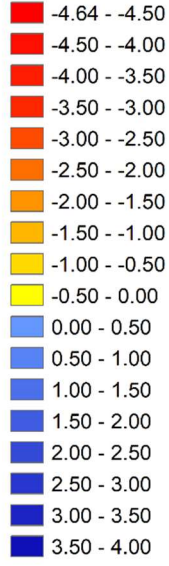
Şev
Yol
Dere

0 200 400 Metre



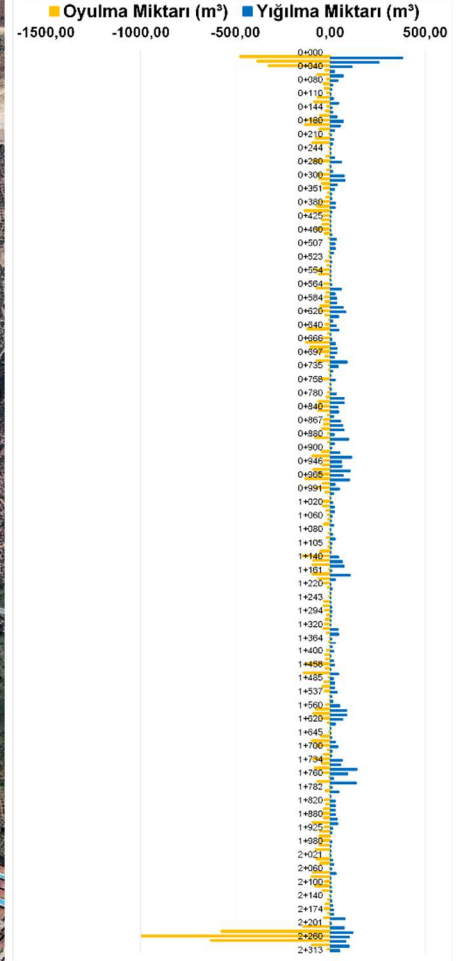
Şekil 4.32. Dere yatağında Nisan 2018 – Ekim 2019 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

2020 Eylül - 2019 Ekim
Oyulma (m) - Yiğilma (m)



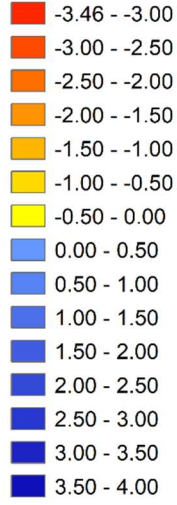
Şev
Yol
Dere

0 200 400 Metre

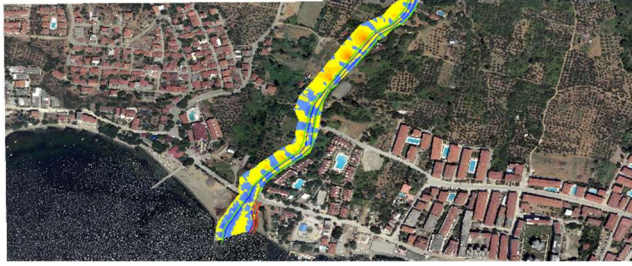
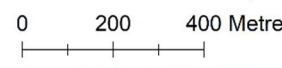


Şekil 4.33. Dere yatağında Ekim 2019 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topografik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

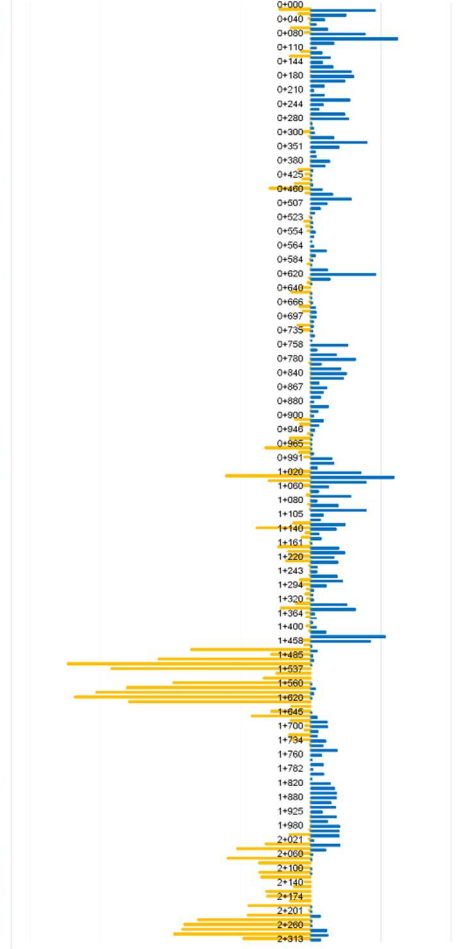
2018 Nisan - 2016 Haziran
Oyulma (m) - Yığılma (m)



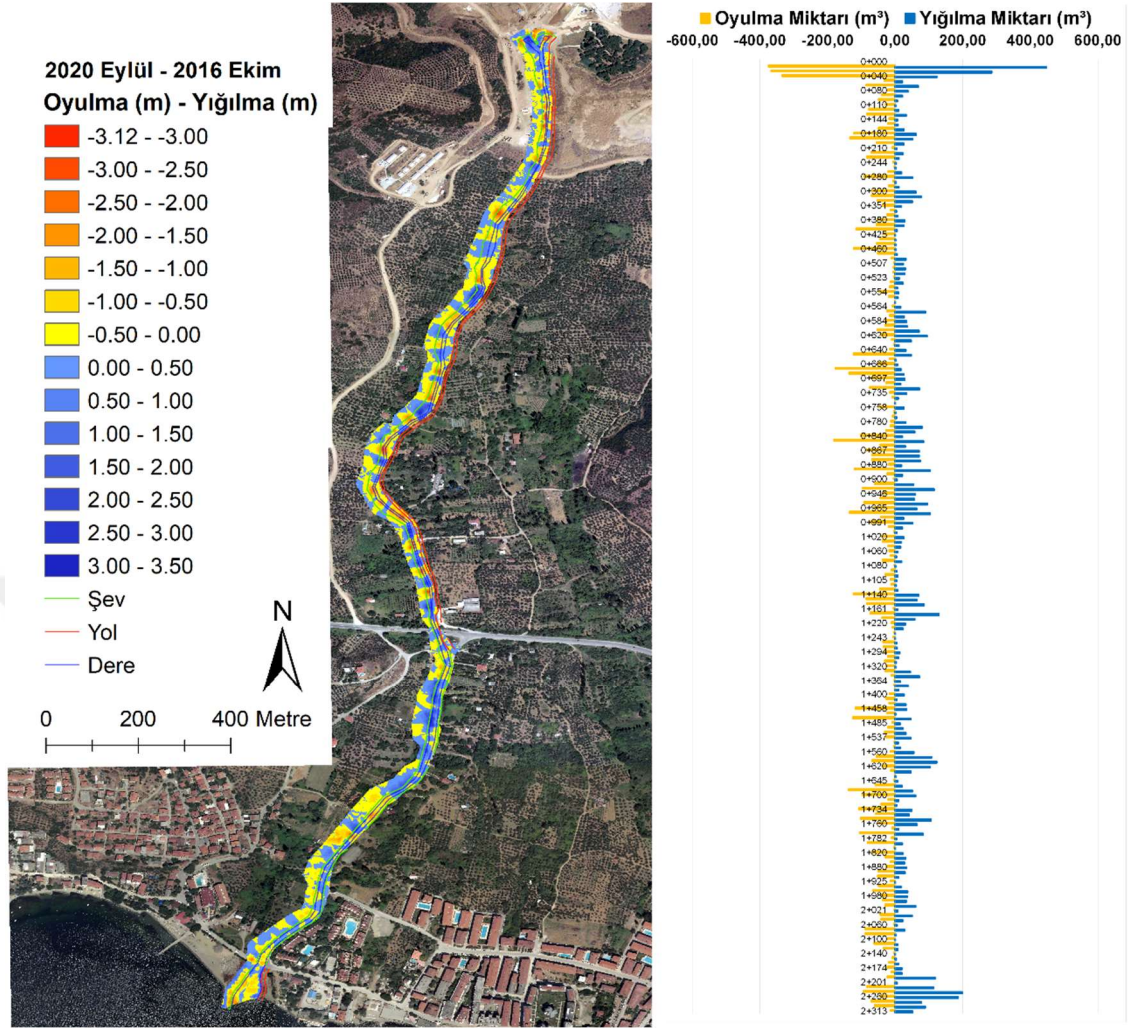
Şev
Yol
Dere



■ Oyulma Miktarı (m³) ■ Yığılma Miktarı (m³)



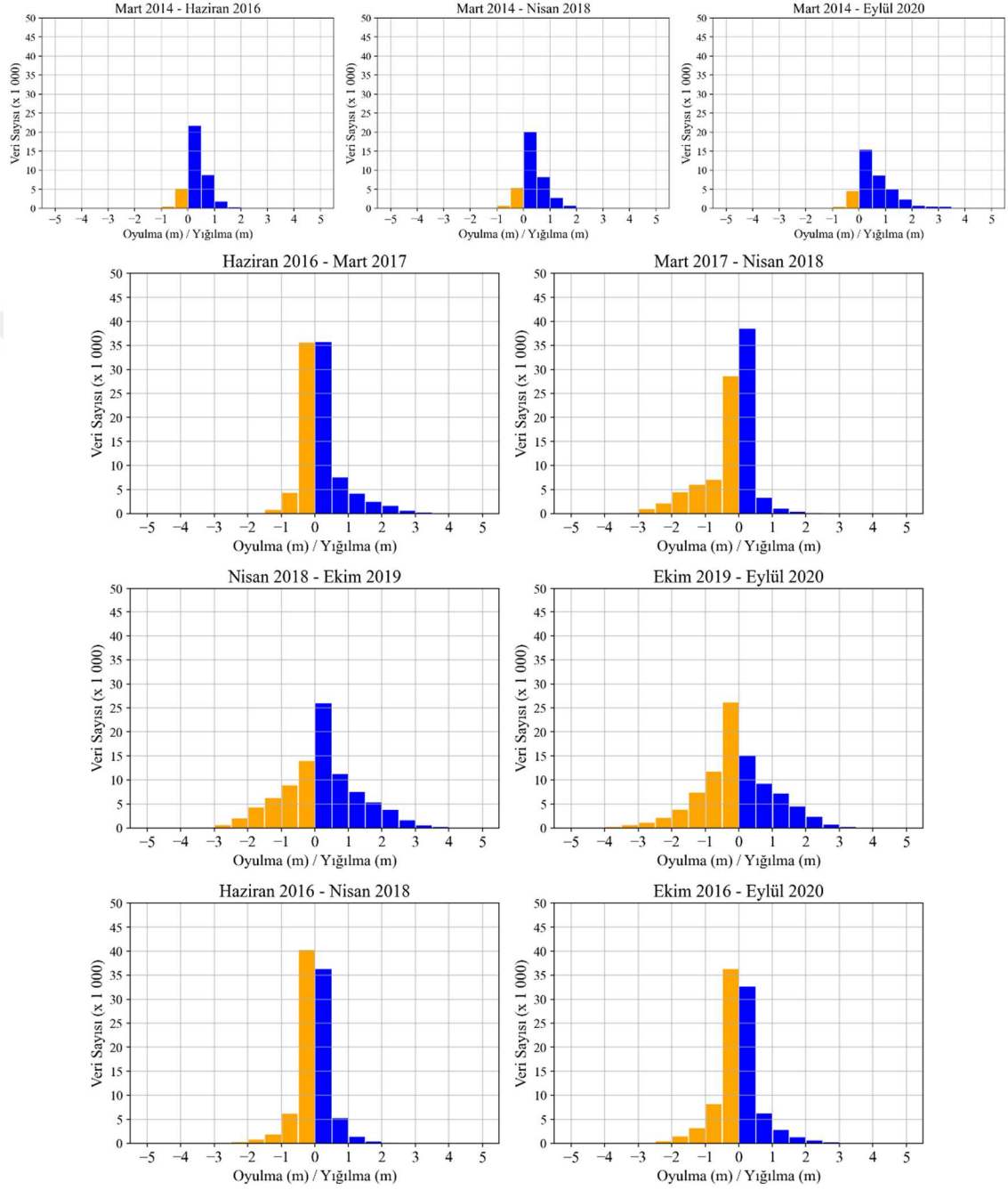
Şekil 4.34. Dere yatağında Haziran 2016 – Nisan 2018 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları



Şekil 4.35. Dere yatağında Ekim 2016 – Eylül 2020 dönemlerinde gerçekleştirilen topoğrafik okumalar arasındaki farkların alansal dağılımları

Altı aylık dönemler için gerçekleştirilen farklı dönemlere ait iki farklı zaman aralığındaki topoğrafik okumaların aralarındaki farkların dere yatağı boyunca frekanslarının histogram grafiği yıllık dönemler için de belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 4.36’da verilmiştir. Mart 2014 ölçümü yalnızca çalışma bölgesinin 1. kısmı için mevcut olduğundan ve o bölgede yığılma bariz hakim olduğundan bu yılı temel alan Şekil 4.36’nın en üst satırındaki 2 yıllık, 4 yıllık ve 6 yıllık veriye dayanan sonuçlar da benzer karakter göstermektedir. Bu durum, 1. kısımdaki asıl yığılma faaliyetinin baraj inşaatı kazı faaliyetleri sonucu ortaya çıktığını desteklemektedir. Kazı faaliyetlerinin hemen hemen tamamlandığı Haziran 2016’dan sonraki ilk yılda hafifçe yığılma ve 2. yılda hafifçe oyulma eğiliminin hakim olduğu ve bu davranışın Haziran 2016 – Nisan 2018 arasında

