

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

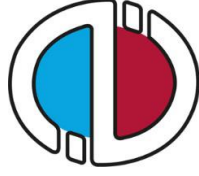
**DOLUSAVAK AŞINMA SORUNLARINA DENEYSEL
YÖNTEMLERLE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ: PORSUK BARAJI ÖRNEĞİ**

**Yıldırım BAYAZIT
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

**Tez İkinci Danışmanı
Prof. Dr. Recep BAKIŞ**

**BİLECİK, 2018
Ref. No.:10223914**



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

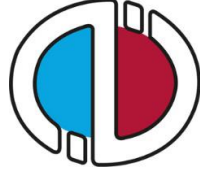
**DOLUSAVAK AŞINMA SORUNLARINA DENEYSEL
YÖNTEMLERLE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ: PORSUK BARAJI ÖRNEĞİ**

**Yıldırım BAYAZIT
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

**Tez İkinci Danışmanı
Prof. Dr. Recep BAKIŞ**

BİLECİK, 2018



ANADOLU UNIVERSITY



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Civil Engineering Department**

**DEVELOPMENT OF SOLUTION PROPOSALS TO THE
ABRASION PROBLEMS OF SPILLWAY WITH
EXPERIMENTAL METHODS: THE PORSUK DAM
EXAMPLE**

**Yıldırım BAYAZIT
Ph.D.Thesis**

**Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Cenk KARAKURT**

**Thesis Co-Advisor
Prof. Dr. Recep BAKIŞ**

BİLECİK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31/10/2018 tarih ve 65 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/11/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yıldırım BAYAZIT'ın "*Dolusavak Aşınma Sorunlarına Deneysel Yöntemlerle Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi: Porsuk Barajı Örneği*" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ÜYE: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

ÜYE: Doç. Dr. Ender DEMİREL

ÜYE: Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK

ÜYE: Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca her tŸrlŸ konuda desteğini ve hoŐgŸrŸsŸnŸ benden esirgemeyen danıŐman hocalarım Doç. Dr. Cenk KARAKURT ve Prof. Dr. Recep BAKIŞ'a en içten duygularım ile teŐekkŸr ederim. Ayrıca bu sŸreçte tez izleme komitesinde bulunan ve değerli yorumlarıyla tezim e yŸn veren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Mustafa TOMBUL ve Doç. Dr. Ender DEMİREL'e teŐekkŸr ederim.

ÇalıŐmam boyunca desteklerini hissettiğim İnaŐaat MŸhendislięi BŸlŸmŸnde gŸrevli tŸm arkadaŐlarım a ve hocalarım a teŐekkŸr ederim. MŸhendislik FakŸltesinde gŸrevli arkadaŐlarım a ve çalışmaya mali destek sağlayan Anadolu Ÿniversitesi BAP proje birimine teŐekkŸr ederim. Tez savunma jŸri Ÿyesi değerli hocalarım a desteklerinden ve katkılarından dolayı teŐekkŸr ederim.

ÇalıŐmamda ve hayatımın her aşamasında beni sabırla destekleyen sevgili eŐim Gizem BAYAZIT'a ve canım aileme en içten duygularım ile teŐekkŸr ederim.

Yıldırım BAYAZIT

ÖZET

Dolusavaklar baraj yapılarının statik güvenliğini koruyan en önemli yapılardır. Bu yapıların güvenliği barajın taşkın gibi felaketlerden en hafif şekilde etkilenmesini sağlar. Bu nedenle dolusavak yapılarının fiziksel etkilere karşı dayanıklılığı oldukça önemlidir. Tez çalışmasında öncelikle Porsuk Havzasındaki hazır kurulu olan Porsuk barajına gelen taşkın debileri, bu barajın dolusavağında oluşan aşınma problemlerinin iyileştirilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak, havzaya ait hidrolojik ve meteorolojik veriler incelenmiştir. Daha sonra, havzadan Porsuk Barajına gelen taşkın debileri hesaplanmıştır. Baraja gelen taşkın debisi kullanılarak, dolusavak üzerine gelebilecek hidrolik yük ve hızlar bulunmuştur. Barajın dolusavağında kullanılan beton kalitesi referans alınarak, bu betonlarda meydana gelebilecek aşınma problemlerine karşı malzeme özellikleri geliştirilerek uzun ömürlü, aşınmaya dirençli bir dolusavak beton tipi geliştirilmiştir.

Çalışmada, çimento yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül (UK) ve granüle yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılarak beton tasarımları yapılmıştır. Bu betonların aşınma davranışı Böhme, kumlu su jeti ve sualtı aşınma deneyleriyle belirlenmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda en iyi malzeme performansının YFC 10 karışımından elde edildiği belirlenmiştir. UK katkılı serilerde de UK 10 karışımının referans betonuyla benzer aşınma kaybı gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak, su yapılarında meydana gelebilecek aşınma problemlerine karşı YFC katkısının önemli anlamda olumlu kazanımlar sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca baraj betonunda UK ve YFC kullanımının hem beton maliyeti hem de diğer kalıcılık sorunları açısından da olumlu kazanımlar sağlayacağı göz ardı edilmemelidir.

Anahtar Kelimeler: Beton; Porsuk Barajı; Coğrafi Bilgi Sistemleri; Dolusavak; Dayanıklılık; Aşınma Direnci

ABSTRACT

Spillways are the most important structures that maintain the static safety of dam structures. The safety of these structures makes the dam minimal impact against to hazards such as floods. Therefore, the durability of the spillway structures to the physical effects is very important. In the thesis primarily, the flood discharges which coming to pre-installed Porsuk Dam in the Porsuk basin is examined with Geographical Information Systems (GIS) to improve the abrasion problems of the spillway for the dam. Initially, the meteorological and hydrological data of the basin are investigated. Then the flood flow that comes from the basin is calculated for the Porsuk dam reservoir. By using the flood discharge, hydraulic loads and velocities that occur on the spillway were found. With reference to the concrete quality that used in the spillway of the dam, in order to prevent abrasion problems that may occur in these concretes, a long-lasting, abrasion-resistant spillway concrete type has been developed.

In this study, fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GBFS) were replaced against by weight of cement with replacement ratios of 10 %, 20 % and 30 % in order to design the concrete mixtures. The abrasion behaviors of these concretes were determined by Böhme, sand water jet and underwater abrasion tests. As a result of the abrasion tests, it was determined that the best material performance was obtained from the GBFS 10 mixture. In the FA additive series, the FA 10 mixture showed similar abrasion loss with the reference concrete. As a result, it was determined that utilization of GBFS additive in water structures provides significant benefits against abrasion problems. It should also be noted that the usage of FA and GBFS in the dam concrete will provide positive gains in terms of both concrete cost and other durability problems.

Keywords : Concrete; Porsuk Dam; Geographical Information Systems; Spillway; Durability; Abrasion Resistance

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı ve Önemi	1
1.2.Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi	2
2. TEZ KONUSUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	5
2.1.Havza Çalışmaları ile İlgili Yapılmış Araştırmalar	6
2.2.Su Etkisi Altına Betonun Aşınmasının Araştırılması ile İlgili Çalışmalar	8
3. ARAŞTIRMA HAVZASI VE PORSUK BARAJI	11
3.1.Araştırma Havzası	11
3.1.1.Havzanın konumu	11
3.1.2. Havzanın coğrafyası	13
3.1.2.1. Dağlar	13
3.1.2.2. Ovalar	13
3.1.2.3. Akarsular	14
3.1.3.Havzanın jeolojisi	15
3.2.Porsuk Barajı	15
3.2.1. Tarihçesi	15
3.2.2. Yapımı	19
3.2.3. Dolusavak beton karakteristiği hakkında bilgiler	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM	24
4.1. Materyal	24
4.1.1. Havza çalışmalarında kullanılan materyaller.....	24
4.1.1.1. Sayısal topografik haritalar	24
4.1.1.2. Akım gözlem istasyonları	24

4.1.1.3. Meteoroloji istasyonları	25
4.1.2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan materyaller	26
4.1.2.1. Agregası.....	26
4.1.2.2. Çimento.....	26
4.1.2.3. Su	26
4.1.2.4. Akışkanlaştırıcı	27
4.1.2.5. Uçucu kül	27
4.1.2.6. Yüksek fırın cürufu	27
4.2. Yöntem	28
4.2.1. Porsuk havzasının hidrolojik ve meteorolojik olarak incelenmesi.....	28
4.2.2. Numune tasarımı ve hazırlanışı	29
4.2.3. Elek analizi deneyi.....	30
4.2.4. Agregası özgül ağırlık deneyi.....	31
4.2.4.1. İri agregası özgül ağırlık deneyi	31
4.2.4.2. İnce agregası özgül ağırlık deneyi	31
4.2.5. Agregası birim ağırlık deneyi.....	32
4.2.5.1. Gevşek birim ağırlık deneyi.....	32
4.2.5.2. Sıkışık birim ağırlık deneyi.....	33
4.2.6. Los Angeles deneyi	33
4.2.7. Taze beton işlenebilirlik deneyleri.....	34
4.2.8. Beton birim ağırlık deneyi.....	35
4.2.9. Su emme (kılcallık) deneyi	35
4.2.10. Ultrases geçiş hızı deneyi	36
4.2.11. Tek eksenli basınç deneyi.....	37
4.2.12. Knoop sertlik deneyi	38
4.2.13. Aşınma deneyleri	39
4.2.13.1. Böhme aşınma deneyi	40
4.2.13.2. Kum-su jeti aşınma deneyi.....	40
4.2.13.3. Su altında aşınma deneyi	48
4.2.14. Mikroyapı analizleri	51
4.2.14.1. Optik mikroskop ile analiz.....	51
4.2.14.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	52

5. HAVZANIN HİDROLOJİK VE METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	53
5.1. Porsuk Havzasının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Havza Sınırlarının Bulunması.	53
5.1.1. Boşlukları doldurma	54
5.1.2. Akış yönünün belirlenmesi	55
5.1.3. Kümülatif akışın hesaplanması	57
5.1.4. Nehir tanımlama	60
5.1.5. Nehir bölümlenme	60
5.1.6. Havza oluşturma	62
5.1.7. Havza poligonlara ayrılması	63
5.1.8. Drenaj çizgilerini belirleme	64
5.1.9. Bitişik havza alanı belirleme	65
5.1.10. Drenaj noktasının eklenmesi	65
5.1.11. Porsuk havza sınırlarının bulunması	66
5.2. Porsuk Havzasının Hidrolojik Özellikleri	68
5.2.1. Eksik akım verilerinin tamamlanması	70
5.2.2. Taşkın büyüklüklerinin hesaplanması	76
5.2.2.1. Porsuk barajına gelen taşkın debilerinin hesaplanması	77
5.3. Porsuk Havzasının Meteorolojik Özellikleri	82
5.3.1. IDW metodu ile meteorolojik verilerin alansal dağılımı	82
5.3.1.1. Yağış verilerinin analizi	83
5.3.1.2. Sıcaklık verilerinin analizi	85
5.3.1.3. Buharlaşma verilerinin analizi	86
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	88
6.1. Agrega Fiziksel Özellik Deney Sonuçları	88
6.1.1. Elek analizi deney sonuçları	88
6.1.2. Özgül ağırlık deney sonuçları	89
6.1.3. Birim ağırlık deney sonuçları	89
6.1.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları	90
6.2. Üretilen Beton Numunelerinin Deney Sonuçları	90
6.2.1. İşlenebilirlik deney sonuçları	90
6.2.2. Beton birim ağırlık deney sonuçları	91

6.2.3. Beton su emme (kılcallık) deney sonuçları	92
6.2.4. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	92
6.2.5. Basınç dayanımı deney sonuçları	93
6.2.6. Knoop sertlik deneyi sonuçları	95
6.2.7. Aşınma deney sonuçları.....	95
6.2.7.1. Böhme aşınma deney sonuçları	96
6.2.7.2. Kum-Su jeti aşınma deney sonuçları	96
6.2.7.3. Sualtı aşınma deney sonuçları.....	98
6.2.8. Mikroyapı analiz sonuçları	99
6.2.8.1. Optik mikroskop analiz sonuçları	100
6.2.8.2. Taramalı elektron mikroskobu analiz sonuçları.....	102
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	108
EKLER	113
ÖZGEÇMİŞ.....