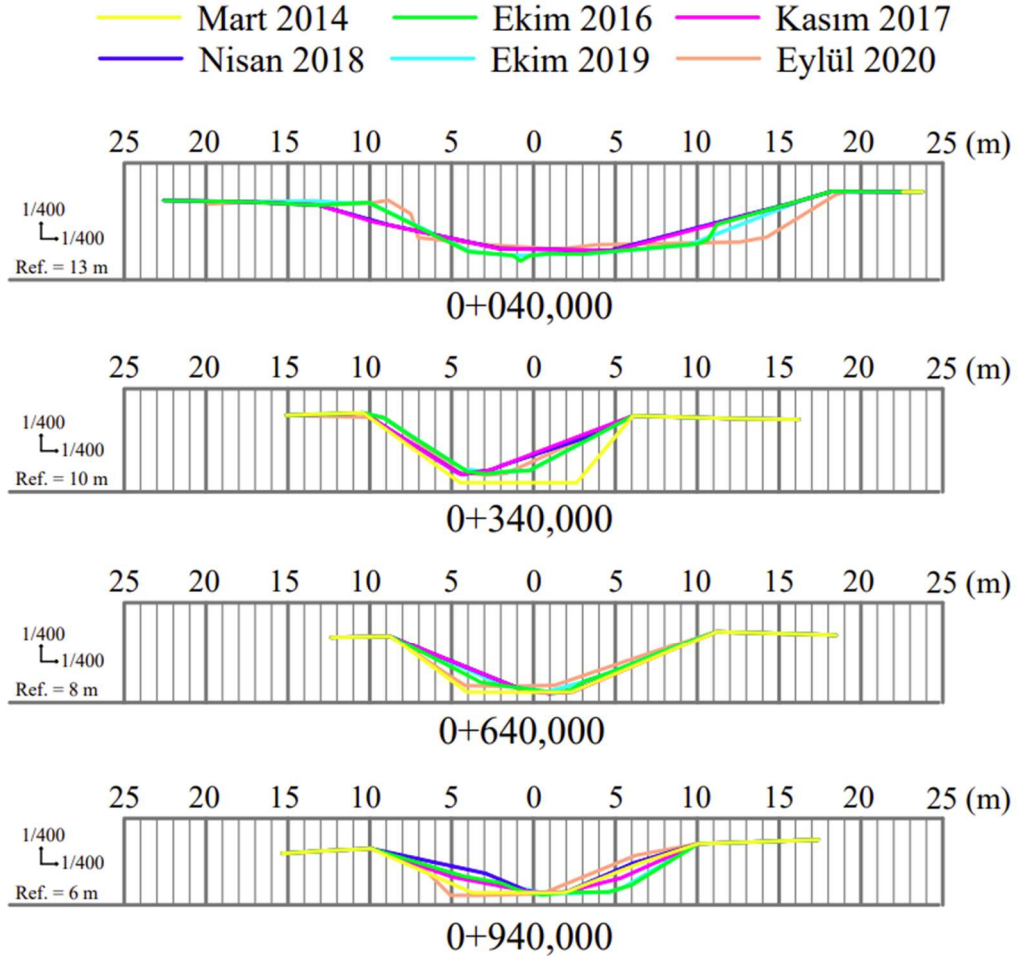
oyulma ve yığılma dağılımının hemen hemen eşit olmasına sebebiyet verdiği sonucuna varılmıştır. Baraj inşaatı nedeniyle kazı ve dolgu faaliyetinin olmadığı Nisan 2018 tarihinden sonraki dönemlerde oyulma ve yığılma dengesinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.36. Çalışma bölgesi boyunca farklı yıllık dönemlerde belirlenen okumalar arasındaki farkların histogramları

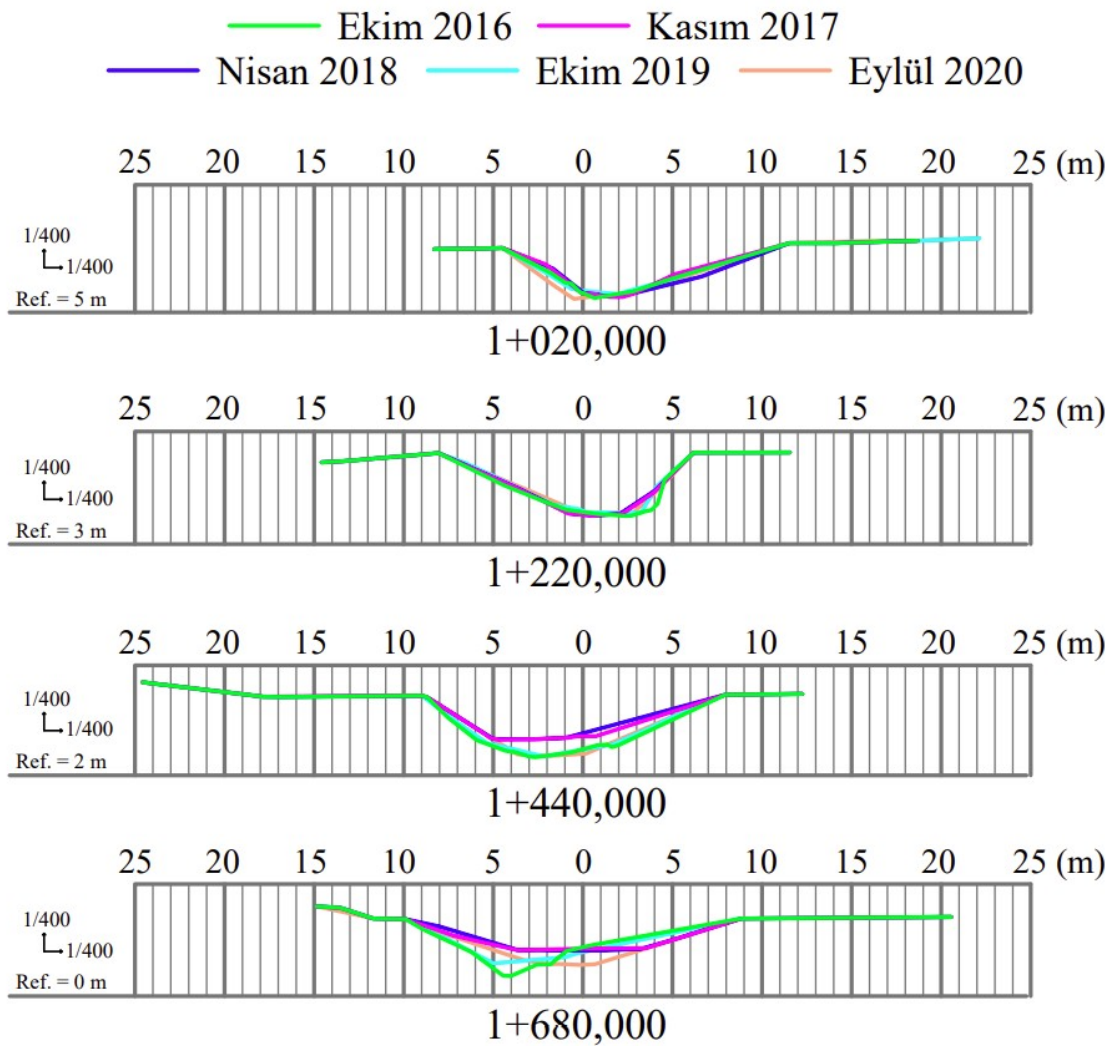
4.3. En Kesit Değişimleri

Dere güzergahında baraj dolu savak deşarj kanalının bitiminde yer alan nokta ile denize giriş ağızı arasındaki topoğrafik ölçümler neticesinde elde edilen 199 adet en kesit her ölçüm dönemi dikkate alınarak üst üste çakıştırılmış ve zamana bağlı olarak dere yatağındaki değişim tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinin ilk kısmına ait temsili 4 adet en kesit Şekil 4.37’de verilmiştir. Bu en kesitler incelendiğinde, özellikle yatağın şevleri ve talveg hattında her ölçüm döneminde belirgin bir değişim olduğu görülmüştür. Bu bölgede, özellikle dere yatağı sağ ve sol sahil şevlerinde dönemsel olarak belirgin bir şekilde yığılma ve oyulmanın gerçekleştiği görülmektedir. Talveg hattında ise dere yatağı taban kotu ile birlikte hat çizgisinin de sabit kalmadığı anlaşılmaktadır.



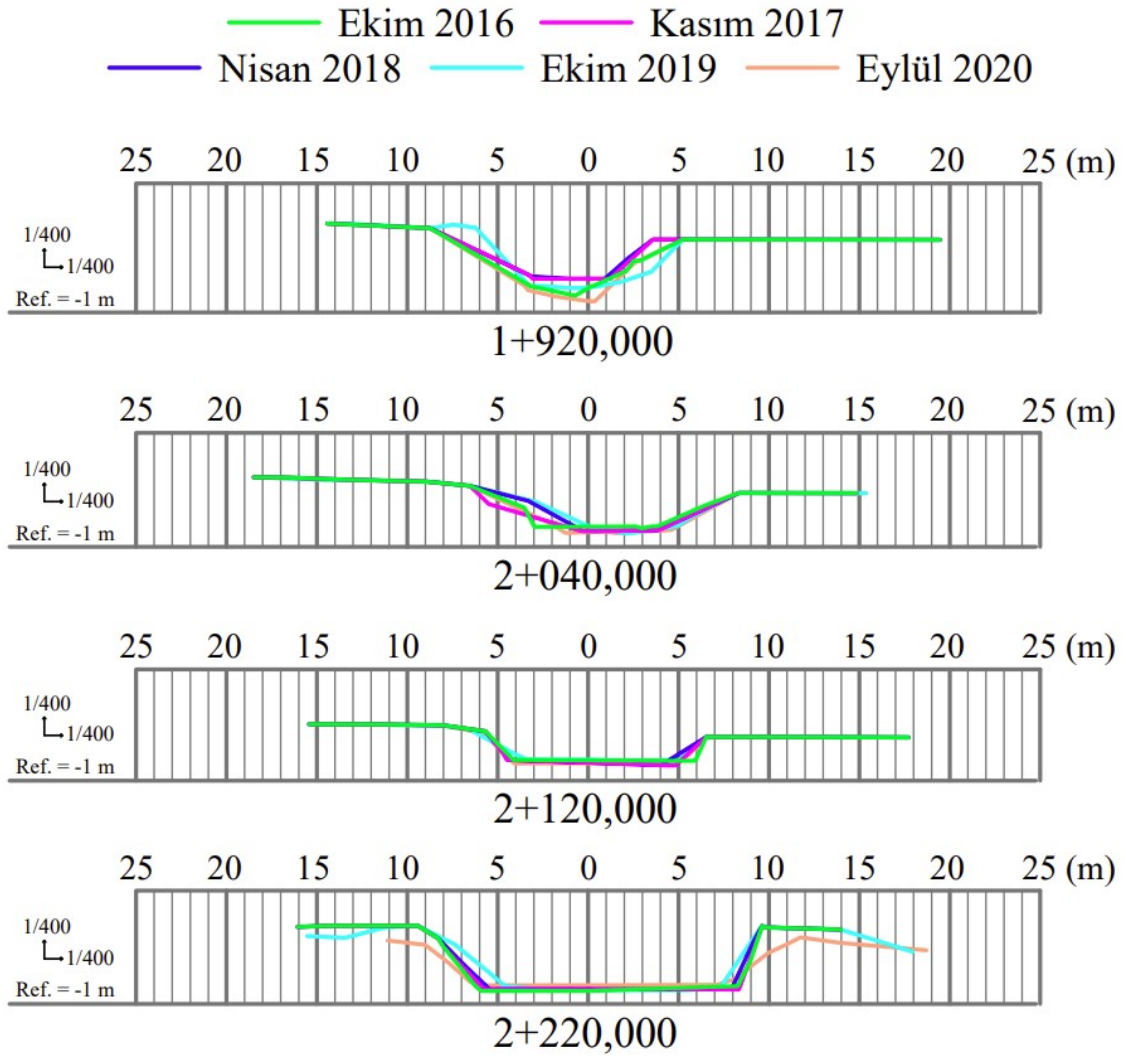
Şekil 4.37. Dere yatağı 1. kısmında Mart 2014 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri

Dere yatağı 1. kısımda görülen sağ ve sol sahil şevlerindeki ani ve belirgin değişime karşın 2. kısımda daha çok dere yatağı tabanında değişim yaşandığı görülmektedir (Şekil 4.38). Özellikle dere yatağı tabanında baraj inşaatı çalışmalarının olduğu dönemlerde yatak taban kotunun yükseldiği barajdaki çalışmalar sonrası dönemde ise yatak taban kotunun alçaldığı net olarak görülmektedir. Bu durum, baraj inşaat faaliyetleri süresince akım ile birlikte gelen katı maddenin bu bölgede yığılmasıyla taban kotunu yükselttiği ve sonrasında yatakta bulunan serbest malzemenin akış ile taşınarak dere yatağı taban kotunun seviyesini düşürdüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 4.38. Dere yatağı 2. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri

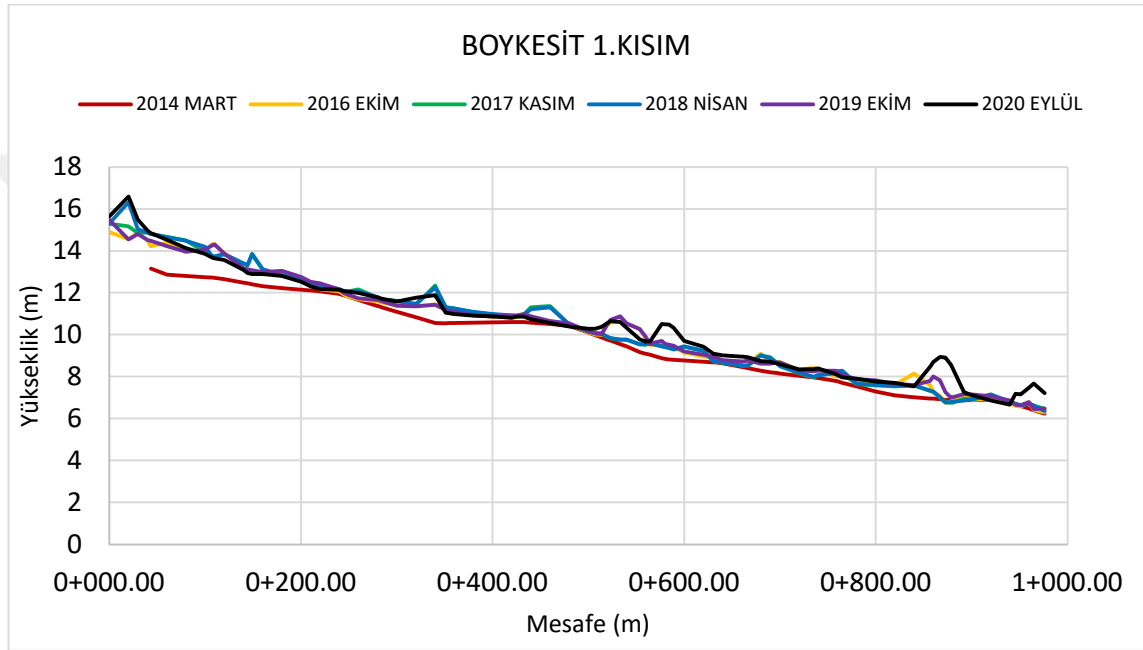
Dere yatağının 3. kısmında akış ile üst kotlardan taşınan malzemenin denize deşarj olmadan önceki kesitler incelendiğinde, 1. ve 2. kısımdaki gibi dere yatağı tabanında ve şevlerde değişim yaşandığı anlaşılmaktadır. Km: 2+000,000'dan sonra deniz seviyesinin etkili olduğu alanda şevlerde az miktarda değişim yaşandığı görölmektedir (Şekil 4.39). Özellikle denize dökölen dere yatağı kısmının iş makineleri ile bu bölgenin sürekli temizlenmesi nedeniyle dere yatağı bölgesinde stabil bir durum olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.39. Dere yatağı 3. kısmında Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait en kesit değişim örnekleri

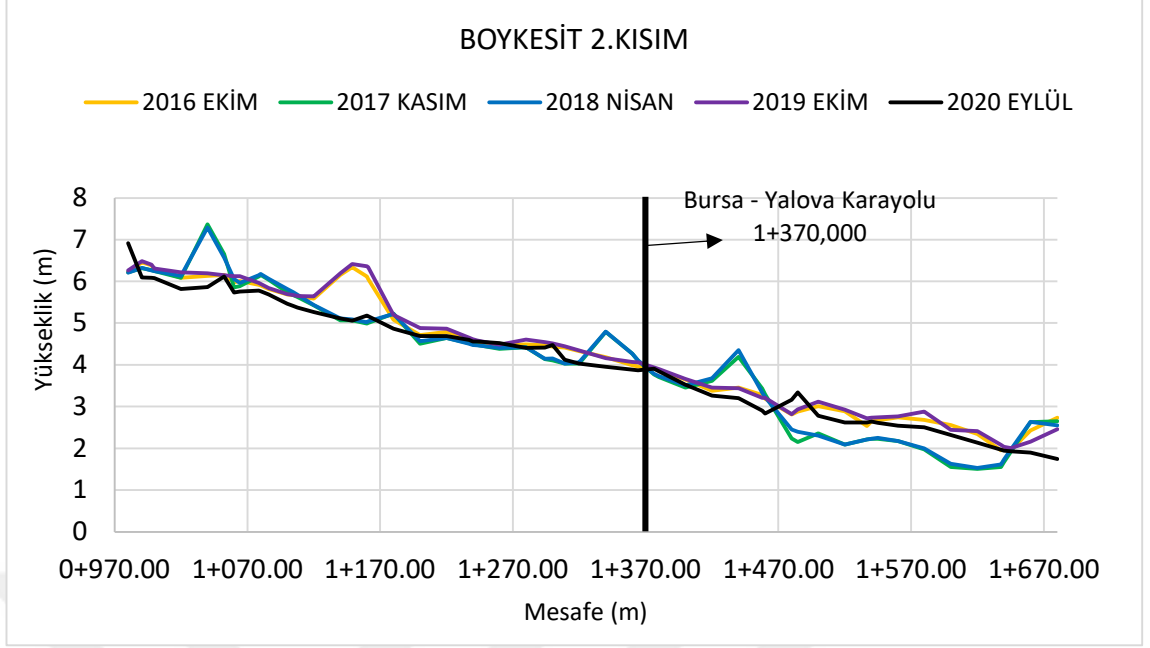
4.4. Boy Profili Değişiminin İncelenmesi

Çalışma kapsamında 1. kısımda ilk topoğrafik ölçümlerin alındığı tarih olan Mart 2014'ten Eylül 2020'ye kadar olan veriler dikkate alınarak oluşturulan boy profilleri Şekil 4.40'daki gibi karşılaştırıldığında, baraj inşaat faaliyetlerinin ilk başladığı andan itibaren boy profilinde net bir yükselme görülmektedir. Özellikle baraj deşarj kanalı çıkış ağzında yoğun olmak üzere profilin tamamında yükseliş devam etmiştir.



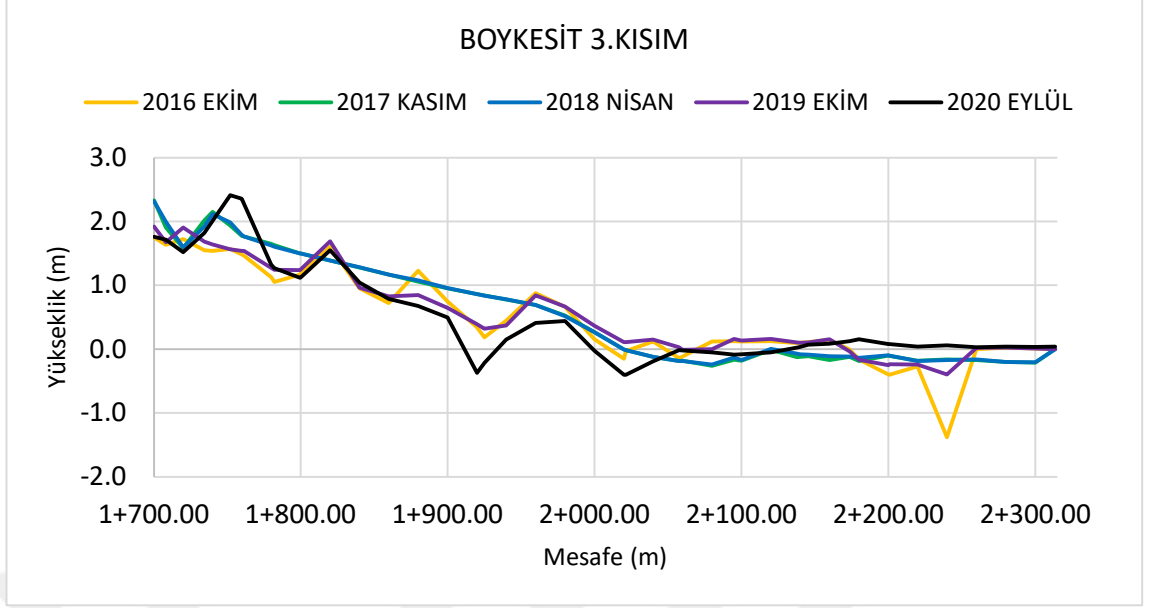
Şekil 4.40. Dere yatağı 1. kısımda Mart 2014 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri

Şekil 4.41'de ise 2. kısma ait dere yatağı boy profilleri farklı ölçümler için karşılaştırılarak verilmiştir. Baraj inşaatının yoğun devam ettiği 2016 yılına ait boy profili çizgisinin diğer yıllara göre daha yukarıda olduğu yani yatakta bir yükselmenin var olduğu görülmektedir. Km: 1+370,000'te bulunan Bursa – Yalova Karayolu'na ait köprü geçişinden sonra dere yatağındaki değişimin memba kısmına kıyasla daha farklı bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu kısımda daha çok oyulma yönünde bir eğilimin yaşandığı görülmektedir. Eylül 2020 ölçümünde barajda yaklaşık 2 yıldır kazı dolgu faaliyetlerinin olmaması ile birlikte dere yatağında boy profili daha doğrusal bir hal almıştır.



Şekil 4.41. Dere yatağı 2. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri

Şekil 4.42’de verilen dere yatağı 3. kısma ait boy profilleri incelendiğinde, denize giriş ağzı olan km: 2+000,000’den sonra birbirine çok yakın bir profil çizgisi olduğu görülmektedir. Ancak, daha membada kalan ve 2. kısma yakın olan bölgede her dönem farklı bir değişimin yaşandığı görülmektedir. Bunun sebebinin denize giriş ağzı öncesinde üst kotlardan taşınan malzemenin mansabın son bölgesinde yığılma ve akabinde hemen oyulma kesitleri oluşturduğundan dolayı olduğu anlaşılmıştır. Özellikle karayolu köprüsünün bulunduğu ve kesitin daraldığı 1+370,000’ten sonra kesitin tekrar normal hale dönüşerek denize kavuşuncaya kadar olan kısımda üst kotlardan gelen serbest malzemenin hem akımın hem eğimin hem de denizin etkisiyle kısa aralıklarla değişken bir şekilde oyulma ve yığılma bölgeleri oluşturmuştur.

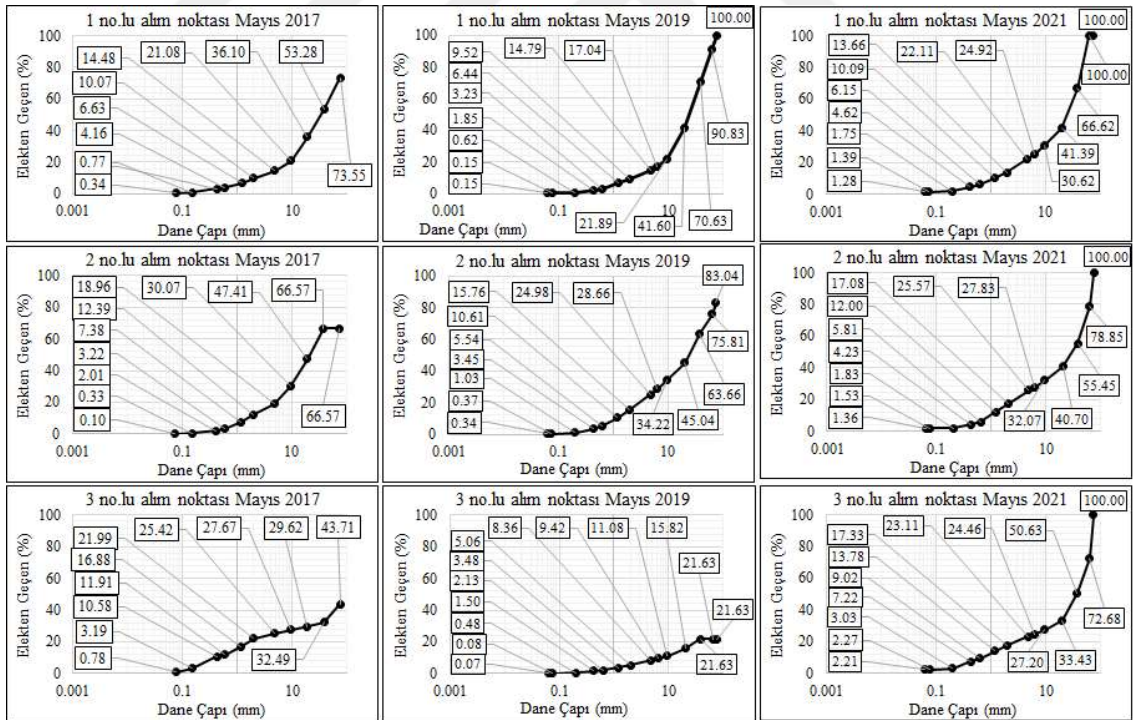


Şekil 4.42. Dere yatağı 3. kısımda Ekim 2016 – Eylül 2020 arası dönemlere ait boykesit profilleri