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1.: Porsuk Barajı agrega miktarları ve çimento dozajı	22
Çizelge 4.1.:Kullanılan çimentonun özellikleri	26
Çizelge 4.2.:Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri	27
Çizelge 4.3.:Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	28
Çizelge 4.4.:Beton tasarımlarının kısaltma isimleri	29
Çizelge 4.5.:1m ³ beton karışımında kullanılan malzeme miktarı	30
Çizelge 4.6.:Çökme deneyi sınıfları	34
Çizelge 4.7.:Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki.....	36
Çizelge 5.1.:Porsuk havzasında kullanılan AGİ'ler	69
Çizelge 5.2.:Akım ölçüm istasyonları arasındaki korelasyonlar	71
Çizelge 5.3.:İstasyonlar arasındaki matematiksel ilişkiler ve R ² değerleri	73
Çizelge 5.4.:Drenaj alan oranı metodunda kullanılan değerler	80
Çizelge 6.1.:Agrega granülometri tablosu	88
Çizelge 6.2.:İnce ve iri agrega özgül ağırlık deney sonuçları.....	89
Çizelge 6.3.:Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları	89
Çizelge 6.4.:Beton tasarımı için Los Angeles aşınma deney sonuçları.....	90
Çizelge 6.5.:Betonların BHA deney sonuçları	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.:Bir dolusavak yapısında meydana gelen aşınmalar.....	4
Şekil 3.1.:Türkiye'nin 25 ana akarsu havzası	11
Şekil 3.2.:Sakarya havzası	11
Şekil 3.3.:Porsuk Havzasının Türkiye'deki konumu	12
Şekil 3.4.:Uydu görüntülerinden elde edilen Porsuk havzası genel jeolojik yapısı	15
Şekil 3.5.:1950 yılında meydana gelen Eskişehir Sarısu taşkınından bir görünüş	16
Şekil 3.6.:Porsuk barajı	17
Şekil 3.7.:1964 Sarısu taşkınından bir görüntü	18
Şekil 3.8.:Barajın inşasından bir görüntü	20
Şekil 3.9.:Porsuk barajı gövde inşaatı	21
Şekil 4.1.:Çalışmada kullanılan 1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritalar	24
Şekil 4.2.:Porsuk çayı ana ve yan kolları üzerinde bulunan AGİ ağı	25
Şekil 4.3.:Meteoroloji istasyonlarının konumsal haritaları	25
Şekil 4.4.:Beton karışımlarının hazırlanması	30
Şekil 4.5.:Agrega elek seti ve sarsma tablası	31
Şekil 4.6.:Agrega birim ağırlık deneyi	32
Şekil 4.7.:Los Angeles deney aleti	34
Şekil 4.8.:Çökme deneyi	35
Şekil 4.9.:Kılcal su emme deneyi	36
Şekil 4.10.:Ultras ses deney aleti	37
Şekil 4.11.:Tek eksenli basınç presisi	38
Şekil 4.12.:Knoop sertlik deneyinin şematik gösterimi.....	38
Şekil 4.13.:Knoop sertlik deney cihazı.....	39
Şekil 4.14.:Böhme aşınma deney aleti	40
Şekil 4.15.:Beton numunesine çarpan su jetinin şematik gösterimi	41
Şekil 4.16.:Dolusavaktan savaklanan su jetinin şematik gösterimi	42
Şekil 4.17.:Su jetinin betona uyguladığı kuvvetler	44
Şekil 4.18.:Deney düzeneğinde betona uygulanan kuvvetler	46
Şekil 4.19.:Kum-su jeti aşınma deney cihazı	48
Şekil 4.20.:Sualtı aşınma cihazı deney düzeneğinin şematik gösterimi	49

Şekil 4.21.:Sualtı aşınma deney cihazı	50
Şekil 4.22.:Optik mikroskop	51
Şekil 4.23.:Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	52
Şekil 5.1.:SYM'nin hücresel boyutu	53
Şekil 5.2.:SYM'de meydana gelebilen çukur	54
Şekil 5.3.:Çukurların kapatılması	54
Şekil 5.4.:Boşlukların doldurulması işlemi	55
Şekil 5.5.:Piksel değerine göre suyun akış yönünün belirlenmesi	55
Şekil 5.6.:8 yönlü akım modeli	56
Şekil 5.7.:Akış yönünün yazılımdaki sayısal ifadesi	56
Şekil 5.8.:Akış yönü belirleme fonksiyonu girdi ve çıktıları.....	57
Şekil 5.9.:Akış yönü veri katmanı	57
Şekil 5.10.:Kümülatif akış yönü hesabında pikseller arası akım ilişkileri	57
Şekil 5.11.:Kümülatif akım hesaplama	58
Şekil 5.12.:Kümülatif akış katmanı semboloji ayarları	59
Şekil 5.13.:Kümülatif akış katmanı	59
Şekil 5.14.:Nehir tanımlama girdi işlemi.....	60
Şekil 5.15.:Nehir bölümlenme işlemi girdi menüsü	61
Şekil 5.16.:Nehir bölümlenme işlem katmanı	61
Şekil 5.17.:Su toplama alanı oluşturma girdi menüsü	62
Şekil 5.18.:Küçük su toplama havzaları	62
Şekil 5.19.:Su toplama alanı poligonlama işlem basamağı	63
Şekil 5.20.:Su toplama alanı poligonları.....	63
Şekil 5.21.:Drenaj çizgisi işlemi.....	64
Şekil 5.22.:Mikro havzalar ve drenaj çizgileri	64
Şekil 5.23.:Bitişik su toplama alanı belirleme işlemi	65
Şekil 5.24.:Drenaj noktası belirleme işlemi.....	66
Şekil 5.25.:Drenaj noktası koyma işlemi	66
Şekil 5.26.:Drenaj noktası oluşturma	67
Şekil 5.27.:Drenaj noktası veri girişi	67
Şekil 5.28.:Havza belirleme veri girişi işlemi	67
Şekil 5.29.:Porsuk havzası.....	68

Şekil 5.30.:DSİ’den alınan akım verilerinin zamana göre ölçüm durumu	70
Şekil 5.31.:DSİ-12173 ile DSİ-12054 nolu istasyonlar arasındaki matematiksel ilişki	72
Şekil 5.32.:Eksik akım verileri doldurulmuş akım verileri	74
Şekil 5.33.:DSİ-12005 ham ve doldurulmuş akım verilerinin debi süreklilik eğrisi	75
Şekil 5.34.:Havzanın Φ ve K katsayıları	81
Şekil 5.35.:Porsuk barajının taşkın büyüklükleri	81
Şekil 5.36.:Porsuk baraj gövdesine gelebilecek Q_{500} taşkın debisi	82
Şekil 5.37.:Uzun yıllara ait ortalama aylık yağış grafikleri	84
Şekil 5.38.:Porsuk havzası yıllık toplam yağış haritası	84
Şekil 5.39.:Uzun yıllara ait ortalama aylık sıcaklık grafikleri	85
Şekil 5.40.:Porsuk havzası yıllık sıcaklık haritası	86
Şekil 5.41.:Uzun yıllara ait ortalama aylık buharlaşma grafikleri	86
Şekil 5.42.:Porsuk havzası yıllık toplam buharlaşma haritası	87
Şekil 6.1.:Beton karışım granülometri eğrisi	89
Şekil 6.2.:Betonların işlenebilirlik deney sonuçları	90
Şekil 6.3.:Betonların kılcal su emme deney sonuçlarına göre kılcallık katsayıları	92
Şekil 6.4.:Betonların ultrases deney sonuçları	93
Şekil 6.5.:Betonların tek eksenli basınç deneyi sonuçları	94
Şekil 6.6.:Üretilen betonların Knoop sertlik değeri	95
Şekil 6.7.:Böhme aşınma deney sonuçları	96
Şekil 6.8.:Kum-su jeti aşınma deneyi sonrasında aşınan beton numunesi	97
Şekil 6.9.:Kum-su jeti aşınma deney sonuçları	97
Şekil 6.10.:Su altı aşınma deneyi sonucunda aşınan beton yüzeyleri	98
Şekil 6.11.:Sualtı aşınma deney sonuçları	99
Şekil 6.12.:28 günlük beton numunelerin 400x büyütülmüş görüntüleri	100
Şekil 6.13.:90 günlük beton numunelerin 400x büyütülmüş görüntüleri	101
Şekil 6.14.:Aşınma sonrası beton numunelerin 500x SEM görüntüleri	102
Şekil 6.15.:Aşınma sonrası beton numunelerin 2000x SEM görüntüleri	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

m	: Metre
ha	: Hektar
m^3	: Metreküp
km	: Kilometre
km^2	: Kilometrekare
m^2	: Metrekare
\$: Amerikan doları
r^2	: Regresyon katsayısı
r	: Korelasyon katsayısı
C_{skew}	: Çarpıklık
ϕ	: Üstel katsayı
K	: Düzeltme katsayısı
Q	: Debi
m^3/s	: Saniyede geçen metreküp
mm	: Milimetre
$^{\circ}C$: Santigrat derece
D_{max}	: Maksimum agrega dane çapı
μm	: Mikrometre
dm^3	: Desimetreküp
kN	: Kilonewton
rpm	: Rotation per minute (Dakikadaki devir sayısı)
MPa	: Megapascal
A	: Piknometre ağırlığı (gr)
B	: Piknometre ağırlığı + su ağırlığı (gr)
C	: Piknometre ağırlığı + yüzey kuru doygun numune ağırlığı (gr)
D	: Piknometre ağırlığı + yüzey kuru doygun numune ağırlığı + su ağırlığı (gr)
E	: Kuru numune ağırlığı (gr)
G_g	: Gevşek birim ağırlık (gr/cm^3)

W_2	: Gevşek/Sıkışık agregası ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)
W_1	: Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)
V	: Ölçü kabının iç hacmi (cm^3)
k	: Kılcallık katsayısı (cm^2/sn)
C_p	: Knoop deneyi düzeltme faktörü
Δ	: Hacimsel/kütlesel değişim (%)
F_{Ax}	: Yatay su kuvveti bileşeni
F_{Ay}	: Düşey su kuvveti bileşeni
W	: Yüzdece ağırlık kaybı
W_{ilk}	: Numunenin ilk ağırlığı (gr)
W_{son}	: Numunenin son ağırlığı (gr)
$Z^*(x_0)$: x_0 noktasındaki tahmin değeri
$Z(x_i)$: x_i noktasındaki örnek noktasının değeri
W_i	: x_i noktasında örneğin x_0 noktasına göre ters uzaklık ağırlığı
d	: Değeri bilinen noktasal veri ile tahmin yapılacak noktasal veri arasındaki uzaklık
p	: Üssel değeri
n	: Örnek nokta sayısı

Kısaltmalar

AKM	: Askıda Katı Madde
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
UA	: Uzaktan Algılama
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
ASTM	: American Society for Testing Materials
TS	: Türk Standartları
DIN	: German Institute for Standardization
DSİ	: Devlet Su İşleri
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PTT	: Posta ve Telgraf Teşkilatı Genel Müdürlüğü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı

BM	: Birleşmiş Milletler
M.Ö.	: Milattan önce
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
AGİ	: Akım gözlem istasyonu
LPTIII	: Log Pearson Tip III
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
MGİ	: Meteoroloji gözlem istasyonu
IDW	: Inverse Distance Weighting
UK	: Uçucu kül
YFC	: Yüksek fırın cürufu
SSB	: Silindirle sıkıştırılabilen beton
BHA	: Birim hacim ağırlık
UPV	: Ultrases geçiş hızı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Su, insanlık tarihi boyunca en önemli yaşamsal ihtiyaçlardan birisi olmuştur. Tüm canlılar gibi insan da suya her anlamda muhtaç olmuştur. İlk uygarlıklar, yerleşimlerini su kaynaklarına yakın yerlerde kurmuşlardır. İnsanın suyu kullanabilmesi varlık ve yokluk boyutunda önemlidir. Bu nedenle geçmişten günümüze, uygarlıkları oluşturan tüm insan toplulukları su kaynaklarına yakın bölgelerde gelişmiştir. Ancak uygarlıkların gelişmesiyle su kaynaklarının kontrollü bir şekilde kullanılması gerekmiştir. Bu nedenle mühendislik yapıları ortaya çıkmıştır (Bayram, 2017).

Barajlar suyu tutma işlevi amacıyla yapılan yapılar olarak geçmişten günümüze en önemli su yapılarıdır. Uygarlık seviyesinin ve nüfusun giderek artması nedeniyle suyun kontrol edilip sulama, taşkın, içme-kullanma ve enerji gibi konularda gereksinimlerin karşılanması gerekmiştir. Bu ihtiyaçların karşılanmasında barajlar en önemli yapılardır (Bayram, 2017).

Barajlar, yapıldığı bölgeye uzun yıllar hizmet etmesi beklenen yapılardır. Bu nedenle barajların yapısal dayanıklılığı ve havza hidrolojisi bakımından uygun projelendirilmesi gerekmektedir. Türkiye'deki barajların başlıca sorunları siltasyon ve yağış rejimindeki ani değişimlerdir. Siltasyon, akarsuyun getirdiği kil, silt gibi ince malzemenin baraj gövdesi tarafından tutulmasıdır. Bu malzemeler baraj gövdesinin memba kısmında birikme yaparak, barajın ekonomik ömrünü kısaltmaktadır. Siltasyonun en önemli sebeplerinden biri erozyondur. Orman alanlarının yok edilmesiyle toprak kayıpları yaşanmaktadır. Bu topraklar akarsular yoluyla taşınmaktadır. Barajların ekonomik ömrünü etkileyen bir diğer etken de yağış rejimidir. Yağış değerlerinde uzun yılların ortalama değerlerinden artış yönünde sapmalar meydana geldiğinde taşkın gibi problemler meydana gelmektedir. Barajların bu yoğun yağış dönemlerinden statik olarak etkilenmemesi için baraja gelen fazla suyun kontrollü olarak akarsu yatağına geri verilmesi gerekmektedir. Barajlarda bulunan bu yapılar dolusavak ismi verilmektedir. Dolusavaklar barajın statik güvenliğini koruyan en önemli yapılardır. Bu yapıların dayanıklılığı barajın ekonomik ömrünü etkileyen en önemli faktörlerdendir (Yiğitbaşıoğlu, 1996).