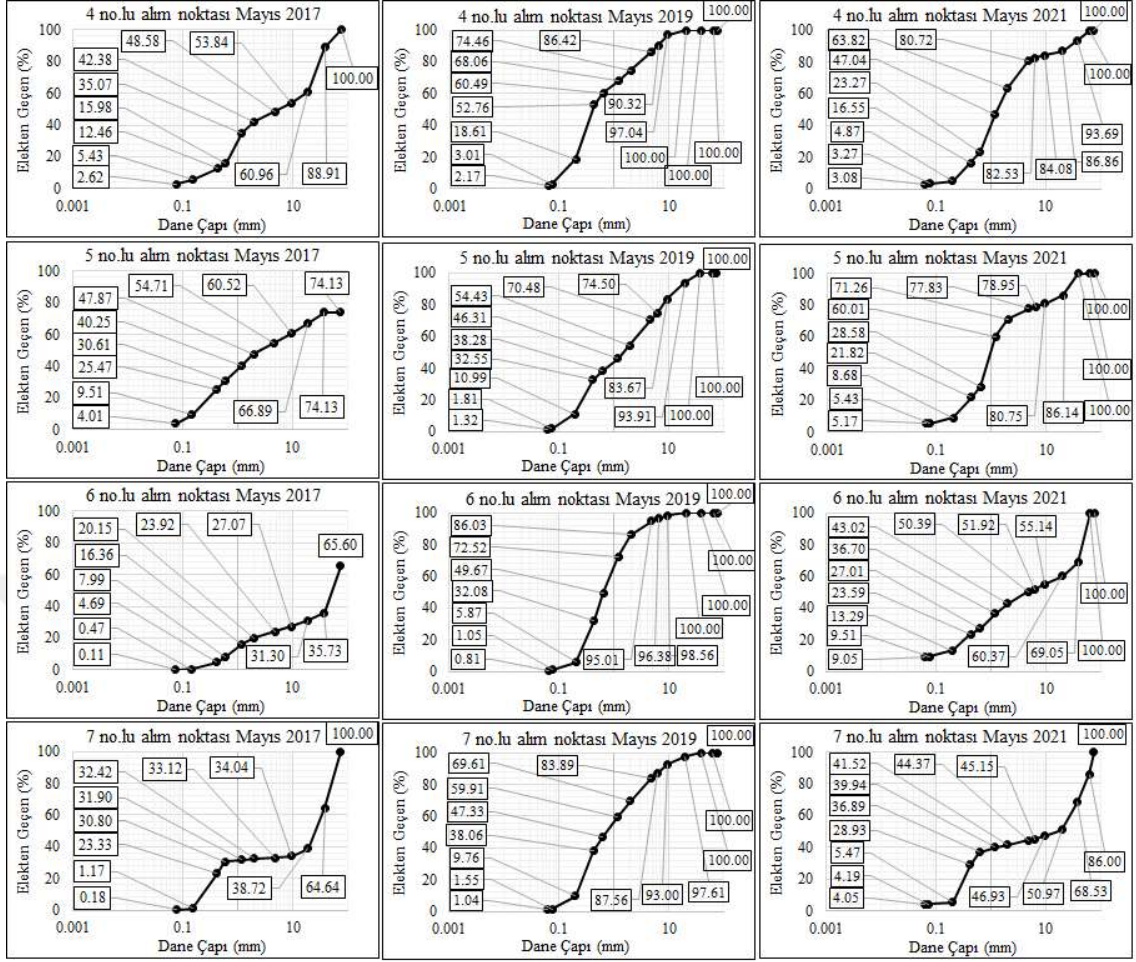
4.5. Elek Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Büyükkuşla Deresi'nde üç farklı tarihte (Mayıs 2017, Mayıs 2019 ve Mayıs 2021) ve Şekil 3.18'de gösterilen 7 farklı noktadan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen elek analizi sonuçları kullanılarak elek analizi grafikleri oluşturulmuş ve örnek alınan ilk üç nokta için Şekil 4.43'te ve diğer noktalar için Şekil 4.44'te sunulmuştur. Şekil 4.43 ve 4.44'ten elde edilen bilgilerin daha kolay irdelenebilmesi ve daha anlaşılabilir olması amacıyla Şekil 4.45 ve 4.46 hazırlanmıştır. Büyükkuşla Barajı'nın hemen mansabında yer alan 1. kısımdaki 1 no.lu noktadan km: 0+077,212'de Mayıs 2017 tarihinde alınan numunede moloz ve çakıl ağırlıklı bir yapının olduğu Şekil 4.45'te görülmektedir. Aynı noktadan Mayıs 2019 ve Mayıs 2021'de alınan numunelerde çakıl ağırlıklı bir yapı mevcuttur. Ancak, özellikle Mayıs 2021 numunesinde çakıl, kum ve ince sınıf malzeme olmasına karşın moloz sınıfında malzeme mevcut değildir. Netice olarak 1 no.lu noktada 2017'den sonra 2021 yılına kadar dere yatağı taban malzemesinde ince taneli bir yapıya dönüşüm olduğu tespit edilmiştir. 2 no.lu nokta (km: 1+375,414) dere yatağı 2. kısmı olarak adlandırılan bölgede yer almaktadır. Bu noktadan 2017, 2019 ve 2021 yıllarının Mayıs aylarında alınan numuneler üzerinde yapılan elek analizi neticesinde ilk dönem alınan malzeme daha iri daneli yapıda olmasına karşın diğer dönemlerde alınan

numunelerde ince yapıda bir formasyona doğru geçiş olduğu görülmektedir. Dere yatağının deniz ile birleştiği 3. kısımda yer alan 3 no.lu noktadan (km: 2+006,354) temin edilen numunelere ait sonuçlar üzerinde yapılan incelemede Mayıs 2019’da alınan numunenin diğerlerine göre daha iri daneli olduğu ancak Mayıs 2021 tarihinde alınan numunenin ince daneli bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Dere yatağı güzergahında alınan bu numuneler bir bütün halinde değerlendirildiğinde, Mayıs 2017’den başlayarak Mayıs 2021’e gelinceye kadar dane çaplarının küçüldüğü ve çakıl ve kum ağırlıklı bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bu dönüşüm baraj gövde dolgusunun Nisan 2018’de tamamlanarak, inşaat faaliyetlerine son verilmesinden sonra üst kotlardan taşınan katı madde hareketinin artık doğal sürece girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Mayıs 2017 ve Mayıs 2019 dönemlerinde elde edilen numunelerin Mayıs 2021 numunesine göre daha iri daneli olmasının nedeni, baraj gövdesinde kullanılan 60 – 80 cm çaplarında kayaların yerleşimi ve sıkıştırılması sırasında bu iri kayalardan kopan çeşitli çaptaki parçaların bu bölgede birikmesinden olabilir.



Şekil 4.43. 1 – 3 no.lu alım noktaları için üç farklı dönemdeki dane çapı dağılım eğrileri (üstten aşağıya 1’den 3’e doğru istasyonlar ve sol sütun Mayıs 2017, orta sütun Mayıs 2019 ve sağ sütun Mayıs 2021 tarihindeki alımları temsil etmektedir)



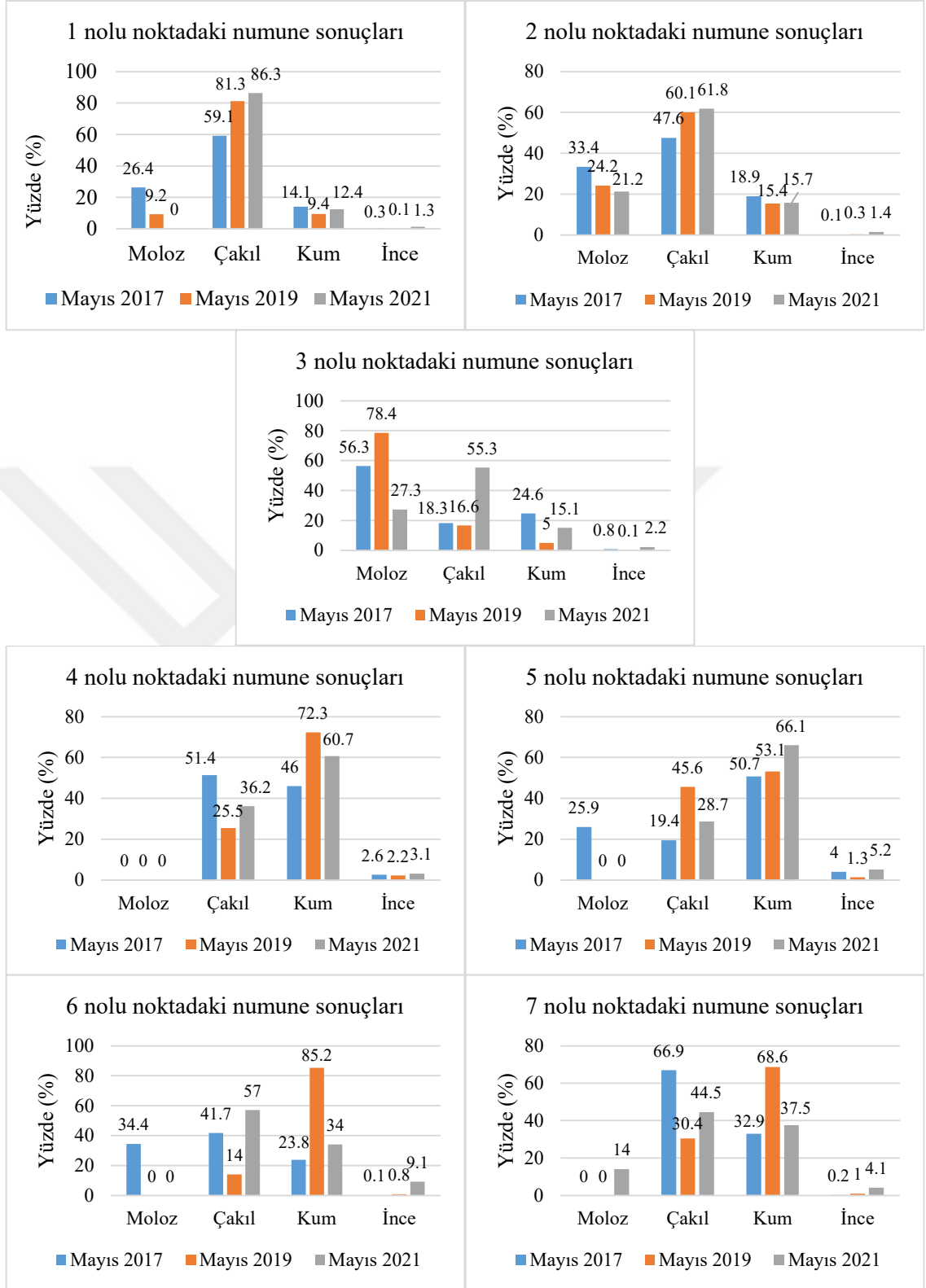
Şekil 4.44. 4 – 7 no.lu alım noktaları için üç farklı dönemdeki dane çapı dağılım eğrileri (üstten aşağıya 4'ten 7'ye doğru istasyonlar ve sol sütun Mayıs 2017, orta sütun Mayıs 2019 ve sağ sütun Mayıs 2021 tarihindeki alımları temsil etmektedir)

Büyükkuşla Deresi'nin Marmara Denizi giriş ağızı sol sahilde yer alan 4 ve 5 no.lu noktalar ile sağ sahilde yer alan 6 ve 7 no.lu noktalardaki numuneler tamamen plaj bölgesindeki doğal zemin yapısını temsil etmektedir. Alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler neticesinde 4 no.lu noktada kum ağırlıklı bir yapı olduğu özellikle 2019 yılında %72,3 oranında yüksek miktarda kum sınıfında malzeme ihtiva ettiği görülmektedir. 5 no.lu noktada ise 2017 yılına ait numunenin diğer dönemlere göre daha iri daneli olduğu görülmüştür. Sağ sahilde yer alan 6 no.lu numunenin iri dane barındırarak 5 no.lu numune ile benzerlik göstermektedir. 7 no.lu numunenin sahip olduğu ince daneli yapı sol sahilde yer alan 4 no.lu numune ile aynı dönemlerde benzer dağılımlara sahip olduğu anlaşılmaktadır. Plaj bölgesindeki tüm numuneler bir bütün olarak ele alındığında Mayıs 2017 yılındaki moloz – çakıl sınıfı malzeme olmasına karşın Mayıs 2019 ve Mayıs 2021

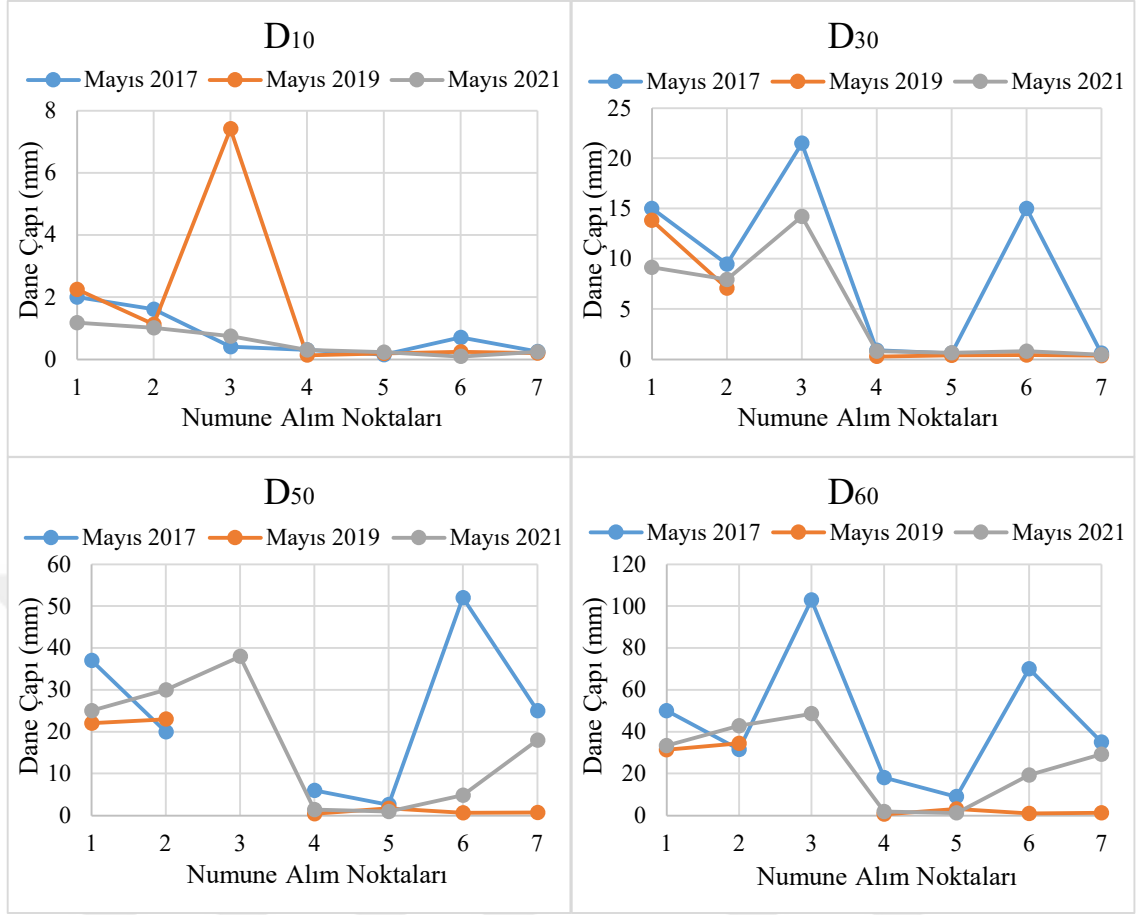
dönemlerinde kum – ince sınıfların ağırlıklı olduğu bir yapıya dönüştüğü anlaşılmaktadır. Dere yatağında gözlenen değişimin bir benzeri plaj bölgesinde de görülmüştür.