Son yıllarda, bilgisayar ve yazılım teknolojisinin hızlı gelişimiyle birlikte, su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve yönetimi konularında bilgisayar destekli veri analizi önemli rol oynamaktadır. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bu amaçla son zamanlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. CBS, bir havzanın hidrolojik ve meteorolojik analizlerini yapılmasında, bir baraj yerinin planlanmasında kullanılabilir (Bakış ve Bayazıt, 2015). Bu çalışmada Porsuk Havzasındaki hazır kurulu Porsuk barajına gelen taşkın debileri CBS destekli incelenip mevcut bu barajın dolusavağında oluşan aşınma problemlerinin incelenmesi ve iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ilk olarak havzanın hidrolojik ve meteorolojik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra havzada bulunan Porsuk Barajına gelen taşkın debileri hesaplanmıştır. Bu debilere göre dolusavak projelendirme debisi tespit edilerek dolusavak üzerine gelebilecek hidrolik yük ve hızların bulunması planlanmıştır. Bu barajın dolusavağında kullanılan beton kalitesine benzer bir referans beton numunesi üretilerek bu betonlarda meydana gelebilecek aşınma problemlerine karşı malzeme özellikleri geliştirilerek uzun ömürlü, aşınmaya dirençli bir dolusavak beton tipi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmaları yaparken beton malzeme üzerindeki aşınmalar 3 farklı deney yöntemiyle araştırılması hedeflenmiştir. (ASTM C1138, 1997 ve (TS 2824 EN 1338/DIN 52108, 2005) standartlarında belirtilen sırasıyla betonun su altındaki aşınma direnci deneyi, Böhme aşınma deneyi yapılması planlanan deneylerdir. Bu deneylere ek özel olarak geliştirmiş olan standartlarda bulunmayan kumlu su jeti aşındırma deney yöntemi kullanılması planlanmaktadır. Bu deneyler sonucunda Porsuk barajının dolusavağında kullanılan referans beton tipinin aşınma kaybı tespit edilmiştir. Referans betonun aşınmamaya karşı direncinin iyileştirilmesi için yeni malzeme karışımları önerilerek bu malzemelerin aşınmaya karşı özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, bu tez çalışmasında su yapılarında meydana gelebilecek aşınma problemlerine karşı daha dayanıklı bir beton tasarımı geliştirerek ülkeye ekonomik olarak katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Son yıllarda gelişen uydu teknolojisiyle birlikte su kaynaklarının değerlendirilmesi ve entegre havza yönetimi konusunda CBS yazılımlarının kullanımı artmıştır (Çabuk, vd., 2013). CBS, havzanın entegre bir biçimde yönetimi esasına dayanan bir planlama anlayışı için havzaya ait verilerin toplanıp değerlendirilmesi,

dijital platformlarda saklanması ve mekânsal analizleri yapabilecek şekilde sorgulanması için gerekli olan ortamların hazırlanmasında, teknolojik ve vazgeçilmez bir araç olarak görülmektedir (Torun, 2008). Bu çalışmada da CBS den yararlanılarak Porsuk havzasına ait tüm hidrolojik ve meteorolojik analizler yapılarak havzanın karakteristikleri belirlenecektir.

Porsuk Havzasında bulunan, havzanın sulama ve taşkın korumasında önemli rol oynayan Porsuk Barajı bu çalışmada ele alınacaktır. Porsuk Barajının taşkın koruma, sulama, içme suyu ve henüz geliştirilmemiş olmakla birlikte enerji faydaları da bulunmaktadır. Porsuk barajından elektrik enerjisi üretme konusunda literatürde önemli çalışmalar yapılarak bunun bölge ve ülke ekonomisine katkıları belirlenmiştir (Bakış, vd., 2009; Bakış, vd., 2008; Büyükerşen ve Efelerli, 2008). Baraj, Eskişehir kentini taşkınlardan korumasının yanında, 7850 ha tarım arazisini de taşkınlardan korumaktadır. Tarım Eskişehir ilinin vazgeçilmez gelir kaynaklarından. Dolayısıyla Porsuk Barajı bölge için büyük önem arz etmektedir. Barajın herhangi bir hasar görmesi veya yıkılması durumunda bölgenin büyük zararlar göreceği aşıkardır. Porsuk barajının bazı taşkın periyotlarındaki senaryolarıyla yıkılması durumundaki modellemeleri literatürde çalışılmıştır (Bayazıt, vd., 2014; Elçi, vd., 2017). Böylesi büyük taşkınlarda barajın membasındaki büyük su kütlesi baraj gövdesi zarar görmeden dolusavaktan güvenli bir şekilde tahliye edilmelidir. Bu durumda dolusavakların projelendirilmesi uzun yıllar boyunca gelebilecek en büyük taşkın debisine göre yapılmalıdır. Dolusavaklardan akan suyun enerjisi oldukça büyük olduğu için dolusavak gövdesinde ve enerji kırıcı dişlerde bazı kavitasyon ve aşınma problemleri meydana gelebilir (Şekil 1.1.). Uzun yıllar boyunca fiziksel etkilere maruz kalan dolusavak betonunda hasarlar meydana gelebilir. Baraj betonunun aşınmalara karşı daha dayanıklı olabilmesi için bu tez çalışmasında araştırmalar yapılarak aşınmaya dayanıklı yeni bir beton tipi önerilmesi amaçlanmıştır.

Su yapılarında dış etkenler nedeniyle ortaya çıkan bozulmalar ekonomik ve teknik yönden önemli sorunlar yaratmaktadır. Betonun özelliklerine bağlı olarak kullanım alanları gelişmiş, bu nedenle de betonda dayanım özelliği kadar dayanıklılık özelliği de önem kazanmıştır. Betonun kullanıldığı ortamlar, karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkiler göz önüne alındığında, betonun dayanıklılık özelliği sonucu ortaya çıkan kullanım ömrü de önem kazanmaktadır. Betonun kullanım ömrü, dış faktörlerin

etkisi altında; şekil, nitelik ve hizmet verebilme özelliklerini uzun süre kaybetmeden devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanır. Kullanım ömrü, betonun özellikleriyle birlikte, etkisinde kaldığı koşullara bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 1.1. Bir dolusavak yapısında meydana gelen aşınmalar (Galvao, vd., 2012)

Su yapıları hidrostatik ve hidrodinamik yükler altında abrasif aşınma etkilerine karşı açık yapılar olduğundan birçok fiziksel etkilere maruz kalabilmektedir. Aşınma etkisi de bu yapıların maruz kaldığı fiziksel etkilerden biridir. Bu çalışmada tasarlanacak alternatif beton karışımlarının, aşınma dirençlerinin iyileştirilmesi ve böylece olumsuz taşkın durumlarında baraj dolusavak betonunun hasar görmesinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Yapılan çalışmada Porsuk Barajının dolusavak sıçratma eşiğine gelen su yükü hesaplanıp verebileceği fiziksel etki incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken suyun yapacağı etki ile birlikte sıçratma eşiğinin beton kalitesi de oldukça önemlidir. Enerji kırıcı yapıların aşınmaya karşı dirençli olması istenir. Dolusavaklar çalıştırıldığında barajın güvenliği için yüksek hızlarda su bu yapıya çarparak enerjisi sönmülmelidir. Bu yapılarda kullanılan betonun fiziksel ve mekanik özellikleri ayrıca değerlendirilip üretilmelidir. Bu tez çalışmasında Porsuk barajının içinde bulunduğu Porsuk havzasının özellikleri ile birlikte farklı bir disiplin olan beton teknolojisi konuları birlikte ele alınmıştır. Çalışmanın ilk kısmında, havzanın modellenmesi, hidrolojik ve meteorolojik özelliklerinin belirlenmesi gibi konular incelenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise Porsuk barajının dolusavağında kullanılan beton kalitesinde beton üretilerek aşınmaya karşı direnci deneysel olarak incelenmiştir.

2. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Su kaynaklarının değerlendirilmesinde baraj gibi su yapıları suyun kontrol edilip kullanılmasında en önemli yapılardır. Barajların planlanması yapılırken, o bölgenin havza karakteristikleri, su potansiyeli, hidrolojik ve meteorolojik özellikleri gibi birçok etken göz önünde bulundurulmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar multidisipliner çalışmayı gerektirmektedir. Barajın kurulacağı yer planlandıktan sonra, baraja gelebilecek hidrostatik ve hidrodinamik yükler hesaplanarak barajın uzun yıllar hizmet edebilecek dayanıklılıkta olması istenir.

Barajlar uzun ekonomik ömre sahip olması istenen yapılardır. Baraj gölünde depolanan su hacmini normal su seviyesinin üstüne çıkmaya başladığında, suyun baraj gövdesinin üzerinden aşırıp barajı yıkmaması için suyun bir savak yardımıyla boşaltılması gerekir, suyu boşaltan bu kanallara dolusavak denir. Dolusavaklar oldukça karmaşık yapılardır. Baraj gölünden tahliye edilmek istenen su, öncelikle bir eşik yapısı ile kanal içine alınır. Bu eşik yapısının görevi, suyu nehir rejiminden sel rejimine geçirmektir. Yani suyun hızını arttırmaktır. Hızı artan su deşarj kanalına alınır ve hızla uzaklaşması istenir. Ancak oldukça hızlanan suyun da kanalın çıkışındaki yapılara zarar vermeden uzaklaştırılması gerektiğinden bir enerji kırıcı yapı yapılması gerekir. Bu enerji kırıcı yapının yüksek hızda olan suyun fiziksel etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır.

Tez konusuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar, havza araştırmaları ve beton aşınması ile ilgili deneysel çalışmalar olmak üzere 2 başlık altında araştırılmıştır.

2.1. Havza Çalışmaları ile İlgili Yapılmış Araştırmalar

Son yıllarda baraj ve havza planlamalarında uzaktan algılama, CBS gibi yeni teknolojilerden sıklıkla yararlanılmaktadır. Uzaktan algılama ve CBS kullanılarak barajın kurulacağı havzanın özellikleri analiz edilmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Akım verilerinin ölçülemediği, Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) olmayan bir havzanın akım verilerinin bulunması amacıyla, çalışma havzası olarak seçilen Solaklı havzasında CBS yardımıyla analiz yapılmıştır. Havza karakteristiklerinin bulunması amacıyla, IRS P6, IRS P5 uydu verileri kullanılarak, havzaya ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. SYM kullanılarak havzanın akış yönü, yüzey akış haritaları ve havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur. Arazi modelinde bulunan topografik parametreler ve eş yağış eğrilerinden bulunan ortalama alansal yağış verileri çoklu regresyonla kullanılarak ölçümü bilinmeyen bir noktanın akım verileri hesaplanmıştır. Bu çalışmada CBS ve Uzaktan algılama (UA) uygulamaları havza parametrelerinin ve akımların hesabında yardımcı araç olarak kullanılmıştır (Algancı, 2009; Demirkesen, 2007).

2008 yılında Karaman ilinin Ermenek ilçesinde bulunan Balkusan deresi üzerinde iki adet hidroelektrik enerji santrali (HES) planlaması UA teknikleriyle yapılmıştır. (Karen A.Ş., 2008).

Asya'da dağlık ve bol yağışlı olmasıyla bilinen bir bölge olan Nepal'de, UA ve CBS yöntemlerinden yararlanılarak HES planlamaları yapılmaktadır. Ülkenin HES potansiyelinin geliştirilmesine, teknolojik gelişmelerden faydalanılarak devam edilmektedir. (Pathak, 2008).

2000 yılında yapılan bir çalışmada, Güney Afrika bölgesinde, hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi için sayısal haritalar yardımıyla topografik eğimler ve akış tahmin modelleri oluşturulmuştur. Akış tahmin modellerine göre, değişken katsayıların ve düşük akım indekslerinin ortaya konması, akım verilerinin ölçülmesi ve risk değerlendirmesinin ortaya konmasında iyi çözümler ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan yöntem ile küçük ve büyük ölçekli hidroelektrik potansiyellerin CBS ile hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirilebilme olanağı sağlamıştır (Ballance vd., 2000).

Doğu sınırlarımızda bulunan komşu ülke Irak'ta yapılan Bekhme barajı Büyük Zap Suyu nehri üzerinde bulunmaktadır. Bu barajın planlanması CBS ile yapılmıştır (Kehreman, 2006).