Şekil 4.46’da farklı çap yüzdeleri için verilen grafik incelendiğinde; tüm numune alım noktalarında çap ebatlarında düşüşlerin artması göze çarpmaktadır. D_{10} değerinin özellikle 3. numune alım noktasında Mayıs 2017 ölçümünde 0,4 mm iken Mayıs 2019 ölçümünde 7,42 mm olması, bu bölgede çok büyük bir değişim olduğunu göstermektedir. Ardından Mayıs 2021’de Mayıs 2017’de ki alıma yakın bir D_{10} (0,75 mm) değeri ortaya çıkmıştır. Diğer noktalarda ise bu üç yıl arasında benzer durumlar oluşmuştur. D_{30} değerleri incelendiğinde, dere yatağında kalan 1, 2 ve 3 no.lu numunelerde zamana bağlı olarak dane çapının küçüldüğü görülmektedir. D_{60} değerleri ise Mayıs 2017 alımlarına göre 1, 2 ve 3 no.lu numuneler birbirinden çok farklı değerler almaktadır. Ancak, Mayıs 2021 alımında dere yatağındaki her 3 numunenin de değerleri birbirine yakın seyretmektedir. Zamanla beraber dere yatağının denize giriş ağzı noktasında dane çaplarında diğer geçmiş yıllara göre çok farklı değişkenlikler yaşadığı görülmektedir. Bu bölgede dane çapları küçülme eğilimindedir.

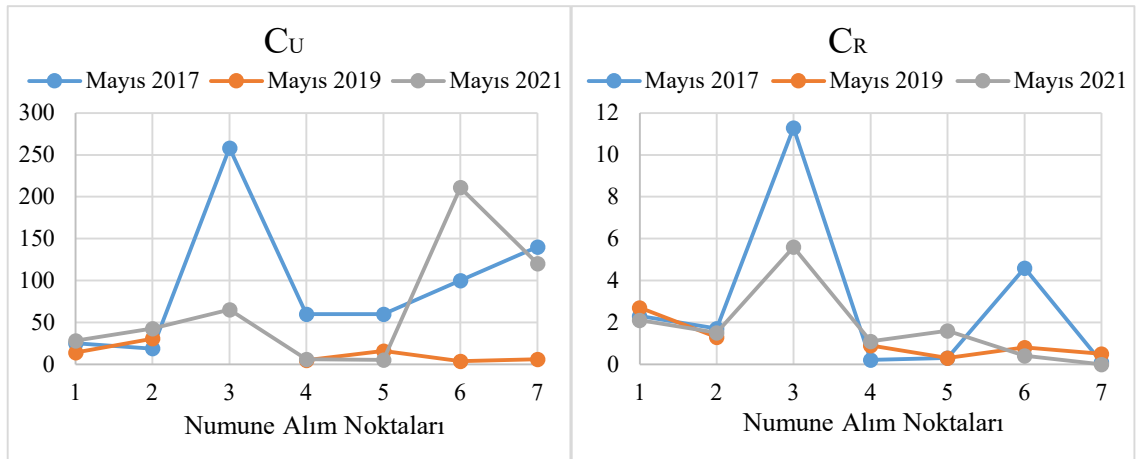
Şekil 4.47’de üniformluk ve süreklilik katsayılarının numune alım noktalarındaki değişimleri sunulmuştur. Dere yataklarında yüzeysel zemin altında yer alan stabil ve konsolide olmuş zeminlerin genelde üniform dağılım göstermesi beklenir. Büyükkumla Deresi’nden Mayıs 2017, 2019 ve 2021 yıllarında alınan dere yatağını temsil eden numuneler üzerinde yapılan inceleme neticesinde 3 no.lu alım noktası hariç üniform bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Sol sahili temsil eden 4 ve 5 no.lu numunelerde zaman içinde üniformluk artış gösterirken, sağ sahili temsil eden 6 ve 7 no.lu numunelerde zamanla beraber büyük değişkenlikler görülmektedir. Bu durumun insan müdahaleleri ve sahil düzenlemeleri gibi faktörler ile oluştuğu söylenebilir.



Şekil 4.45. 1–7 no.lu alım noktalarında iki farklı dönemdeki dane çapı dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.46. Numune alım noktalarında (1 – 7) karakteristik dane çaplarının (D_{10} , D_{30} , D_{50} ve D_{60}) üç farklı zamandaki (2017, 2019 ve 2021) değişimleri



Şekil 4.47. Numune alım noktalarında (1 – 7) üniformluk (C_u) ve süreklilik (C_r) katsayılarının üç farklı zamandaki (Mayıs 2017, 2019 ve 2021) değişimleri

Elek analizleri bir bütün olarak irdelendiğinde, 1 ve 2 no.lu numunelerde iri çaplı malzeme miktarının 2017 yılında daha yüksek olduğu 2019 ve 2021 yıllarında ise dane çaplarının küçüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, bu iki bölgedeki numunelerin her üç zaman diliminde de mansap tarafındaki noktalara kıyasla iri daneli malzemeler barındırdığı belirlenmiştir. Ancak, 3 no.lu numunenin alındığı bölge dere yatağının deniz ile birleştiği bölgede yer almaktadır. Bu bölge, baraj inşaat faaliyetleri sırasında yoğun olarak üst kotlardan gelmekte olan her çaptaki malzeme ile beslenmekte ayrıca deniz dalgaları ve deredeki akış nedeni ile de buradaki malzemenin küçük daneli olan kısmı açığa taşınmaktadır.

Baraj inşaat sürecinin Mayıs 2018 yılında tamamlandığı bilinmektedir. Baraj inşaatı gövde dolgularında 1 metre çapa kadar iri blokluya kaya dolgu yapılmış olup bu yapım sürecinde taşınan kaya kütlelerinin yerine konması, serilip, sıkıştırılması nedeniyle büyük kütleden kopan küçük parçalar dere yatağında akımın etkisi ile mansaba taşınarak bu bölgedeki çapların büyümesine neden olmuştur. Baraj inşaat sürecinin tamamlanması sonrasında, yani Mayıs 2018 sonrasında dere yatağındaki doğal akış devam etmiştir. Bu dönemden sonra inşaat faaliyeti olmaması nedeniyle dereye dış etkenler nedeniyle iri daneli malzeme taşınmamıştır.

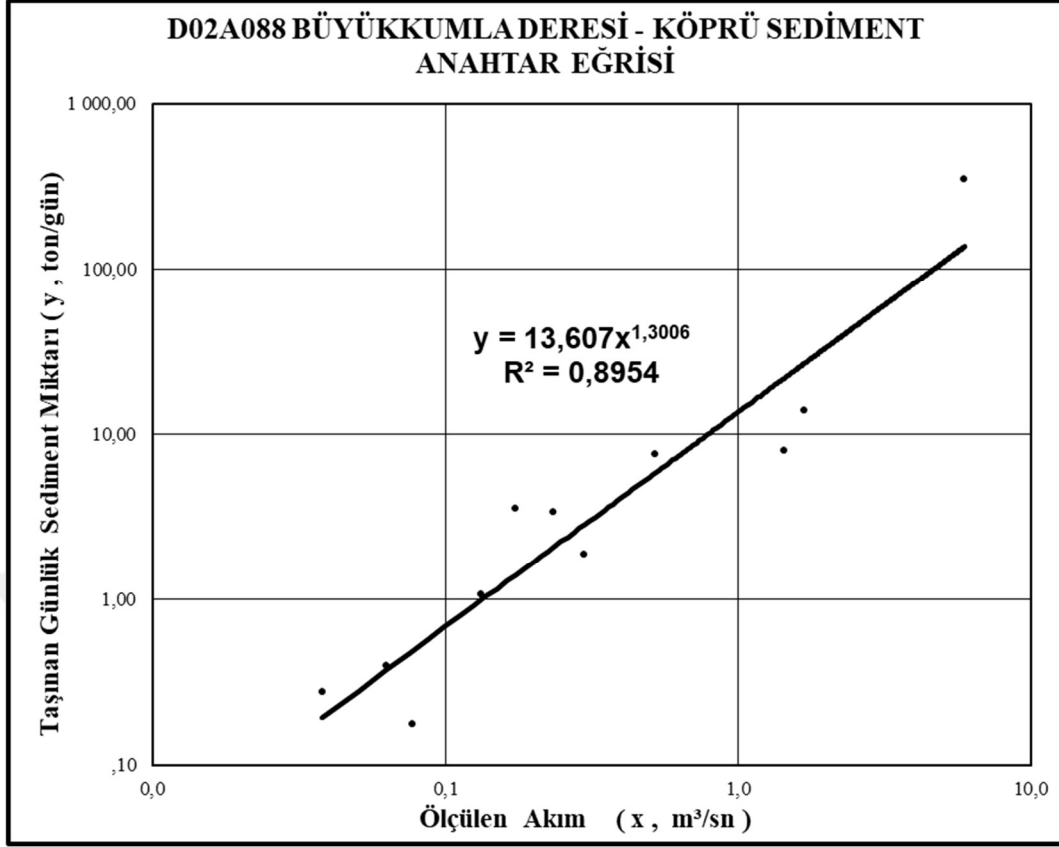
4.6. Sediment Anahtar Eğrisi

Büyükkuşla Deresi'nde yapılan alımlar neticesinde oluşan sediment numune sonuçları tablolastırılarak Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Bu çizelgede, 11 ay için gerçekleştirilen sediment ve debi ölçümleri ve bunların istatistiksel değerleri verilmiştir. Çizelge 4.2'de Büyükkuşla Deresi'ne ait verilen sonuçlar kullanılarak elde edilen sediment anahtar eğrisi ve bu eğriye ait denklem de Şekil 4.48'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında Büyükkuşla Deresi'nden baraj inşaatına ait kazı dolgu dönemi bittikten sonraki 1 yıllık süreçte doğal akış nedeniyle oluşan askıda katı madde miktarı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara dayalı olarak geçmiş dönemlerdeki debi değerleri ile paralellik kurularak doğal akış ile gelen askıda katı madde miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4.48'de bulunan debi sediment anahtar eğrisi denklemi kullanılarak 2014 – 2020 su yılları arasında AGİ tarafından ölçülen günlük ortalama debiler dikkate alınarak günlük geçen

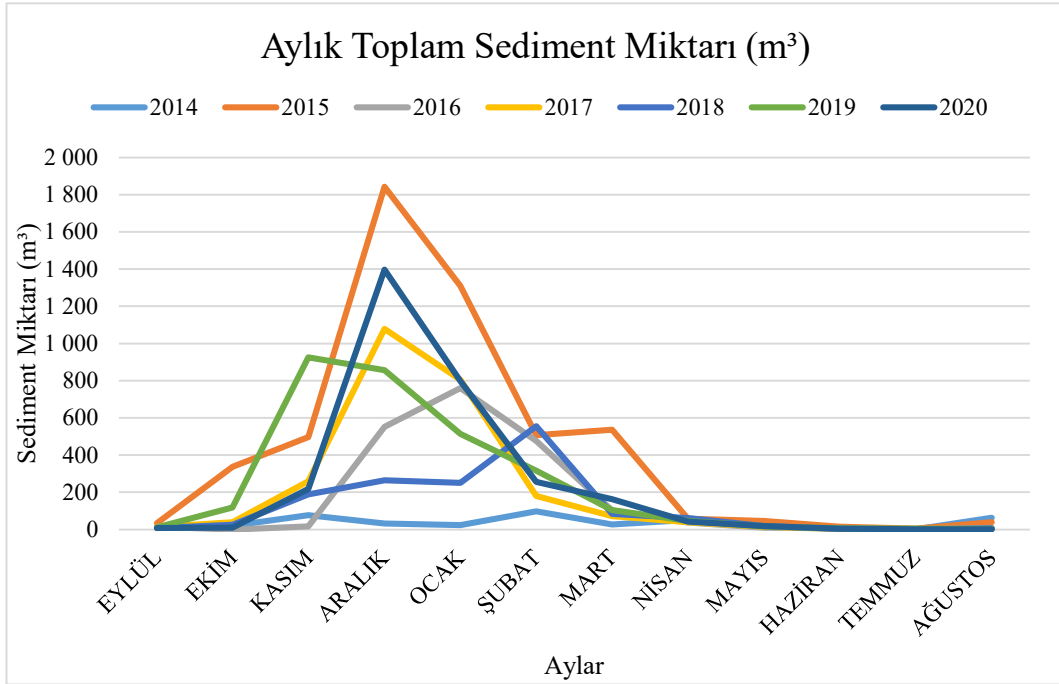
sediment miktarları hesaplanmıştır. Şekil 4.49’da bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler aylık olarak gösterilmiştir. Şekil 4.50’de ise bu değerler yıllık ve kümülatif olarak grafiksel hale getirilmiştir. Aylık incelemeler sonucunda Kasım – Nisan ayları arasında sediment hareketliliğinin fazla olduğunu ve genellikle Aralık aylarında en büyük değere ulaştığı tespit edilmiştir. Buna karşın, Mayıs – Ekim ayları arasında sediment taşınımı yok edecek kadar az olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Büyükkuçla Deresi’nde farklı dönemlere ait sediment numune sonuçları

NO	ÖRNEK ALMA TARİHİ	ÖLÇÜLEN AKIM, Q (x, m ³ /sn)	TAŞINAN SEDİMENT		SU SICAKLIĞI °C	ÖRNEK (SU+SEDİMENT) AĞIRLIĞI g	SEDİMENT AĞIRLIĞI	
			MİKTARI, Q _s (y, ton/gün)	KONSAN-TRASYONU ppm			KİL + SİLT g	KUM g
1	30/01/2020	5,941	349,09	680,09	7	2356,00	1,3897	0,2126
2	14/02/2020	1,692	13,89	94,98	6	2930,00	0,2038	0,0745
3	02/03/2020	1,443	7,93	63,57	9	2995,00	0,1826	0,0078
4	13/03/2020	0,523	7,51	166,21	13	1272,50	0,1809	0,0306
5	27/04/2020	0,234	3,37	166,59	14	925,00	0,1452	0,0089
6	07/05/2020	0,297	1,87	72,71	13	1462,00	0,1063	0,0000
7	29/05/2020	0,174	3,52	234,17	13	635,00	0,1410	0,0077
8	05/06/2020	0,133	1,07	92,72	16	762,50	0,0707	0,0000
9	17/07/2020	0,038	0,28	84,18	21	822,00	0,0692	0,0000
10	09/10/2020	0,063	0,40	73,12	19	991,50	0,0725	0,0000
11	11/11/2020	0,077	0,18	26,81	16	1719,50	0,0461	0,0000
TOPLAM		10,615	389,09	1.755,17	147	16.871,00	2,6080	0,3421
ARİTMETİK ORT.		0,965	35,37	159,56	13	1.533,73	0,2371	0,0311
AKIM AĞIRLIKLIL ORTALAMA			199,24	424,24	8	2.358,03	0,8544	0,1338
MAKSİMUM		5,941	349,09	680,09	21	2.995,00	1,3897	0,2126
MİNİMUM		0,038	0,18	26,81	6	635,00	0,0461	0,0000
ARALIK		5,903	348,92	653,28	15	2.360,00	1,3436	0,2126
ORTANCA		0,234	3,37	92,72	13	1.272,50	0,1410	0,0077
MODE		----	----	----	13	----	----	0,0000
STANDART SAPMA		1,746	104,14	182,42	5	862,70	0,3860	0,0642
DEĞİŞİM KAT.		180,896	294,41	114,33	35	56,25	162,8071	206,5035
ÇARPIKLIL KAT.		2,749	3,31	2,74	0	0,85	3,2009	2,7103
BASIKLIK KAT.		8,011	10,95	8,09	-1	-0,75	10,4424	7,6259