2008 yılında yapılan bir çalışmada, İtalya'da bulunan akarsuların akımlarından daha iyi yararlanabilmek için UA ve CBS tekniklerinden faydalanılmıştır. Akarsuların debi-süreklilik ilişkileri ortaya konularak küçük ölçekli hidroelektrik enerji üretiminin geliştirilmesi hedeflenmiştir (Julio vd.,2008).

Su kaynaklarında kıtlık yaşayan Etiyopya'da, bütüncül havza yaklaşımıyla su kaynaklarının kullanımı ve değerlendirilmesi planlanmıştır. Ülkede, bir havza üzerinde yapılacak yeni baraj planlamalarının yeni bir yaklaşımla yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle çalışmalarda UA ve CBS tekniklerinin kullanılması gerekliliğine vurgu yapılmıştır. Ülkede su kaynaklarının azlığından, çalışmaların çevre ile ayrı değerlendirilmemesi bütüncül havza modellemesi yapılarak değerlendirilmesi konusu ele alınmıştır (Tefera ve Stroosnijder, 2007).

Su kaynaklarının azlığı ile sıkıntı yaşayan bir diğer Afrika ülkesi olan, Uganda'da, küçük hidroelektrik enerji potansiyellerin belirlenmesi için havza çalışmaları, UA ve CBS tekniklerinden yararlanılarak yapılmıştır (Bergström ve Malmros, 2005).

2009 yılında yapılan bir çalışmada, Hindistan'nın Himalaya dağlarında AGİ bulunmayan havzalarında küçük hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için UA ve CBS teknikleri kullanılmıştır. Ülkede özel sektör tarafından yapılan projelerde elinde yeterli veri olmaması nedeniyle, su kaynaklarının geliştirilmesi konusunda sıkıntılar yaşanmakta olduğu vurgulanmıştır. UA ve CBS'nin kullanılması özel sektöre bu konuda yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır (Kumar ve Singhal, 2009).

Bakış ve Bayazıt'ın UA ve CBS kullanılarak havza ve HES planlamaları konularında çalışmaları bulunmaktadır (Bakış ve Bayazıt, 2015). Baraja gelen taşkın debilerinin hesaplanması konusunda da birçok çalışma yapılmış olup barajın güvenliğini tehdit eden maksimum debiler hesaplanabilmektedir.

Çalışmada Porsuk barajına gelebilecek taşkın debisi hesaplanmıştır. Taşkın debisi hesaplanırken Log Pearson Tip 3 (LPTIII) dağılımı kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Taşkın debilerinin bulunmasında en uygun akım verilerinin dağılımının hesaplanmasıyla ilgili geçmişte birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan, 1968 yılında yapılan çalışma en eski araştırmalardan bir tanesidir. Çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) farklı bölgelerinde bulunan gözlem süresi 44-97 yıl arasında değişen 10 adet AGİ'nin taşkın debilerinin hesaplanması üzerine araştırma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, taşkın debilerinin hesaplanmasında LPTIII dağılımının uygunluğu görülmüştür (Benson, 1968).

1974 yılında yapılan bir çalışmada, ABD'de bulunan 300 AGİ üzerinde ölçülen 1000 yıllık taşkın debileri elde edilmiştir. Bu taşkın verilerinin değerlendirilmesinde farklı olasılık dağılımları analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm AGİ'lerde toplam gözlem süresi 14200 yıl olduğundan 1000 yıllık taşkın debisinden büyük olan değerlerin sayısı yaklaşık 14 olması beklenmiştir. Çalışmada en uygun dağılımlar, LPTIII ve Log-Normal (LN) dağılımları olarak kabul edilmiştir (Beard, 1974).

1981 yılında yapılan çalışmada, Avustralya' da bulunan 172 adet AGİ'den temin edilen akım gözlem verilerinin L-moment diyagramlarını kullanarak taşkın debilerine en uygun dağılımın belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda, LPTIII dağılımının AGİ'lerdeki taşkın debilerine en uygun dağılım olduğu sonucuna varılmıştır (McMahon ve Srikanthan, 1981).

Yıllardır süre gelen birçok araştırmadan da görüleceği üzere, dünyanın birçok ülkesinde UA ve CBS kullanımı hızla artarak önem kazanmıştır. Özellikle su kaynaklarının hızlı ve doğru bir şekilde analizinin yapılmasında verdiği olanaklar UA ve CBS'yi bu konuda kaçınılmaz bir araç olarak ortaya koymaktadır. Aynı şekilde, taşkın debilerinin hesaplanmasında AGİ verilerinin hangi istatistiksel dağılıma uyduğu konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde LPTIII dağılımlarının en uygun yöntem olduğu görülmüştür.

2.2. Su Etkisi Altında Beton Aşınmasının Araştırılması ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Su yapılarında aşınma problemleri, yapının yıpranmasına ve servis ömrünü kısaltmasına neden olmaktadır.

Andrej Kryzanowski vd. 2009 yılında yaptığı çalışmada Vhovo hidroelektrik santralının su tahliye yapısındaki aşınma problemlerini sahadaki beton ve laboratuvar ortamındaki beton üzerinde deneysel olarak incelemiştir.

Ramesh Kumar G. B. 2014 yılında yaptığı çalışmada 90 silindir beton numunesi üzerinde su altında betonun aşınma değerlerini incelemiştir. Bu betonlardaki agrega, çimento tipi ve puzolan kullanımının aşınmaya etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda silis dumanlı betonların aşınmaya karşı dirençlerinin oldukça olumlu etki gösterdiği görülmüştür.

2008 yılında E. K. Horszczaruk yüksek dayanımlı lifli betonların su etkisindeki aşınmalarını incelemiştir. Yapılan çalışmada iki tip (çelik ve polipropilen) lif kullanılmıştır. Çalışma sonucunda çelik lif kullanılan betonların aşınma direncini arttırmadığı fakat aşınma sürecini yavaşlattığı görülmüştür.

2006 yılında Yu Wen Liu, hidrolik yapılarda kullanılan betonlarına yönelik silis dumanı kullanımının aşınma üzerindeki etkilerini (ASTM C0418-12, 2013) deney yöntemi kullanarak araştırmıştır. Çalışma sonucunda silis dumanının aşınma direncini iyileştirdiği görülmüştür.

Zoran Grdic vd. 2014 yılında atık lastiklerin granüle malzeme olarak betonda kullanımının hidro aşınma dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucunda lastikli betonun aşınma direncini %10 kadar iyileştirdiği görülmüştür.

Momber 2004 yılında yaptığı çalışmada, su akışı etkisinde kayaların aşınması konusunda bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, kaya ve çimento içerikli kompozitlerde aşınma ve erozyon testlerinden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Çalışma sonucunda farklı aşınma tiplerine göre aşınma mekanizmaları sınıflandırılmıştır. Aşınma mekanizmalarının oluşumu sert kayalarda yarıлма şeklinde gerçekleşirken, yumuşak kayalarda delinme şekilde oluşmaktadır.

Kozjek vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada, sualtı aşınmasını simüle eden ASTM C1138 test yöntemi kullanılarak beton aşınmasının üç boyutlu karakterizasyonu geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, doğrusal bir ışıklandırma ile lazer üçgenlemesine dayalı bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır.

Scott ve Safiuddin 2015 yılında yaptıkları çalışmada betonun aşınmasında etkili olan parametreleri incelemiştir. Beton üzerine aşınma direncinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri tanımlanmıştır. Çalışmada, Kanada'da bulunan Konfederasyon Köprüsü'nün dizaynında karşılaşılabilecek aşınma problemleri nasıl ele alınması ile ilgili araştırmalarını sunmuşlardır.

Wang vd. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, su yapılarında kullanılan esnek koruyucu malzemelerin aşınma testlerini yapmışlardır. Çalışmada, su akışı ve askıda katı madde taşınımı sonucunda meydana gelebilecek aşınmaya karşı su yapılarının direncini arttırmak için 5 çeşit poliüre elastomer esnek koruyucular kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, saf poliüre koruyucunun en iyi aşınma direnci sağladığı görülmüştür.

Özellikle son yıllarda dünyada aşınma ve kavitasyon konularında birçok çalışma yapılmış olup bu konunun önemi vurgulanmıştır. ASTM C 1138 sualtında aşınma deneyiyle ilgili ülkemizde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamış olup bu çalışmanın özgünlüğünü bu deneyin vereceği düşünülmektedir. Bu deney sayesinde ülkemizde su yapılarında meydana gelen kalıcılık problemleri daha iyi analiz edilecek ve çözüm üretilecektir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında havza ve beton ile ilgili çalışmalar ayrı ayrı çalışılmış olup multidisipliner şekilde bütüncül bir çalışmaya rastlanılmamıştır. görülmemiştir. Bu tez çalışmasıyla literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA HAVZASI VE PORSUK BARAJI

3.1. Araştırma Havzası

3.1.1. Havzanın konumu

DSİ tarafından yapılan havza çalışmaları neticesinde ülkemiz akarsu havzaları 25 ana havzaya bölünmüştür (Şekil 3.1.). Bunlardan 12 numaralı olan havza ise Sakarya Havzasıdır (Şekil 3.2.). Türkiye’deki 25 ana havzadan biri olan 12 numaralı Sakarya havzasıdır.



Şekil 3.1. Türkiye’nin 25 ana akarsu havzası (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012)



Şekil 3.2. Sakarya havzası

Bu çalışmada araştırma sahası, Porsuk havzası seçilmiştir. Sakarya havzasının bir alt havzası olan Porsuk havzasının drenaj alanı yaklaşık 11188 km²’dir. Havzanın

3.1.2. Havzanın coğrafyası

3.1.2.1. Dağlar

Porsuk havzasının batısı ve güneyi, daha yüksek kotlu ve dağlık bir nitelik gösterirler. Bu kesimde ormanlık araziler daha fazla, ovalık araziler ise daha azdır. Havzanın doğu kesimleri ise daha düz ve az ormanlık bir nitelik ihtiva etmektedir. Buna göre, Havzanın kuzeybatısında Yirce dağları uzanmaktadır. Bu dağların başlıcaları Tepelce Tepe (1533 m) Karacebe Tepe (1322 m), Kanlığrek Tepe (1110 m), Kale Tepe (1779 m). Havzanın kuzeyinde, Sündiken dağları bulunmaktadır.. Bu dağların başlıca tepeler Sündiken Tepe (1769 m), Türkmen Tepe (1523 m), Metris Tepe (1301 m), Taştepe (1685 m), ve Uzunyatak Tepe (1786 m) sayılabilir. Havzanın Güneyinde Sivrihisar dağlarının bulunmaktadır. Bu dağların başlıcaları, Tınaz Tepe (1528 m), Dümrekçalı Tepe (1506 m), Yediler Tepe (1532 m), Sarnıç Tepe (1511 m), Karaburun Tepe (1332 m) ve Babadatçalı Tepe (1242 m)'dir. Havzanın en yüksek kısmını Kütahya ili civarındaki dağlar oluşturmaktadır. Sakar Tepe (1576 m), Kabakdede Tepe (1387 m), Tekneçukur Tepe (1609 m), Ömerbaba Tepe (1698 m), Elmalı Dağı (1558 m) ve Murat Dağı (2309 m)'dir. Porsuk Çayı'nın doğduğu yer kabul edilen Tokul köyü civarındaki Murat Dağı (2309 m)'dir.

3.1.2.2. Ovalar

Porsuk havzasında, İnönü ovası, Eskişehir ovası, Kütahya ovası, Aslanapa ovası ve Altıntaş ovası bulunmaktadır.

İnönü Ovası: Porsuk havzanın kuzeybatısında yer alır. Yükseltisi 860 m ile 800 m kotları arasındadır. Alanı yaklaşık 9000 ha'dir.

Eskişehir Ovası: Havzanın orta kesimlerinde olup, doğuya doğru uzanır. Yükseltisi 890 m ile 740 m kotları arasındadır. Alanı yaklaşık 70000 ha'dir.

Kütahya Ovası: Havzanın batısında bulunmaktadır. Güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda uzanır. Bu doğrultudaki uzunluğu 25 km kadardır. Ortalama yüksekliği 930 m olan Kütahya ovası yaklaşık 9300 ha'dir.

Aslanapa ovası: Porsuk Çayı'nın aşağı kısımlarında çayın her iki yamacında uzanan ovalık arazilerden meydana gelir.

Altıntaş Ovası: Porsuk havzasının güneyinde olan Altıntaş ovası, güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda uzanır. Denizden yüksekliği ortalama 1100 m olan Altıntaş ovası yaklaşık 26000 ha'dır.