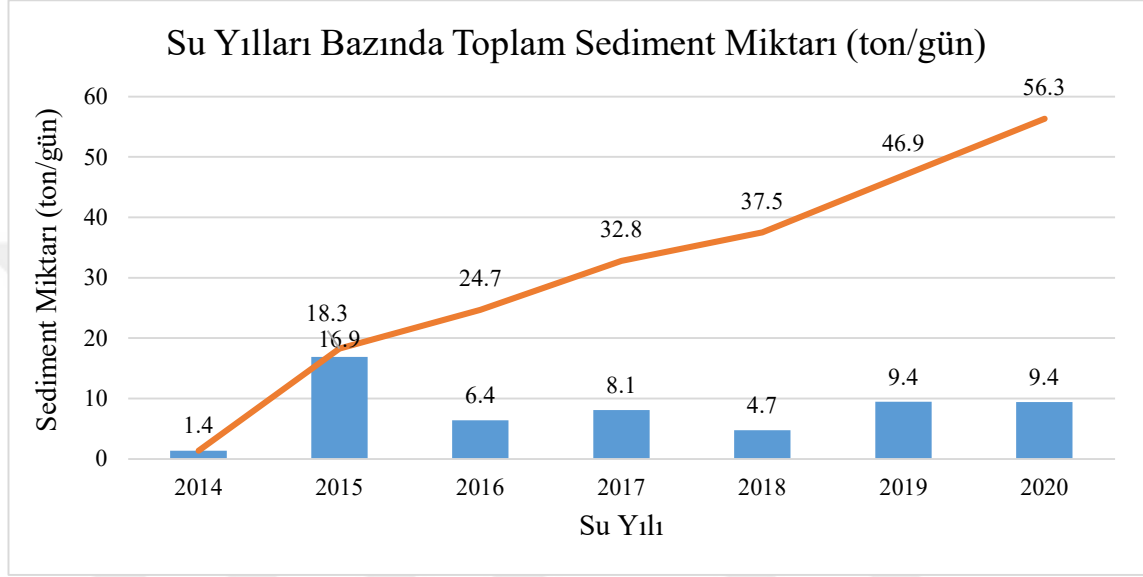


Şekil 4.48. Büyükkumla Deresi'ne ait debi sediment anahtar eğrisi



Şekil 4.49. Aylık toplam sediment miktarı

Su yılları bazında inceleme yapıldığında, sediment miktarının minimum değerlerinin 2014 ve 2018 yıllarında olduğu, 2015 yılında en yüksek değere ulaştığı, 2016 ve 2017 yıllarının ise ortalamada birbirine yakın seyrettiği görülmektedir. Çalışma yılları olan 2014 – 2018 aralığının tamamında 11 260 m³ toplam sediment miktarının akım ile taşındığı hesaplanmıştır.

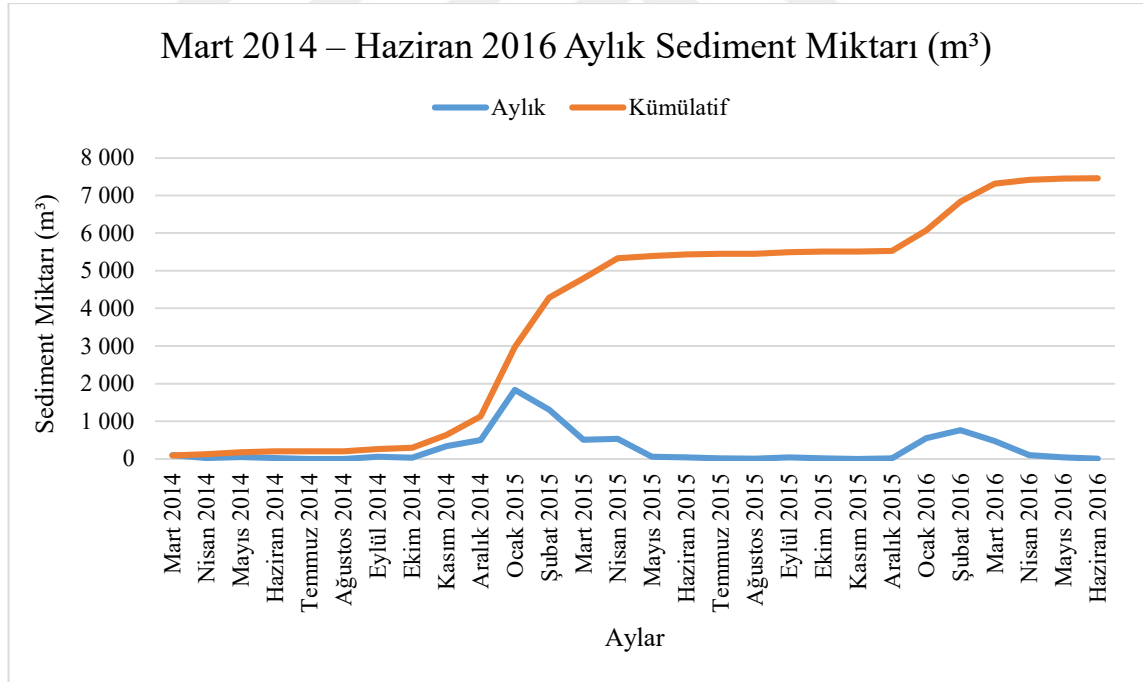


Şekil 4.50. Yıllık toplam ve kümülatif sediment miktarları

Çalışma döneminin başlangıcı olan Mart 2014 ile Haziran 2016 arasında oluşturulan aylık sediment miktarı grafiği aylık akımlara bağlı olarak Şekil 4.51’de verilmiştir. Burada elde edilen değerlere bakıldığında, bu süre içerisinde toplam 7 461 m³ (8 804 ton) sediment taşındığı görülmüştür. Aynı dönem içerisinde dere yatağında yapılan topoğrafik ölçümler neticesinde toplam 6 897 m³ (8 138 ton)’lük yığılma ve 18 m³ (21 ton)’lük bir oyulmanın olduğu ve net olarak 6 879 m³ (8 117 ton) yığılma olduğu bilinmektedir. Bu dönemde sadece 1. kısım olan 0+000,000 – 0+976,039 arasında topoğrafik ölçümler alınmıştır. Bu iki hesaplanan değerden birisi debi ile taşınan katı madde miktarı olması nedeniyle bu miktardaki katı maddenin tamamının çökerek dere yatağında kalmayacağı aşikardır. Bu nedenle, debi ile taşınan katı madde miktarının büyük bir kısmının denize deşarj olacağı rahatlıkla söylenebilir. Ancak, topoğrafik ölçümler ile elde edilen değerlerin dere yatağındaki net değişimi ifade ettiği bilinmektedir. Bu nedenle, baraj inşaatındaki kazı

dolgu faaliyetleri nedeniyle dere yatağı formunda oyulma ve yığılma oluştuğunu bunun ise net olarak 6 879 m³ yığılma yönünde olduğu tespit edilmiştir.

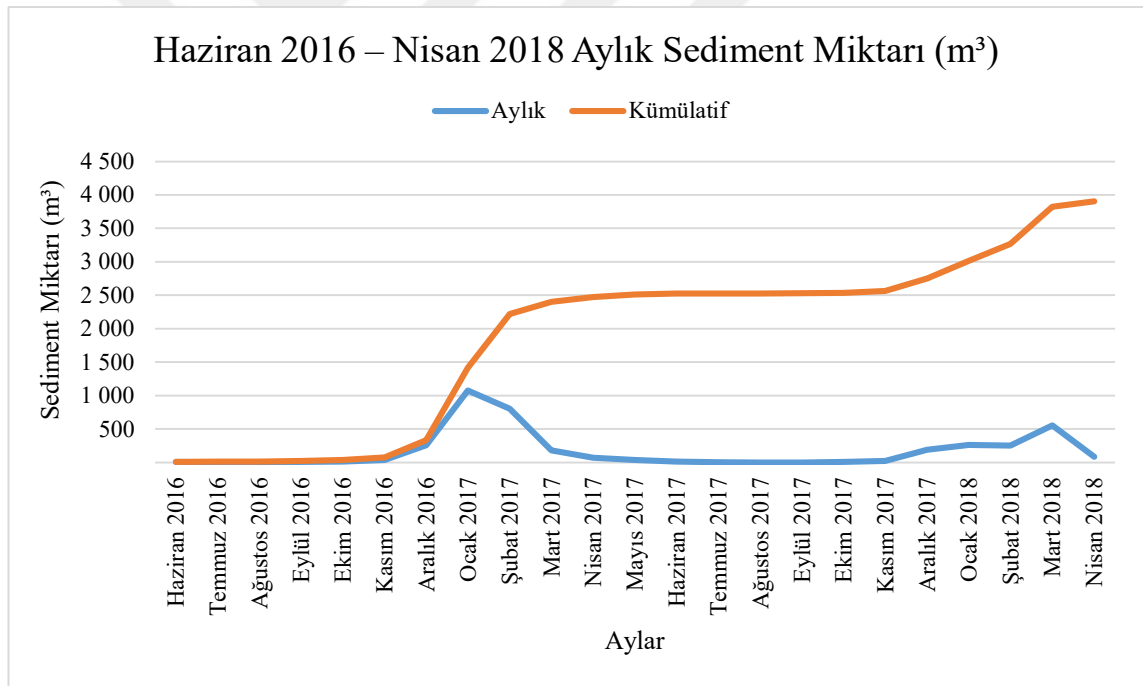
Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1987 yılında Türkiye’deki 86 istasyondan elde ettiği sediment anahtar eğrisi sonuçlarına göre, toplam sediment yükünün %5 – %20’si kadarının sürüntü malzemesi oranına denk geldiği tespit edilmiştir (Bayazıt ve Avcı, 2010; EİEİ, 1987). İnce daneli malzemelerin çoğunlukla bulunduğu derelerde aksı maddesinin miktarı sürüntü maddesine oranı oldukça fazladır. Özellikle ova akarsularında sürüntü malzeme oranı, akım ile taşınan senelik malzeme miktarına göre %10 – %15 civarındadır (Özbek, 2009). Bu araştırma sonuçlarına göre, sediment ile taşınan malzemenin tamamının çökelemeyeceği ve sürüntü malzemesi olarak değerlendirilemeyeceği açıktır. Bu durum, çalışma bölgesindeki dere yatağında tespit edilen hacimsel değişimin büyük bir kısmının baraj inşaatı faaliyetleri nedeniyle oluştuğu sonucunu desteklemektedir.



Şekil 4.51. Mart 2014 – Haziran 2016 aylık sediment miktarı

Barajın mansabında bulunan bölgenin tamamının ilk kez ölçüldüğü Haziran 2016 ile baraj inşaat faaliyetlerinin tamamlandığı Nisan 2018 arasında oluşan aylık sediment miktarı

grafiği Şekil 4.52’de verilmiştir. Bu dönem içerisinde dereye toplam 3 905 m³ (4 608 ton) sediment taşınımı gerçekleştiği hesaplanmıştır. Bu dönemde, dere yatağındaki değişimlere dayalı olarak yapılan topoğrafik ölçümler neticesinde 6 707 m³ (7 914 ton) oyulma, 6 421 m³ (7 577 ton) yığılma ile birlikte net 286 m³ (337 ton) oyulma olduğu ölçülmüştür. Bununla birlikte, Nisan 2017 tarihinde DSİ tarafından yapılan dere yatağında 2 143 m³ (2 529 ton)’lük bir temizlik kazısı da bulunmaktadır. Hesaplara bu değer dahil edildiğinde toplam 1 857 m³ (2 192 ton) yığılma olduğu ortaya çıkmaktadır. Mart 2014 – Haziran 2016 dönemine ait yapılan analize benzer olarak Haziran 2016 – Mayıs 2018 dönemleri arasındaki süreçte de debi ile gelen askıdaki katı madde miktarı, topoğrafik ölçümler ile hesaplanan fiili değişim miktarı ile farklılık göstermiştir. Bu farklılığın nedeni, yine baraj inşaat faaliyetleri nedeniyle dere yatağında meydana gelen değişimdir.



Şekil 4.52. Haziran 2016 – Nisan 2018 aylık sediment miktarı

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında Büyükkumla Barajı inşaatı süresi boyunca gerçekleşen kazı ve dolgu faaliyetleri nedeniyle; baraj dolusavak deşarj kanalı çıkışından başlayarak, dere yatağının Marmara Denizi ile birleştiği noktaya kadar olan kısımda meydana gelen morfolojik değişim incelenmiştir. Büyükkumla Barajı'nda inşaat çalışmalarının yoğunlaşmaya başladığı dönem olan Mart 2014 tarihinden itibaren nehir yatağı mansap kısmında morfolojik değişimi tespit için farklı dönemlerde topoğrafik ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

Baraj inşaatı faaliyetlerinin yoğunlaşmaya başladığı Mart 2014 dönemi ile Haziran 2016 dönemi arasında dere yatağının baraj mansabı bölgesinde sürekli bir yığılma gözlenmiştir. Haziran 2016 – Mart 2017 döneminde baraj mansabı bölgesinde az miktarda oyulma ve yığılma beraber görülmektedir. Mart 2017 – Nisan 2018 döneminde ise bu kısımda baraj gövdesi dolgu faaliyetlerinin talveg kotunun üstüne çıkması ile birlikte oldukça yüksek miktarda yığılma gerçekleşmiştir. Nisan 2018'den sonra baraj gövde dolgusunun oturmasının beklendiği ve ön yüzü beton kaplama işinin yapıldığı 2 yıllık sürede baraj mansabı bölgesinde sürekli oyulma gözlenmiştir. Dere yatağının baraj mansap bölgesinden sonraki orta bölge ve nehrin denize döküldüğü bölgede ise tüm dönemlerde sürekli olarak oyulma eğilimi hakim olmuştur.