3.1.2.3. Akarsular

Porsuk havzası, Porsuk Çayı ana kolu ve yan kolları tarafından drene edilmektedir. Porsuk Çayı, havzanın güneyinde bulunan Tokul köyü civarlarından, Murat Dağı'nın eteklerinden doğmaktadır. Çay, yan kollarla birleşerek kuzey yönüne doğru akmaktadır. Porsuk Çayı, Kütahya il merkezi yakınlarından geçtikten sonra Eskişehir'e il merkezinden geçmektedir. Daha sonra doğuya doğru kıvrılıp Sakarya Nehrine dökülmektedir. Porsuk Çayı doğuşundan Sakarya Nehrine dökülüşüne kadar yaklaşık 436 km'lik bir yolu kat eder. Porsuk Çayı ana kolunun önemli yan kolları şunlardır:

Kokar Çayı: Kokar Çayı, Kütahya-Dumlupınar yakınlarında doğan Akyar Deresi, Murat Çayı ve Çiftliközü Deresinin birleşmesinden oluşur. Yağış havzası oldukça büyüktür. Aslanapa ovası yakınlarında Porsuk Çayı ile birleşir.

Çat deresi: Üst havzadaki adı Değirmenözü deresi olup, birçok küçük yan kollarla birleştikten sonra Kütahya yakınlarında Porsuk Çayı ile birleşir.

Felent Çayı: Yağış havzası, Kütahya'nın batısıdır. Enne Barajı gölüne döküldükten sonra Porsuk Çayı ile birleşir.

Kargın Deresi: Türkmen Dağı eteklerinden doğan dere, birçok küçük yan kol ile birleştikten sonra Porsuk Barajı mansabında Porsuk Çayına dökülür.

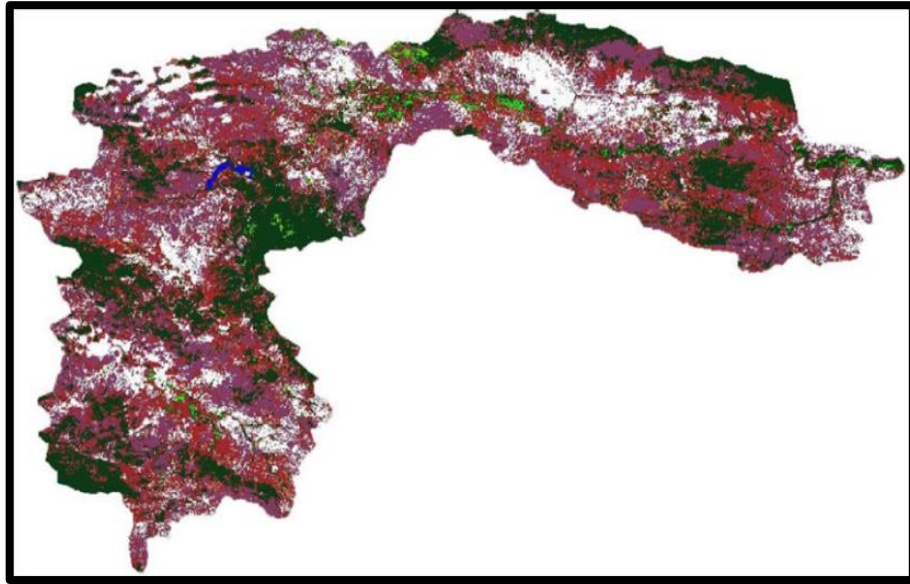
Sarısu Deresi: Dodurga köyü yakınlarındaki yükseltilerden doğan çay, Dodurga (diğer ismi ile Darıdere) baraj gölüne dökülmektedir. Daha sonra birçok yan derelerin suyunu da alarak Eskişehir il girişinde Porsuk Çayına dökülür.

Mihalıççık Deresi: Sündiken dağlarından doğar. Pek çok yan derelerin birleşiminden oluşan Mihalıççık Deresi, Özdenk Deresi ile birleşir ve Porsuk Çayına dökülür.

Pürtek Deresi: Sivrihisar dağlarından doğar. Pek çok yan dereleri aldıktan sonra Porsuk Çayına dökülür.

3.1.3. Havzanın jeolojisi

Porsuk Havzası 11188 km²'lik bir araziye sahip geniş bir alt havzadır. Devlet Su İşleri (DSİ) ve Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA), havzada birçok araştırmada kullanılmak üzere jeolojik ve hidrojeolojik etütler yapmıştır. Jeolojik çalışmalar genellikle MTA Genel Müdürlüğü tarafından, hidrojeolojik çalışmalar ise DSİ Genel Müdürlüğü yapılmış olup bunların raporları yayınlanmıştır (MTA, 2002; DSİ, 2002). Bu çalışma kapsamındaki jeolojik bilgiler, daha önce yayınlanmış etütler, bilimsel yayınlar ve jeolojik haritalardan oluşmaktadır (Şekil 3.4.) (Bakış, vd., 2008).



Şekil 3.4. Uydu görüntülerinden elde edilen Porsuk havzası genel jeolojik yapısı (Bakış, vd., 2008)

Porsuk havzası, jeolojik bakımından genel olarak, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler mevcuttur. Üst'te Mesozoyik, altta metamorfikler ve ofiyolit tabakalanmalar görülür. Havzada, üste doğru karbonat ve karbonatlı kayaların fazla olduğu tabakalar vardır.

3.2. Porsuk Barajı

3.2.1. Tarihçesi

Eskişehir ili, havzasında bulundurduğu iki önemli akarsuyu olan Porsuk Çayı ve Sarısuyun oluşturduğu verimli ovada kurulmuştur. Eskişehir kenti, ilk olarak bölgede bulunan bir tepenin kuzey yamacına kurulmuştur. Daha sonraları kurulan kentin

kuzeyinden tren yolunun geçmesiyle, kent gelişmesini ova üzerinde geliştirmiştir. Kentin ovaya kurulması zamanla meydana gelen bol yağışlı zamanlarda ovayı sulayan akarsuların taşmasıyla, taşkınlar meydana gelmiş kentin büyük bir bölümü sular altında kalmıştır. (Şekil 3.5.). Bu durum verimli topraklardan mahsul alımını olumsuz etkilemeye başlamıştır. İşte Porsuk Barajı'nın yapılma gereksinimine bu noktada ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır (Özel, 2012).



Şekil 3.5. 1950 yılında meydana gelen Eskişehir Sarısu taşkımindan bir görünüş (Özel, 2012)

1940'lı yılların başlarında kurulmuş "Sular Umum Müdürlüğü" daha sonra adını DSİ olarak değiştiren kurum bünyesinde çalışan Alman ve İsviçreli inşaat mühendisleri tarafından hazırlanan çalışma ile bu taşkınları kontrol eden bir barajın projesi hazırlanmıştır. Eskişehir ilinin kent merkezinden geçen Porsuk çayı üzerinde planlanan bu barajın temeli 1943 yılının Kasım ayında atılmıştır. Projenin yüklenici firması Hazakal İnşaat Şirketi'dir. Planlanan barajın gövde boyutları 175 metre uzunluk, 42 metre yükseklik şeklinde beton baraj olarak tasarlanmıştır. Yüklenici firma tarafından barajın inşaatı 6.5 yılda tamamlanmıştır. Barajın inşaatı 1949 yılının Şubat ayında tamamen tamamlanmıştır (Şekil 3.6.) (Özel, 2012).



Şekil 3.6. Porsuk barajı (Özel, 2012)

Porsuk barajının tamamlanmasıyla birlikte Porsuk Çayı'nın oluşturduğu taşkınlar kısmen engellenmiştir. Ancak, barajla kent arasında Porsuk Çayı'na katılan yan derelerin oluşturduğu taşkın risklerinin önüne geçilememiştir. Öyleki, Porsuk Barajı'nın işletmeye açılmasından yaklaşık 1 yıl sonra, Sarısu deresinin taşkına sebep olmasıyla Eskişehir kenti bir kez daha sel sularına teslim olmuştur. Bu taşkınla, kentteki birçok ev zarar görmüş, halk zor durumda kalmıştır. Bu durum siyasilere tarafından ele alınıp, Sarısu taşkınından sonra, kentin milletvekilleri Meclis'te “Bayındırlık Bakanına” soru önergesi vermişlerdir. O yıllarda Bayındırlık Bakanı olan Şevket Adalı “Porsuk Çayı yapılan barajla kontrol altına alınmış, ancak Sarısu, Kargın ve Hızarlı çayları taşkına neden olmuştur, diğer devamlı sel getiren dereler de ıslah edilip gerekli tedbirler alınacaktır” demiştir. Aradan yıllar geçmesine rağmen henüz taşkınları önleyebilecek tedbirler alınmamış veya alınan tedbirler yetersiz kalmıştır. 1964 yılında yine Sarısu deresinin neden olduğu sel ile birlikte Eskişehir'in bir çok bölgesi sular altında kalmıştır. Kentte bulunan bazı devlet dairelerindeki arşivlerde önemli hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 3.7.) (Özel, 2012).



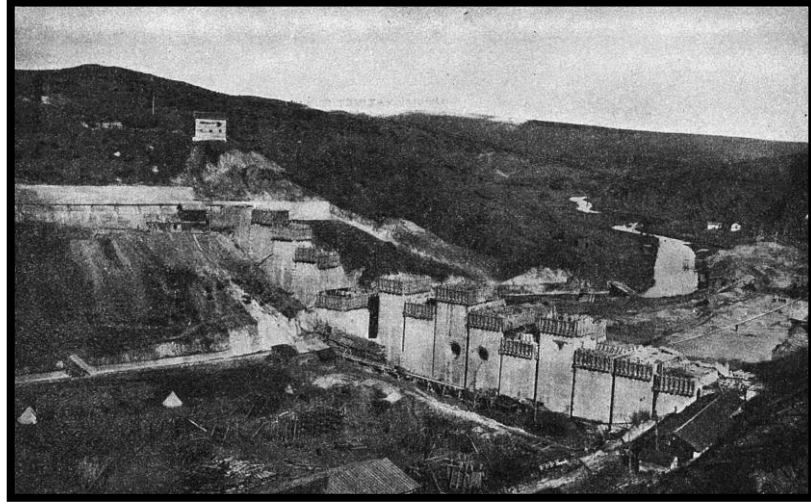
Şekil 3.7. 1964 Sarısu taşkınyndan bir görüntü (Özel, 2012)

Taşkınyların sıklıkla tekrar etmesi kentin sel felaketiyle sürekli karşılaşması nedeniyle, yeni tedbirlerin alınması bir zorunluluk haline gelmiştir. O yıllardaki DSİ Genel Müdürlüğü bünyesinde çalışan mühendisler tarafından taşkınyların önlemesi için bir proje geliştirilmiştir. Bu projeye göre, Porsuk barajından sonra Porsuk Çayı'na katılan Kargın ve Hızarlı dereleri barajın memba kısmına alınacak, mevcut Porsuk barajının gövdesi de 19 metre yükseltilmiştir. Böylelikle, baraj gölü kapasitesi 5 kat arttırılmıştır. Taşkınylara neden olan derelerden Sarısu ise Darıdere isminde yeni bir baraj yapımı ile kontrol altına alınmıştır. Porsuk barajının artan göl kapasitesi sebebiyle, baraj gölü altında 3 köyün kalması söz konusu olmuştur. Ayrıca Eskişehir-Kütahya karayolunun 16 km'lik bir kısmı baraj gölü altında kalacağından yolun yenilenerek göl alanı dışarisından geçirilmesi gerekmiştir. DSİ mühendisleri tarafından geliştirilen bu proje o yıllarda, Türkiye'de ilk 'mevcut barajın yükseltilmesi' projesi olmuştur. Ayrıca Dünya'da yükseltilmiş 7. baraj olmuştur. Porsuk barajı, o yıllarda başlıca yapılaş amaçlarından olan taşkın önlemenin yanında, günümüzde Eskişehir kentinin içme suyu kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Barajın yükseltilmesi ile ilgili projenin inşaat çalışmaları, Mühendisler İnşaat Ltd. Şirketi tarafından yüklenilmiştir. İnşaat çalışmaları 1966 yılının sonbahar aylarında başlamıştır. Projenin kontrolörlüğü DSİ 3. Bölge Müdürlüğü'nün mühendisleri tarafından yapılmıştır. Baraj yükseltilme çalışmalarının başladığı yılın hemen iki yıl sonrasında Mart ayında aşırı yağış ve kar sularının erime neticesinde meydana gelen taşkın baraj gövdesini statik olarak tehlikeye atmıştır.

Herhangi bir felaket oluşması riskine karşı kentte alarm durumuna geçilmiş birçok kurumda ek önlemler alınmıştır. Tüm zorluklara rağmen barajın yükseltilmesi çalışmaları 1972 yılının Haziran ayında tamamlanmıştır. Porsuk Barajı ve yan derelerindeki çalışmaların tamamlanmasıyla o yıllardan günümüze kadar Eskişehir ili için taşkın ve sel kavramları ortadan kalkmıştır. Bölgenin tarımsal faaliyetleri önemli ölçüde artış göstermiştir. Geçmişte kentin yaşamış olduğu felaketler eski fotoğraflarda kötü bir anı olarak kalmıştır (Özel, 2012).

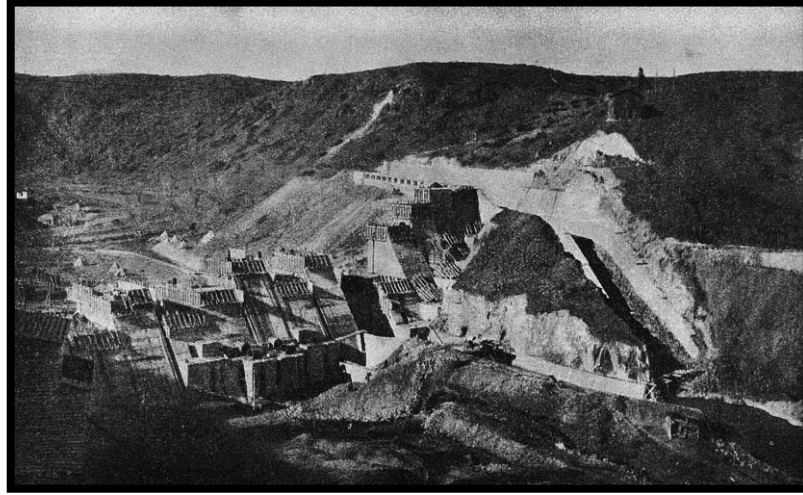
3.2.2. Yapımı

Geçmişte uzun asırların ihmaline uğrayan yurdumuzun hemen bütün nehir ve çayları gibi Porsuk çayı da, Eskişehir ve civarı için daima faydasız ve hatta zararlı bir konumdaydı. Taşkın zamanlarında, Sazılar istasyonuna kadar Eskişehir ve Alpu ovalarını su altında bırakan çay, hem ekime zararlı oluyor, hem de bataklıklar yapmak suretiyle civar halkın sağlığını tehlikeye atıyordu. Bu sebeple bu büyük sıkıntıları ortadan kaldırmak, aynı zamanda toplanacak olan sularla takriben 30000 hektar genişliğinde bulunan Eskişehir ve Alpu ovalarının sulanmasını sağlamak amacıyla, Porsuk çayı üzerinde ve Eskişehir'in 45 kilometre güney batısındaki en elverişli noktada bir baraj inşasına karar verilmiş ve inşası işi de 05.11.1943 tarihinde Hazakal İnşaat Limited şirketine 4.570.498,11 TL'ye ihale edilmiş, inşası da 07/02/1949 tarihinde tamamlanmıştır. (Baraj inşasından bazı görüntüler Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da verilmiştir.) Ancak Porsuk yatağı normal sarfiyatları da taşıyamayacak kadar dolmuş ve tıkanmış bir halde olduğundan barajın ıslahtaki rolünü tamamlamak üzere bu yatağın temizlenmesi işi, 1949 -1950 yılı programına alınmıştır. Bu işin birinci safhasının tahminî keşif bedeli 1.5 milyon lira olarak belirlenmiştir. Bundan sonra sulama şebekelerinin yapılması kararlaştırılmıştır (Geiger, 1949).



Şekil 3.8. Barajın inşasından bir görüntü (Geiger, 1979)

O dönemde, baraj, taşkınlardan koruma ve sulama ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılmış olmasına rağmen bir hidroelektrik santrali tesisi yapılması halinde, senenin beş ayında 1000 kilovat saatlik elektrik enerjisinin elde edilmesi de mümkün olacağı hesaplanmıştır. Sonradan düşünülen bu konu üzerinde rantabilite hesapları o dönemde yapılamadığından bu planlama günümüze kadar tatbik edilememiştir. Ancak günümüzde bu konuyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır. İnşa edilen Porsuk Barajının kret seviyesindeki uzunluğu 175 metredir. Temel derinliği en fazla 12 metre ve bu noktada barajın temel tabanından itibaren yüksekliği 42 metreyi bulmaktadır. Barajın tabanda en fazla kalınlığı 29 metredir. Baraj betonu ortalama 8.25 genişliğindeki 21 bloktan teşekkül etmektedir. Her blokun bir tarafı dilatasyon, diğer tarafı rötre derzi olarak inşa edilmiş ve rötre derzleri 0.80 m genişliğinde yapılmıştır (Geiger, 1949).



Şekil 3.9. Porsuk barajı gövde inşaatı (Geiger, 1949)

Baraj gövdesinde iki kontrol galerisi tertip edilmiş ve bu galeriler bacalarla birbirine bağlanmıştır. Dip savaklar, 2 tane \varnothing 1.60 m çapındaki saç borudan yapılmıştır. Dolusavaklar, baraj duvarı dışında ve sol yamaçta 15 adet göze ayrılmış bulunan, beşer metrelik savaklarla teşkil edilmiştir. Bu savaklardan taşacak sular, dolu savak kanalı vasıtasıyla mansap tarafındaki isale kanalına dökülecek ve oradan da Porsuk yatağına geçecektir. Dolu savaklar $150 \text{ m}^3/\text{sa}$ 'lık bir taşkın büyüklüğünü geçirebilecek kapasitededir. Porsuk çayının maksimum taşkın büyüklüğü ise $100 \text{ m}^3/\text{sa}$ olarak tespit edilmiştir. Barajın toplayabileceği maksimum su miktarı (155) milyon metre küptür. Barajın göl alanı 14.0 km^2 olacaktır. Beton yoğunluğu 2.25 t/m^3 alınmıştır. Hesaplarda baraj 8. derece bir depreme dayanacak mukavemette yapılmıştır. Barajın inşa edildiği yerde arazi cinsi serpantindir. Baraj kitlesinin oturduğu zemindeki çatlaklıklardan membadan mansaba doğru oluşacak sızıntıyı önlemek amacıyla temel seviyesinden itibaren, takriben 20 metre derinliğe kadar 0.60 - 0.90 metre mesafede iki sıra enjeksiyon perdesi yapılmıştır. Barajın inşasında kullanılacak olan gerekli kum ve çakıl, Porsuk istasyonundaki kargın yatağından çıkarılarak ham bir halde baraj şantiyesine nakledilmiş ve burada yıkandıktan sonra \varnothing 0-7,7-15, 15-25, 25-50, 50-100 mm. elek serilerinden geçirilerek ayrı ayrı silolara tevzi edilmiştir.

Laboratuvar tecrübeleri ile elde edilip tatbik edilen granülometri ve beton dozajı Tablo 3.1.'de gösterilmiştir (Geiger, 1949).

Çizelge 3.1. Porsuk Barajı agrega miktarları ve çimento dozajı

Malzeme	Miktar
0-7 mm agrega	%23 hacimce
7-15 mm agrega	%7.5 hacimce
15-25 mm agrega	%7.5 hacimce
25-50 mm agrega	%25 hacimce
50-100 mm agrega	%37 hacimce
Çimento	230 kg/m ³

Yıkama esnasında zayı olmuş olan ince malzemeyi telafi amacıyla bu granülometrinin metre küpüne 125 kilo isabet edecek şekilde filler adı verilen gayet ince kum (mil) ilave edilmiştir. Blokların betonu 1.5 metrelik tabakalar halinde dökülmüş ve üst üste gelen iki tabakanın dökülmesi arasında asgari 72 saatlik bir zamanın geçmesi kabul edilmiştir. Baraj betonu, betoniyerden havai hat ile mahalline döküm yerine nakledilmiş ve vibratörlerle sıkıştırılmıştır. Çubuk barajı inşaatında kullanılmış bulunan beton yapma ve yerine nakletme tesisatı, bu inşaat da kullanılmış ve günde 250 - 300 metre küp beton dökülebilmiştir. Baraj gövdesinin hacmi 76000 m³ tür. Gerek kum-çakılın, gerekse inşaatı kullanılacak bir çok malzemenin, nakli için Porsuk istasyonu ile baraj arasında 5.5 kilometre uzunluğunda bir de servis yolu inşa edilmiştir. Kesin hesaplar net bilinmese de yapılan yaklaşık hesaplara göre barajın inşasına 10 milyon, su altında kalan arazinin istimlaki için de 3.5 milyon lira sarf edilmiştir (Geiger, 1949).

3.2.3. Dolusavak beton karakteristiği hakkında bilgiler

Çalışmada örnek baraj olarak ele alınan Porsuk barajının beton karakteristiğinin en iyi şekilde yansıtılabilmesi için Porsuk barajı hakkındaki dokümanlara ek olarak literatür araştırması ile desteklenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde baraj betonlarının laboratuvar ölçeğinde dökülebilmesi için agrega dane boyutları küçültülmüş, dozajlar minimum 300 kg alınmıştır. Ayrıca baraj betonları kütle betonlar olduğu için S/Ç oranı düşük olması gerekir. Laboratuvarda üretilen betonların mekanik özelliklerinin gerçekteki barajın beton özelliklerinin yansıtması göz önüne alınan en önemli kriterdir. 2006 yılında Liu

ve ark. tarafından yapılan çalışmada üretilen betonun karışımında 320-425 kg aralığında değişen farklı dozajlarda numuneler üretilmiştir (Liu, vd., 2006). Karışımında kullanılan agregaların maksimum dane boyutu 13 mm alınmıştır. 2009 yılında Horszczaruk isimli bilim adamı tarafından yapılan çalışmada baraj betonu olarak üretilen laboratuvar numunelerinin karışım dizaynları incelendiğinde dozaj 450, S/Ç oranı 0.3, D_{max} 16 mm alınmıştır (Horszczaruk, 2009). 2009 yılında başka bir çalışmada ise Vrhovo hidroelektrik santralının dolusavak beton karakteristiğini yansıtan beton tasarımı yapılmıştır. Çalışmada baraj yapısında kullanılan beton özelliklerinin birebir yansıtılamayacağı için laboratuvar koşullarında malzeme bakımından en yakın özellik gösteren beton dizaynı yapıldığı yazarlar tarafından belirtilmiştir. Karışım dizaynlarında minimum dozaj 440 kg/m^3 , S/Ç oranı 0.416, D_{max} 16 mm alınmıştır (Kryżanowski, vd., 2012).

Bu kısımda, literatürde baraj betonlarının laboratuvar ortamında üretilmesi için gerekli karışım dizaynları hakkında bilgi edinilmiştir. Çalışma kapsamında Porsuk barajının beton karakteristiğini en iyi yansıtabilecek deneme karışım dizaynları yapılarak en uygun referans betonu üretilecektir.

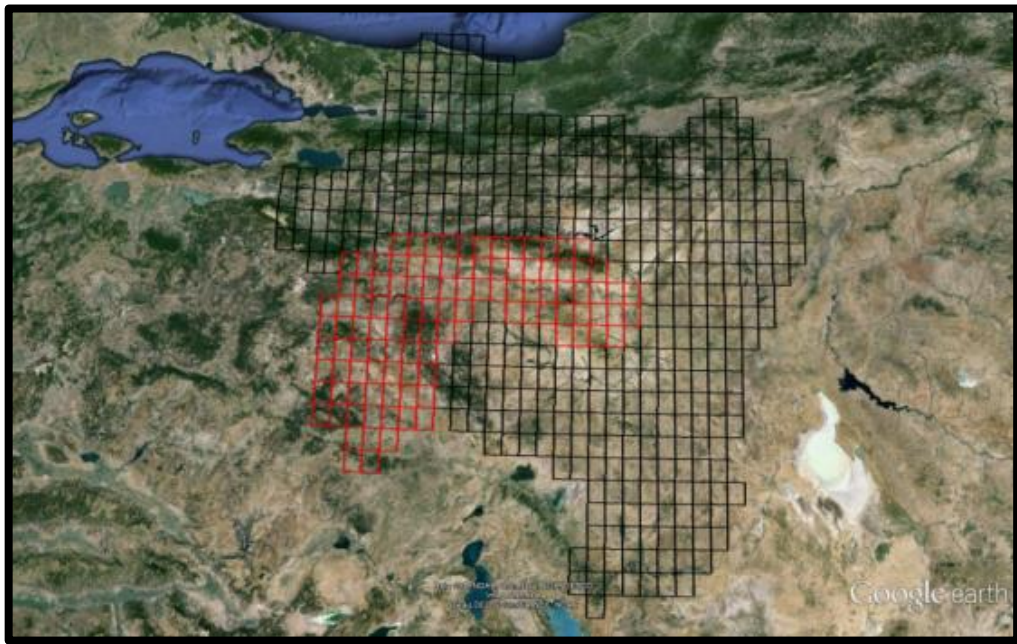
4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Havza çalışmalarında kullanılan materyaller

4.1.1.1. Sayısal topografik haritalar

Bu tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilen Porsuk havzasında gerekli araştırmaları yapabilmek için havzayı kapsayacak şekilde 1/25000 ölçekli sayısal topografik haritalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölge içerisinde seçilen harita paftaları Şekil 4.1.'de kırmızı renkte gösterilmiştir.