Büyükkumla Deresi'nin Bursa – Yalova Karayolu'na yaklaştığı bölgenin öncesinde ve sonrasında dere yatağında farklı eğilimlerin olduğu görülmüştür. İlk üç altışar aylık periyotta Büyükkumla Barajı ile karayolu arasında kalan kısımda sırasıyla yığılma, oyulma ve tekrar yığılmaların hakim olduğu tespit edilmiştir. Karayolu ile Marmara Denizi arasındaki kısımda ise oyulma, yığılma ve tekrar oyulma eğilimleri sırasıyla hakim olmuştur. Son altışar aylık periyotta ise barajdan başlayarak denize giriş ağzına kadar tüm kısımlarda oyulma ve yığılma bölgelerinin karışık bir yapıda olduğu görülmüştür.

Baraj inşaatında kazı dolgu faaliyetlerinin yoğunlaştığı Haziran 2016 itibariyle altışar aylık topoğrafik ölçümlerin yaz dönemine denk gelen aralıklarda baraj mansabında yığılma, diğer bölgelerde oyulma yaşanmıştır. Ekim 2016 – Mart 2017 kış döneminde ise

yaz dönemlerinin aksine barajın mansabında oyulma, diğer kısımlarda yığılma gerçekleşmiştir. Baraj gövde dolgusunun büyük oranda tamamlandığı son dönemde tüm dere yatağı güzergahında az miktarda yığılma olmuştur.

Baraj inşaatı çalışmalarında kazı imalatının %92'lik kısmı Mart 2014 ile Haziran 2016 arasında gerçekleşmiştir. Bu nedenle, kazı nedeniyle zeminde oluşan örselenmiş yüzeyin bir kısmının dere yatağı mansabına doğru taşındığı ve bu taşınan malzemenin Mart 2014 – Haziran 2016 tarihleri arasında 1. kısım olarak nitelendirilen bölgede tespit edilen yığılmanın ana kaynağının olduğu belirlenmiştir. Tüm diğer altışar aylık dönemlerde, kazı faaliyetlerinin azalmasına paralel olarak yığılma miktarının da gitgide azaldığı tespit edilmekle beraber son altı aylık dönemdeki kazı faaliyeti artışının yığılmayı etkilemediği bunun nedeninin ise artık baraj gövdesinin çok derine inmesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma periyodunun ilk döneminde sıyırma kazıları ile birlikte oluşan maksimum ve toplam yağışın diğer dönemlere nazaran fazla gelmesi sebebi ile ortalama ve maksimum debinin diğer dönemlere kıyasla daha düşük olmasına karşın bu dönemde çalışma sahasının 1. kısmında önemli miktarda yığılmanın olduğu görülmüştür. Bir sonraki periyotta ise, yaz dönemine geçildiğinden hem yağışlarda hem de akışlarda azalma olmuş ve yığılma miktarında önemli bir azalış gerçekleşmiştir. Ancak, bu dönemde halen kazı faaliyetlerinin yoğun bir şekilde devam etmesi nedeniyle yığılma olayının da sürdüğü görülmüştür. Üçüncü periyot olan Ekim 2016 – Mart 2017 döneminde ise yığılmanın azaldığı ve önemli sayılabilecek bir miktarda oyulmanın olduğu, bunun kazı faaliyetlerinin hemen hemen tamamlanması, akarsu yatağının derivasyon tüneline çevrilmesi ve yağışlar ile akarsu debisinin artması nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Daha sonraki dönemlerde ise oyulma ve yığılma miktarlarının yağışlar ve dolayısı ile akışların artmasına karşın çok fazla değişken olmadığı, dolayısıyla baraj inşaatının kazı faaliyetleri tamamlandıktan yaklaşık 2 yıl sonra akarsu yatağının dengesini bulduğu anlaşılmıştır.

Yıllık dönemlere ait alansal haritalarda altışar aylık dönemlerde gözlemlendiği gibi karayolu/köprüsüne yakın bölgede bir ayırım noktası oluşmuş ve bu noktanın yukarı kısmı ile aşağısında kalan kısım farklı davranışlar sergilemiştir. Alansal haritalarda baraj

dolusavak deşarj kanalı çıkışı bölgesi ile denize giriş ağızı bölgelerinde yüksek miktarlarda oyulmalar ve yığılmalar meydana gelmiştir. İlk topoğrafik ölçüm olan Mart 2014 dönemi ile son ölçüm dönemi olan Eylül 2020 arasında baraj mansap bölgesinde gerçekleşen değişimin tamamının yığılma yönünde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma bölgesinin ayrıldığı üç bölgede de ortak ölçüm aralıklarının ilkinde (Haziran 2016 – Ekim 2016) baraj dolusavak çıkışındaki ilk bölgede (1. kısım) kazı faaliyetleri sonucunda yığılma, çalışma bölgesinin ortası olarak belirlenen kısımda üst bölgede oluşan yığılma neticesinde oyulma ve denize dökülen 3. kısımda ise üst kısımdaki gibi oyulma olmuştur. İkinci zaman diliminde (Ekim 2016 – Mart 2017) ise, 1. kısımda zaten bir önceki dönemde biriken malzeme devamı gelmediğinden dolayı derivasyon tüneline gelen temiz su akışı nedeniyle artık oyulmaya maruz kalmış, takibinde ise 2. ve 3. kısımda yığılma oluşmuştur. 3. zaman diliminde daha 1.kısımda yoğun miktarda yığılma olurken, 2. ve 3. kısımlarda oyulma gerçekleşmiştir. Bu durumda, aslında 3 bölgeye ayrılan dere yatağının 1. kısmının bir bölge gibi davrandığı ve 2. ile 3. kısımların da bir bütün olarak tek bir bölge olarak davrandığı tespit edilmiştir. Son periyotta ise bütün dere yatağı boyunca az miktarda yığılmaların olduğu görülmüştür.

Yığılmanın büyük bir kısmının (yıllık 3 449 m³, dört yıllık dönemdeki toplam yığılmanın %42'si) şantiyenin başlangıç safhalarındaki (Mart 2014 – Haziran 2016) kazı faaliyetleri (yaklaşık yıllık 1,13 milyon m³, dört yıllık dönemdeki toplam kazı faaliyetinin %46'sı) sonucu oluştuğu belirlenmiştir.

Dere yatağı en kesitleri her dönemde talveg hattında ve yatak şevlerinde değişime maruz kalmıştır. İlk kilometrelerde sol sahil şevlerinde yığılmalar ile en kesit daralırken, mansaba doğru bu daralmanın her iki şeve de neredeyse eşit dağıldığı görülmüştür. Baraj mansabından karayolu köprüsüne kadar olan bölgede dere tabanında büyük bir değişim gözlenmezken, köprüden sonra dere tabanında Nisan 2018'e kadar yığılma yönünde bir değişim gerçekleşmiştir. Nisan 2018 – Eylül 2020 aralığında bu değişim yerini oyulmaya bırakmıştır.

Baraj mansabındaki bölgede tüm dönemlere ait boy profilleri Mart 2014'e ait boy profil hattının üzerinde kalarak sürekli bir yığılma olduğu görülmüştür. Baraj mansabı ile karayolu köprüsü arasında kalan kısımda Ekim 2016 – Ekim 2019 aralığında genellikle yığılmalar hakimdir. Baraj inşaat faaliyetlerinin olmadığı Ekim 2019 – Eylül 2020 aralığında ise dere boy profili hattında oyulmalar gerçekleşmiştir. Karayolu köprüsü mansabında kalan ilk kilometreler Ekim 2016 – Eylül 2020 aralığında dere yatağı boy profilinde yığılma görülmüştür. Derenin deniz ile birleşmeye yakın olduğu bölgede ise bir önceki durumun aksine Eylül 2020 dönemine kadar boy profillerinde düşerek oyulma gerçekleşmiştir. Derenin deniz ile birleşmesi ile boy profili hattındaki eğimin azalarak yatay seyrettiği de görülmüştür.

Baraj inşaatı sırasında dere yatağı güzergahı boyunca her bir kısımdan alınan numunelerin dane boyutlarının moloz ağırlıklı olduğu, baraj inşaatı tamamlandıktan sonra dane çaplarının küçülerek çakıl ve kum ağırlıklı bir hal aldığı tespit edilmiştir. Baraj inşaatı faaliyetleri tamamlandıktan sonra üst kottardan akım ile daha ince daneli malzeme mansap bölgesine taşınmıştır. İnşaat etkileri bittikten sonra dere yatağı dengeye ulaşmaya çalışarak, inşaat sürecindeki haline kıyasla daha üniform bir hale gelmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde gelecek çalışmalarda; süreçlerin ayrıntılı bir biçimde ve neden sonuç ilişkisi kurularak detaylı bir şekilde ortaya konabilmesi için topoğrafik alımların dere yatağı içerisinde çok daha sık alınması ve farklı zamanlardaki alımların mutlaka aynı noktalardan yapılması önerilmektedir. Teknolojiye bağlı olarak gelişen ölçüm yöntemleri (LIDAR, drone uçuşu vb.) ile daha kısa bir sürede tek seferde ölçümler alınmalıdır. Akarsu yatağında tespit edilecek noktalardan sürekli fotoğraf çekilerek görsel bir arşiv oluşturulması süreçlerin takibi için faydalı olacaktır.

Baraj inşaatı öncesinde akarsuyun doğal durumu belirlenmelidir. Bu nedenle, birkaç su yılı boyunca morfolojik açıdan takip edilmelidir. Bu sayede dere yatağının baraj inşa edilmeden önceki durumu ile baraj inşa edildikten sonraki durumu bir bütün olarak kıyaslanabilecektir. Baraj inşaatı bitimi sonrasında gerçekleşen su tutma süreci boyunca akarsu mansap yatağında morfolojik açıdan nasıl bir etki yapacağının da ayrıca bilinmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- Arnaud, F., Piégay, H., Schmitt, L., Rollet, A. J., Ferrier, V. ve Béal, D. (2015). Historical geomorphic analysis (1932-2011) of a by-passed river reach in process-based restoration perspectives: The Old Rhine downstream of the Kembs diversion dam (France, Germany). *Geomorphology*, 236, 163–177. doi:10.1016/j.geomorph.2015.02.009
- Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16(2), 133–139. doi: 10.1016/j.ejrs.2013.09.001
- Ashouri, M., Piry, Z. ve Rezaei Moghaddam, M. H. (2015). A comparison of the influence of the Sattarkhan reservoir dam on the upstream and downstream of the Ahar Chai River, NW Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4099–4108. doi:10.1007/s12665-014-3695-6
- Bayazıt, M. ve Avcı, İ. (2010). *Akarsularda Akım ve Sediment Taşınımı*. Birsen Yayınevi.
- Brandt, S. A. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40(4), 375–401. doi:10.1016/S0341-8162(00)00093-X
- Burroughs, B. ve Hayes, D. (2007). *The Rehabilitation Potential Of Dam Removal: Temporal Perspective From Michigan's Past Dam Removals*. Michigan State University 13 Natural Resources, East Lansing, MI 48824-1222.
- Campana, D., Marchese, E., Theule, J. I. ve Comiti, F. (2014). Channel degradation and restoration of an Alpine river and related morphological changes. *Geomorphology*, 221, 230–241. doi:10.1016/j.geomorph.2014.06.016
- Canpolat, C. (2010). *Zemin Mekaniği Laboratuvarı Kurs Notları*. Ankara: DSİ İdare ve Mali İşler Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü.
- Castillo, V. M., Mosch, W. M., García, C. C., Barberá, G. G., Cano, J. A. N. ve López-Bermúdez, F. (2007). Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). *Catena*, 70(3), 416–427. doi:10.1016/j.catena.2006.11.009
- Cluett, L. J. ve Radford, B. T. M. (2003). Downstream morphological change in response to dam construction: A GIS based approach for the Lower Ord River, Western Australia. *Water Science and Technology*, 48(7), 1–8. doi:10.2166/wst.2003.0418
- Doğan, E. (2003). *Aşağı Sakarya Nehrinde Nehir Tabanı Değişimlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- DSİ. (2019). *Hidrometrik Ölçüm Yönergesi*. Ankara.

- Edwards, B. L., Keim, R. F., Johnson, E. L., Hupp, C. R., Marre, S. ve King, S. L. (2016). Geomorphic adjustment to hydrologic modifications along a meandering river: Implications for surface flooding on a floodplain. *Geomorphology*, 269, 149–159. doi:10.1016/j.geomorph.2016.06.037
- EİEİ. (1987). *Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınımı Miktarları*. Ankara.
- Gao, Y., Chen, L., Zhang, W., Li, X. ve Xu, Q. (2021). Spatiotemporal variations in characteristic discharge in the Yangtze River downstream of the Three Gorges Dam. *Science of the Total Environment*, 785, 147343. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147343
- Gierszewski, P. J., Habel, M., Szymańska, J. ve Luc, M. (2020). Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. *Science of the Total Environment*, 710, 136202. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136202
- Graf, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79(3–4), 336–360. doi:10.1016/j.geomorph.2006.06.022
- Grant, G. E., Schmidt, J. C. ve Lewis, S. L. (2003). A Geological Framework for Interpreting Downstream Effects of Dams on Rivers. *A Unique River Water Science and Application* 7, 209–225. doi:10.1029/007ws13
- Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A. E., Macdonald, G. K., Zarfl, C. ve Reidy Liermann, C. (2015). An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10(1), 015001. doi:10.1088/1748-9326/10/1/015001
- Hai, D. M., Umeda, S. ve Yuhi, M. (2019). Morphological changes of the lower Tadori River, Japan, over 50 years. *Water (Switzerland)*, 11(9). doi:10.3390/w11091852
- Hradecký, J. ve Škarpich, V. (2018). Selected Principles of Fluvial Geomorphology. İçinde A. Radecki-Pawlik, S. Pagliara ve J. Hradechy (Ed.), *Open Channel Hydraulics, River Hydraulic Structures and Fluvial Geomorphology*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Hupp, C. R., Schenk, E. R., Richter, J. M., Peet, R. K. ve Townsend, P. A. (2009). Bank erosion along the dam-regulated lower Roanoke River, North Carolina. *Special Paper of the Geological Society of America*, 451(May), 97–108. doi:10.1130/2009.2451(06)
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. (2005). *GPS: Global Konum Belirleme Sistemi*. Nobel Yayınevi.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. (2016). *Geolocation Systems with Global Navigation Satellite Systems: Theory and Practice*. Nobel Academic Publishing.