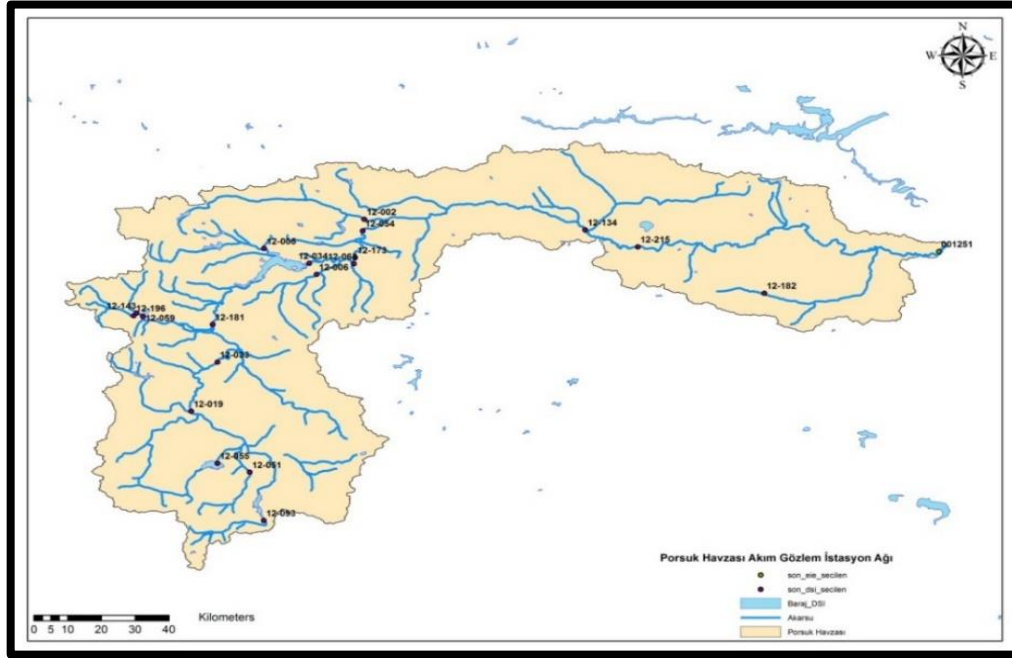


Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan 1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritalar

4.1.1.2. Akım gözlem istasyonları

Bu çalışmada, Sakarya havzasının bir alt havzası olan Porsuk havzasındaki Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'ne ait akım gözlem istasyonlarının (AGİ) akım verilerine ihtiyaç duyulmuştur.

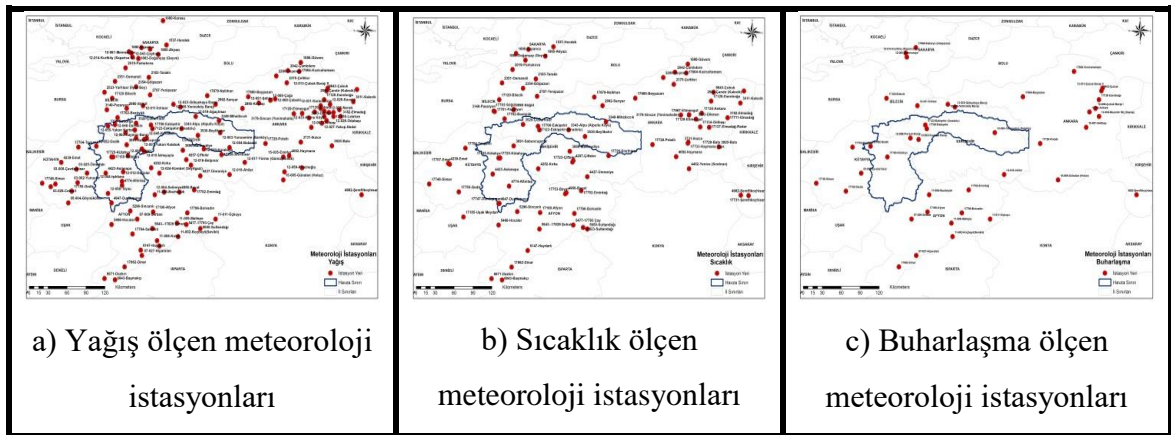
1960-2013 yıllarına ait (54 yıl) aylık debi değerleri Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Havzada birçok AGİ bulunmasına karşın en uzun veri setine sahip 20 istasyon seçilerek çalışmada kullanılmıştır. Bu istasyonların havza üzerindeki konumları Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Porsuk çayı ana ve yan kolları üzerinde bulunan AGİ ağı

4.1.1.3. Meteoroloji gözlem istasyonları

Araştırmada, Porsuk Havzası ve havza civarında bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (MGİ) elde edilen yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi veriler Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan MGİ verileri, 1926-2015 yıllarını kapsayan aylık ortalamalar şeklinde alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan MGİ havza ve civarındaki konumları Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Meteoroloji istasyonlarının konumsal haritaları

4.1.2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan materyaller

4.1.2.1. Agregalar

Beton tasarımında kullanılan kalker kökenli kırma taş agregaları Eskişehir ÇİMSA hazır beton santralının silolarından temin edilmiştir. Beton kaplama tasarımında agregalar ince, orta ve iri agregalar şeklinde 3 farklı tane boyutu olarak kullanılmıştır.

Beton tasarımında kullanılan agregaların tane dağılımı (TS EN 933-1, 2012) standardına göre elek analizi deneyi ile belirlenmiştir.

4.1.2.2. Çimento

Beton tasarımında kullanılan çimento, Eskişehir ÇİMSA Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5R tipi Portland çimentosudur. CEM I 42.5R Portland çimentosu, yol, bina, baraj, köprü, prefabrik elemanlar ve yüksek dayanımlı betonların üretimine uygun genel kullanım amaçlı olan ve ülkemizde en çok tüketilen çimento tipidir. Numune üretiminde kullanılan çimentoya ait özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun özellikleri

CEM I 42,5 R	
Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
Özgül Ağırlık	3.06
Özgül Yüzey, (cm ² /g)	3641
Standart kıvam Su Miktarı, (%)	29.6
Priz Başlama Süresi, (dk)	190
Priz Sona Erme Süresi, (dk)	260
Genleşme (Le Chatelier), (mm)	1
Kimyasal Özellikler	
Kızdırma kaybı	≤%5
Çözünmeyen kalıntı	≤%5
SO ₃	≤%4
Klorür	≤%0.1

4.1.2.3. Su

Çalışmada üretilen beton karışımlarda kullanılan su TS EN 1008 (2003) standardına uygun olması gerekmektedir. Beton numunelerinin üretiminde içilebilir Eskişehir şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.2.4. Akışkanlaştırıcı

Çalışmada üretilen beton karışımlarda bağlayıcı malzemenin %1'i oranında İKSA İnşaat Katkıları San ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen POLYCAR 150 tipi akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada baraj betonu gibi su/çimento oranının düşük olduğu kütle betonlarında yaşanabilecek işlenebilirlik sıkıntılarının en aza indirilmesi için tüm numunelerde eşit oranda akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

4.1.2.5. Uçucu kül

Uçucu küller, Termik santrallerdeki kömürün yakılması sonucu bir yan ürün olarak açığa çıkarlar. Betonda katkı malzemesi olarak, puzolanik bir bağlayıcılık özelliğinin bulunması, sebebiyle tercih edilmektedirler. Yapılan çalışmalar, beton üretimlerinde bağlayıcı malzeme olarak çimentonun bir kısmının yerine uygun oranda uçucu kül ikame edildiğinde betonun maliyetinin azalmasıyla birlikte taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirildiği görülmüştür.

Bu araştırmada, beton katkı malzemesi olarak Tunçbilek Termik Santralinden temin edilen uçucu kül (UK) kullanılmıştır. UK'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler (%)	UK
SiO ₂	58.82
Fe ₂ O ₃	10.67
TiO ₂	1.07
Al ₂ O ₃	19.65
CaO	2.18
MgO	3.92
Na ₂ O	0.49
K ₂ O	1.90
SO ₃	0.48
P ₂ O ₅	-
Kızdırma kaybı	0.9
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	2.08
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3812

4.1.2.6. Yüksek fırın cürufu

Çalışmada çimento ikame malzemesi olarak yapay puzolanlar grubundan olan öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (YFC) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan YFC,

OYAK Bolu Çimento San. AŞ. Ereğli öğütme ve paketleme tesisinden temin edilmiştir. YFC'ye ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler (%)	YFC
SiO ₂	38.56
Fe ₂ O ₃	1.07
TiO ₂	1.01
Al ₂ O ₃	16.64
CaO	34.2
MgO	7.29
Na ₂ O	0.58
K ₂ O	1.1
SO ₃	0.35
P ₂ O ₅	-
Kızdırma kaybı	0
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	2.80
Özgül Yüzey (cm ² /g)	5283

4.2. Yöntem

4.2.1. Porsuk havzasının hidrolojik ve meteorolojik olarak incelenmesi

Çalışmada ilk olarak, araştırma havzası olarak seçilen Porsuk havzası hidrolojik olarak incelenmiştir. Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen 1/25000'lik sayısal topografik haritalar CBS yazılımıyla analiz edilerek havzanın hidrolojik sınırları ortaya konmuştur. Havzanın hidrolojik sınırları belirlendikten sonra havzadaki akarsular üzerinde bulunan AGİ verileri temin edilmiştir. Bu veriler analiz edilip AGİ'lerin taşkın debileri ve su potansiyelleri hesaplanmıştır. Ayrıca, bu tez çalışmasında incelenen Porsuk barajının taşkın debileri alan oranı metodundan faydalanılarak hesaplanmıştır. Baraja gelen bu taşkın debileri daha sonra deneysel çalışmalarda parametre olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın araştırma havzasıyla ilgili olarak ikinci kısmında meteorolojik verilerin analizi yapılmıştır. Bu analizlerin yapılabilmesi için DMİ'den yağış, sıcaklık ve buharlaşma verileri elde edilmiştir. Bu veriler uzun yıllara dayanan ölçümler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Havza ve civarındaki her bir MGİ, CBS yazılımında koordinatlandırılarak alansal interpolasyon yapılmıştır. Böylelikle Porsuk havzanın uzun yıllara dayanan meteorolojik verilere dayanan yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılım haritaları elde edilmiştir.

4.2.2. Numune tasarımı ve hazırlanışı

Bu çalışmada, Porsuk barajı dolusavak betonunun abrasif aşınma altındaki direncini belirlemek ve iyileştirmek için yüksek dayanımlı betonlar üretilmiştir. Abrasif aşınmaya karşı daha dirençli beton tasarımında çimento yerine ikame malzemesi olarak UK ve YFC doğal puzolanları kullanılmıştır. Porsuk barajı dolusavak beton kalitesini yansıtan referans numunesinin yanı sıra ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında UK ve YFC ikameli betonlar tasarlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında Porsuk barajı dolusavak beton tasarımında 350 doz çimento, S/Ç oranı 0.45 kullanılmasına karar verilmiştir. Baraj gibi su yapılarında yüksek dayanımlı kütle betonları kullanılır. Bu çalışmada iri agrega oranı fazla dayanımı yüksek beton tasarımları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan beton tasarımları Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Beton tasarımlarının kısaltma isimleri

Numune Kısaltması	Beton Karışımının Türü
Referans	Referans beton karışımı
UK 10	% 10 Uçucu kül katkılı beton karışımı
UK 20	% 20 Uçucu kül katkılı beton karışımı
UK 30	% 30 Uçucu kül katkılı beton karışımı
YFC 10	% 10 Yüksek fırın cürufu katkılı beton karışımı
YFC 20	% 20 Yüksek fırın cürufu katkılı beton karışımı
YFC 30	% 30 Yüksek fırın cürufu katkılı beton karışımı

Referans ve mineral katkılı beton tasarımlarının karışım oranları Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Bileşenler 40 dm³ hacmindeki betonyerde karıştırıldıktan sonra mineral katkı miktarının ve s/ç oranının taze beton üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır. Taze beton kalıplara tokmak ve şiş yardımıyla hava boşlukları çıkacak şekilde yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıplardan alınan numuneler, sıcaklığı 20 ± 2°C olan kirece doymuş su içerisinde 3, 7, 28 ve 90 gün süreyle kür edilmişlerdir. Beton numunelerinin fiziksel, mekanik ve kalıcılık özelliklerinin belirlenmesi için 150x150x150 mm küp, 70x70x70 mm'lik küp, 200x200x50 mm kare prizma, 300 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik numuneler üretilmiştir. Beton üretimi ve taze beton deneylerinin yapılışı Şekil 4.4.'de

görülmektedir. Beton karışımlarının hazırlanması ile taze ve sertleşmiş beton deneyleri Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 4.4. Beton karışımların hazırlanması

Çizelge 4.5. 1 m³ beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

1 m ³ Beton							
Numune Tipi	Referans	UK 10	UK 20	UK 30	YFC 10	YFC 20	YFC 30
Çimento (kg)	350	315	280	245	315	280	245
Su (kg)	158	158	158	158	158	158	158
İnce Agregası (kg)	468	468	468	468	468	468	468
Orta Agregası (kg)	655	655	655	655	655	655	655
İri Agregası (kg)	749	749	749	749	749	749	749
Akışkanlaştırıcı (kg)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Uçucu Kül (kg)	-	35	70	105	-	-	-
Yüksek Fırın Cürufu (kg)	-	-	-	-	35	70	105