- Kale, M. M. ve Ataoğlu, M. (2021). The effects of dams on river channel morphology: a case study at the historical Çarşamba Bridge on the Yeşilirmak River in northern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 80(18), 1–15. doi:10.1007/s12665-021-09935-6
- Khan, O., Mwelwa-Mutekenya, E., Crosato, A. ve Zhou, Y. (2014). Effects of dam operation on downstream river morphology: the case of the middle Zambezi River. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 167(10), 585–600. doi:10.1680/wama.13.00122
- Kirvel, I., Kukshinov, M., Volchek, A. ve Kirvel, P. (2018). Channel Formation in Rivers Downstream of Water Reservoirs. *Limnological Review*, 18(2), 47–57. doi:10.2478/limre-2018-0006
- Kiss, T. ve Balogh, M. (2015). Characteristics of Point-Bar Development under the Influence of a Dam: Case Study on the Dráva River at Sigetec, Croatia. *Journal of Environmental Geography*, 8(1–2), 23–30. doi:10.1515/jengeo-2015-0003
- Kong, D., Latrubesse, E. M., Miao, C. ve Zhou, R. (2020). Morphological response of the Lower Yellow River to the operation of Xiaolangdi Dam, China. *Geomorphology*, 350, 106931. doi:10.1016/j.geomorph.2019.106931
- Kuok, K. K. ve Chi, P. C. (2015). Investigation of River Stage Simulation Before and After Bengoh Dam Construction : Case Study of Sarawak River Basin Malaysia. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 4(42), 86–95.
- Marston, R. A., Mills, J. D., Wrazien, D. R., Bassett, B. ve Splinter, D. K. (2005). Effects of Jackson Lake Dam on the Snake River and its floodplain, Grand Teton National Park, Wyoming, USA. *Geomorphology*, 71(1–2), 79–98. doi:10.1016/j.geomorph.2005.03.005
- Mulatu-Abebe, C., Crosato, A., Mynett, A. ve Mehari, M. (2015). *Effects of dam construction on the planimetric changes of downstream rivers. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress* içinde. Hollanda.
- Mulatu, C. A., Crosato, A., Moges, M. M., Langendoen, E. J. ve McClain, M. (2018). Morphodynamic trends of the Ribb River, Ethiopia, prior to dam construction. *Geosciences (Switzerland)*, 8(7). doi:10.3390/geosciences8070255
- Nelson, N. C., Erwin, S. O. ve Schmidt, J. C. (2013). Spatial and temporal patterns in channel change on the Snake River downstream from Jackson Lake dam, Wyoming. *Geomorphology*, 200, 132–142. doi:10.1016/j.geomorph.2013.03.019
- Nilsson, B. (1976). Influence of Man's Activities in Rivers on Sediment Transport. *Nordic Hydrology*, 7(3), 145–160. doi:10.2166/nh.1976.0011

- Nones, M., Ronco, P. ve Di Silvio, G. (2013). Modelling the impact of large impoundments on the Lower Zambezi River. *International Journal of River Basin Management*, 11(2), 221–236. doi:10.1080/15715124.2013.794144
- Özbek, T. (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar*. Teknik Yayınevi.
- Petts, G. E. ve Gurnell, A. M. (2005). Dams and geomorphology: Research progress and future directions. *Geomorphology*, 71(1–2), 27–47. doi:10.1016/j.geomorph.2004.02.015
- Portela, L. I. (2008). Sediment transport and morphodynamics of the Douro River estuary. *Geo-Marine Letters*, 28(2), 77–86. doi:10.1007/s00367-007-0091-1
- Slowik, M. (2012). Changes of river bed pattern of a lowland river: Effect of natural processes or anthropogenic intervention. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 94(3), 301–320. doi:10.1111/j.1468-0459.2011.00432.x
- Słowik, M., Dezső, J., Marciniak, A., Tóth, G. ve Kovács, J. (2018). Evolution of river planforms downstream of dams: Effect of dam construction or earlier human-induced changes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(10), 2045–2063. doi:10.1002/esp.4371
- Smith, N. D., Morozova, G. S., Pérez-Arlucea, M. ve Gibling, M. R. (2016). Dam-induced and natural channel changes in the Saskatchewan River below the E.B. Campbell Dam, Canada. *Geomorphology*, 269, 186–202. doi:10.1016/j.geomorph.2016.06.041
- Souza Filho, E. E. (2016). the Porto Primavera Dam and the Fluvial Transport on the Porto São José Section, Parana River. *Mercator*, 15(4), 65–81. doi:10.4215/rm2016.1504.0005
- TSE Teknik Kurul. (2016). *TS EN ISO 17892-4*.
- Wang, Z., Chen, Z., Li, M., Chen, J. ve Zhao, Y. (2009). Variations in downstream grain-sizes to interpret sediment transport in the middle-lower Yangtze River, China: A pre-study of Three-Gorges Dam. *Geomorphology*, 113(3–4), 217–229. doi:10.1016/j.geomorph.2009.03.009
- Williams, G. P. ve Wolman, M. G. (1984). Downstream effects of dams on alluvial rivers. *US Geological Survey Professional Paper*, 1286.
- Yang, S. L., Milliman, J. D., Li, P. ve Xu, K. (2011). 50,000 dams later: Erosion of the Yangtze River and its delta. *Global and Planetary Change*, 75(1–2), 14–20. doi:10.1016/j.gloplacha.2010.09.006
- Yanmaz, A. M. ve Usul, N. (2007). *Kavramsal Su Mühendisliği*. ODTÜ Yayıncılık.

Yanmaz, A.M. ve Kumcu, Y. (2007). *Sediment Problems and Properties. Sediment Transport Technology*. Ankara: DSİ İdare ve Mali İşler Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü.

Yıldırım, N. (2007). *Sediment Control Structures for Headworks and Intakes. Sediment Transport Technology*. Ankara: DSİ İdare ve Mali İşler Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü.

Zhao, G., Lu, J. ve Visser, P. J. (2015). Fluvial River Regime in Disturbed River Systems: A Case Study of Evolution of the Middle Yangtze River in Post-TGD (Three Gorges Dam), China. *Journal of Geology & Geophysics*, 04(06). doi:10.4172/2381-8719.1000228



EKLER

- EK 1** Resmi Kurum Yazıları
EK 2 Çalışma Bölgesi Fotoğraf Arşivi



EK-2 Çalışma Bölgesi Fotoğraf Arşivi



Ek Şekil 1. Büyükkumla Barajı mansaptan görüntüsü



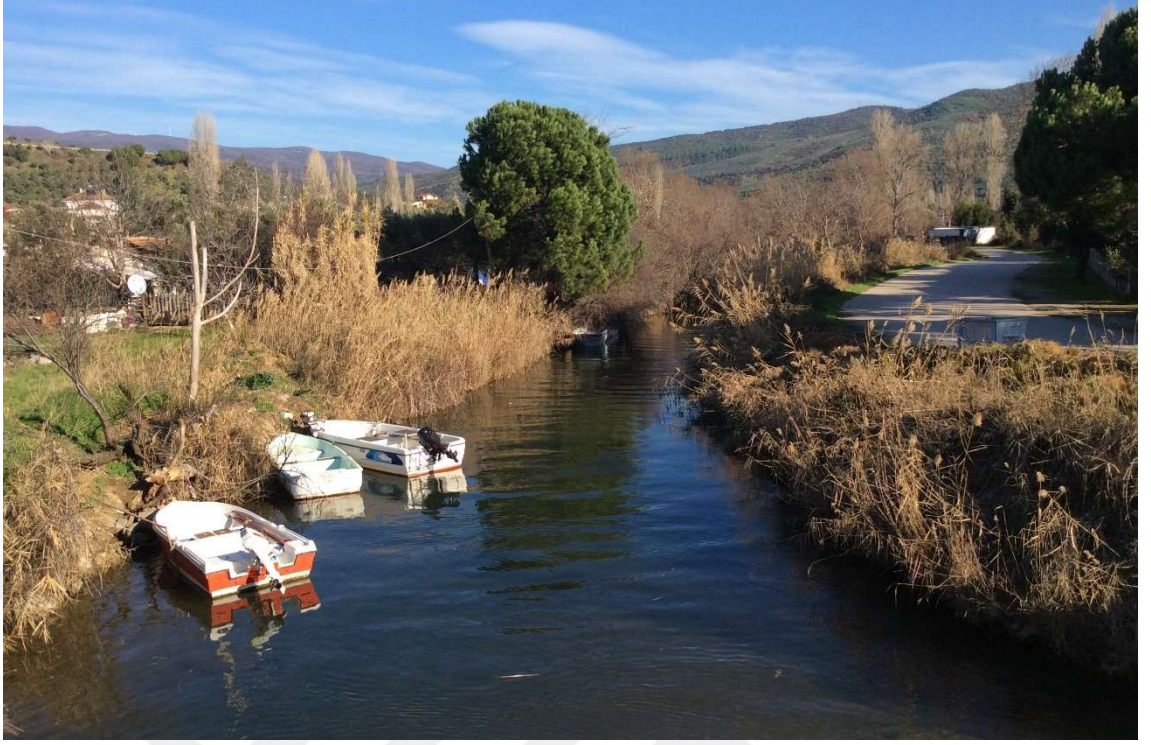
Ek Şekil 2. Büyükkumla Barajı depo sahası



Ek Şekil 3. Armutlu – Gemlik Karayolu köprüsü kesiti (KM:1+370,000)



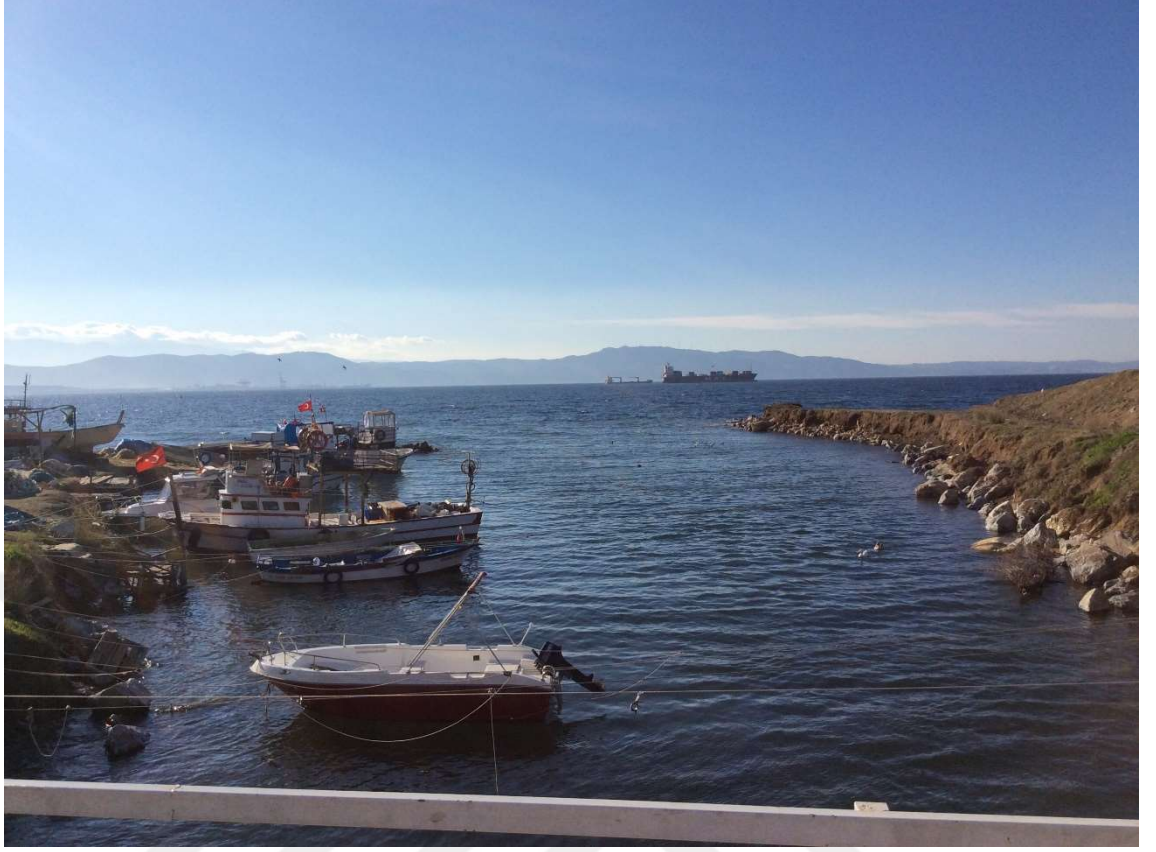
Ek Şekil 4. D02A088 Nolu Akım Gözlem İstasyonu görüntüsü



Ek Şekil 5. Derenin deniz ile birleştiği bölgesindeki köprüden membaya bakış



Ek Şekil 6. Derenin deniz ile birleştiği bölgesindeki köprü



Ek Şekil 7. Derenin deniz ile birleştiği bölgesindeki köprüden mansaba bakış