4.2.3. Elek analizi deneyi

Beton tasarımı için agregaların tane dağılımı yapılan elek analizi deneyi ile belirlenmiştir. TS EN 933-1 (2012) standardına göre yapılan bu deneyde, kullanılan malzemelerin büyük tane boyutlarından küçük tane boyutlarına eleme işlemi yardımıyla bölünmesi ve ayrılmasından oluşur. Deneyde kullanılan eleklerin göz açıklıklarının büyüklüğü ve eleklerin sayısı, istenilen hassasiyet derecesine ve numunenin cinsine bağlı olarak belirlenmelidir. Beton üretimi için elek analizinde kullanılan elekler 0,25 mm, 0,50 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm boyutlarındadır. Agregası numuneleri 105°C etüvde kurutulduktan sonra Şekil 4.5.'de görülen elek sarsma makinasında elenerek tane boyut analizi belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Agregada elek seti ve sarsma cihazı

4.2.4. Agregada özgül ağırlık deneyi

4.2.4.1. İri agregada özgül ağırlık deneyi

Beton tasarımında iri agregaların (4.75 mm elek üzerinde kalan agregaların) özgül ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Karışımlarda kullanılan agregada örneğinden alınan numuneler üzerinde (TS EN 1097-6, 2002) standardına göre Arşimet terazisi deneyi yapılmıştır. Agregaların özgül ağırlıkları Eşitlik (4.1.-4.4.) yardımı ile belirlenmiştir.

$$\text{Hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{B-C} \quad (4.1.)$$

$$\text{Doymuş esasa göre hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{B}{B-C} \quad (4.2.)$$

$$\text{Görünür özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{A}{A-C} \quad (4.3.)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{B-A}{B} \quad (4.4.)$$

A= Kuru ağırlık (gr)

B= Doymuş yüzey kuru ağırlık (gr)

C= Sudaki ağırlık (gr)

4.2.4.2. İnce agregada özgül ağırlık deneyi

Beton tasarımında ince agregaların özgül ağırlıkları değerleri TS EN 1097-6 standardı ile tespit edilmiştir. Karışımlarda kullanılan agregada örneğinden alınan

numuneler üzerinde deney yapılmıştır. Agregaların özgül ağırlıkları Eşitlik (4.5.-4.8.) yardımı ile belirlenmiştir.

$$\text{Hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{E}{((B-A)-(D-C))} \quad (4.5.)$$

$$\text{Doygun esasa göre hacim özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{(C-A)}{((B-A)-(D-C))} \quad (4.6.)$$

$$\text{Görünür özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{E}{(B-D)+E} \quad (4.7.)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{(C-A)-E}{E} \quad (4.8.)$$

A = Piknometre ağırlığı (gr)

B = Piknometre ağırlığı + su ağırlığı (gr)

C = Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doymun numune ağırlığı (gr)

D = Piknometre ağırlığı + yüzey kuru suya doymun numune ağırlığı+ su ağırlığı (gr)

E = Kuru numune ağırlığı (gr)

4.2.5. Agregada birim ağırlık deneyi

Beton tasarımında agregaların sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyi (TS 706 EN 12620, 2009) yapılmıştır. (Şekil 4.6.)



Şekil 4.6. Agregada birim ağırlık deneyi

4.2.5.1. Gevşek birim ağırlık deneyi

Agrega tane boyutuna bağlı olarak seçilen 3 dm³ hacimli ölçü kabına gevşek hacim ağırlığı hesabında sıkıştırmadan tartım yapılmıştır. Agreganın gevşek birim ağırlığı aşağıdaki denklem ile (Eşitlik 4.9.) hesaplanmıştır.

$$G_g = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (4.9.)$$

Burada;

G_g : Gevşek birim hacim ağırlık (gr/cm³)

W_2 : Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)

V : Ölçü kabının iç hacmi (cm³)

4.2.5.2. Sıkışık birim ağırlık deneyi

Agreganın sıkışık birim hacim ağırlığı için yüzeyin her tarafına 25 vuruş yapılarak sıkıştırılıp tartım yapılmıştır. Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki denklem ile (Eşitlik 4.10.) hesaplanmıştır.

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (4.10.)$$

Burada;

G_s : Sıkışık birim hacim ağırlık (gr/cm³)

W_2 : Sıkışık agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (gr)

V : Ölçü kabının iç hacmi (cm³)

4.2.6. Los Angeles deneyi

Beton tasarımında kullanılan agregalara TS EN 1097-2 (2010) standardına göre aşınma deneyi uygulanmıştır. Beton tasarımında kullanılacak agregaların aşınmalara karşı yüksek dirençli olması istenmektedir. Bu nedenle agregaların aşınma miktarının tespit edilmesi amacıyla aşınma ve darbelenme etkileri sonucunda agregalarda oluşan bozulma oranı ölçülmüştür. Bu deneyde Eşitlik 4.11.'e göre agregaya numunesinin 500 devir yaptıktan sonra 1.6 mm'lik elekten elenmesi ile elek üstü kalan bakiyenin ilk numuneye göre oranlanması ile hesaplanmaktadır.

$$LA = \frac{5000 - M}{5000} \quad (4.11.)$$

Burada; M =1.6 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme ağırlığıdır (gr).

TS EN 1097-2'e (2010) göre beton agregalarında aşınma miktarı %50'den küçük olmalıdır. Ancak daha fazla aşınmaya maruz kalabilecek yapılarda (yol,

havaalanı, dolusavak) kullanılacak agreganın aşınma miktarı %30'dan küçük olmalıdır (beton agregaları kaynağı). Deneylerde kullanılan Los Angeles cihazı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Los Angeles deney aleti.

4.2.7. Taze beton işlenebilirlik deneyleri

Taze betonun işlenebilirliğini belirlenmesi amacıyla yapılan bu deneyler TS EN 12350-2 ve 5 (2010) standartlarına göre yapılmıştır. Çökme deneyi, 10 mm ile 200 mm arasında çökme değerine sahip betonların kıvamındaki değişimlere uygun bir deney yöntemidir (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. Çökme deneyi sınıfları

Çökme Sınıfları	
Sınıf	Çökme Değeri (mm)
S1	10.0-40.0
S2	50.0-90.0
S3	100.0-150.0
S4	160.0-210.0
S5	>220.0

Bu değerler dışında daha düşük çökme değerlerinin ölçülmesi için çökme deneyi ile kıvam tayini yapılması uygun değildir. Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) gibi kuru kıvamlı çökme değeri olmayan betonların değerlendirilmesi için dinamik bir işlenebilirlik deneyi olan VeBe deneyi kullanılmalıdır (TS EN 12350-2, 2010).

Çalışmada kullanılan betonların kıvamları kuru olmadığı için beton tasarımında çökme ve yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Taze beton numunelerine uygulanan çökme deneyinin yapılışı Şekil 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Çökme deneyi

4.2.8. Beton birim ağırlık deneyi

Beton tasarımında birim ağırlığın tespiti amacıyla TS EN 12350-6 (2010) standardı kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış taze betonun birim ağırlığının tayini amacıyla yapılan bu deneyde taze beton, hacmi ve kütlesi bilinen, sızdırmaz bir kap içerisine sıkıştırılarak yerleştirilir ve daha sonra tartılarak kütlesi belirlenir. Sertleşmiş beton birim ağırlık deneyi TS EN 12390-7 (2010) standardına göre yapılmıştır.

4.2.9. Su emme (kılcallık) deneyi

Kılcal su emme deneylerinde hazırlanan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelerin bir yüzeyi suyla temas ettirilerek 24 saat kılcal su emmeleri sağlanmıştır. 105 °C'de bekletilip nemi alınmış beton numuneleri üzerinde yapılan deneyde zamana bağlı olarak ne kadar su emdikleri tespit edilmiştir. Kılcal su emme deneylerinde, kılcallık katsayısı (k):

$$kt = Q^2/A^2 \quad (4.12.)$$

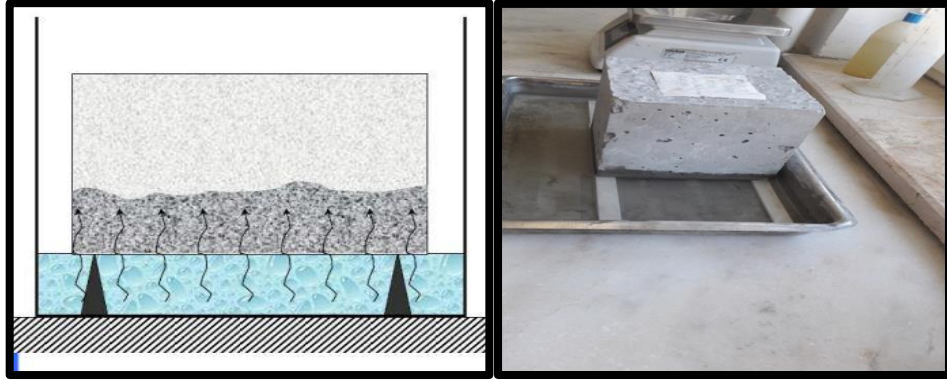
eşitliğinden belirlenmiştir.

Q = Emilen su miktarı, (cm³)

A = Su ile temas eden kesit alanı (cm^2),

t = Geçen zaman (sn),

k = Kılcallık katsayısı (cm^2/sn).



Şekil 4.9. Kılcal su emme deneyi

4.2.10. Ultrases geçiş hızı deneyi

Beton numunelerinde ultrases geçiş hızının belirlenmesi amacıyla yapılan bu deney Pundit Lab. Proceq marka ultrases cihazı ile TS EN 12504-4 (2012) standardına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi 3, 7, 28 ve 90 gün sonunda 150x150x150 mm boyutlarındaki beton küp numuneleri üzerinde yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı numune boyu ve geçiş süresi ile Eşitlik 4.13.'deki ifade ile hesaplanmıştır. Numuneler üzerinde kullanılan ultrases deney cihazı Şekil 4.10.'de gösterilmiştir. Ultrases deney sonuçları incelendiğinde beton kalitesinin tespiti amacıyla yapılan çalışmalardan elde edilen ultrases geçiş hızı ile beton kalite ilişkisini gösteren Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan, 2003).

Dalga hızı (km/sn)	Beton kalitesi
>4.5	Mükemmel
3.50-4.50	İyi
3.00-3.50	Şüpheli
2.00-3.00	Zayıf
<2.00	Çok zayıf

$$V = \frac{L}{t} \quad (4.13.)$$

V = Ultrases geçiş hızı (km/sn)

L = Numune boyu (km)

t = Süre (sn)



şekil 4.10. Ultrases deney aleti

4.2.11. Tek eksenli basınç deneyi

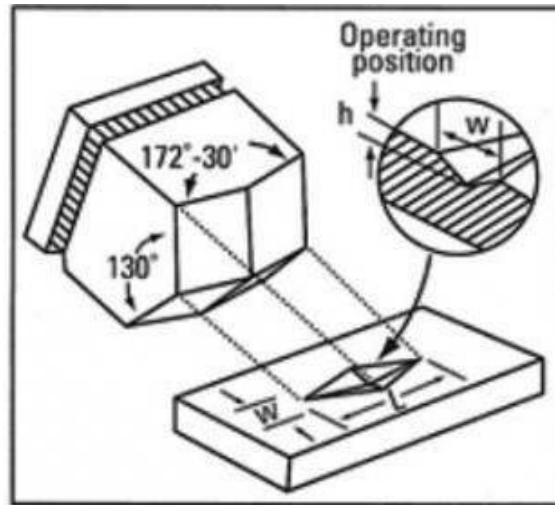
Beton karışımlarının basınç dayanımları TS EN 12390-3 (2012) deney yöntemine göre belirlenmiştir. Deney gününe kadar 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler 20°C sıcaklıktaki kr havuzunda şartlandırılmıştır. Deney 3, 7, 28 ve 90 gün sonunda şekil 4.11.'de gösterilen UTEST marka deformasyon kontrollü 3000 kN kapasiteli basınç presinde 5 kgf/cm²/sn yükleme hızıyla yapılmıştır.



Şekil 4.11. Tek eksenli basınç presi.

4.2.12. Knoop sertlik deneyi

Knoop sertlik deneyinde tepe açısı $172^{\circ}30'$ olan piramit şeklinde çukurluğu kullanılır. Bu deneyde sertlik değeri, uygulanan yükün girinti (iz) yüzeyine oranı olarak ifade edilebilir. Deneyin şematik gösterimi Şekil 4.12.'de verilmiştir. Deney öncesinde beton numuneleri plak şeklinde kesilerek deneye tabi olacak yüzeyleri parlatma makinasında parlatılmıştır. Sertlik değerleri her bir numunede 10 farklı noktaya uygulama yapılarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12. Knoop sertlik deneyinin şematik gösterimi

Knoop sertlik deneyinde sertlik değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Eşitlik 4.14.).

$$KSD = \frac{P}{C_p L^2} \quad (4.14)$$

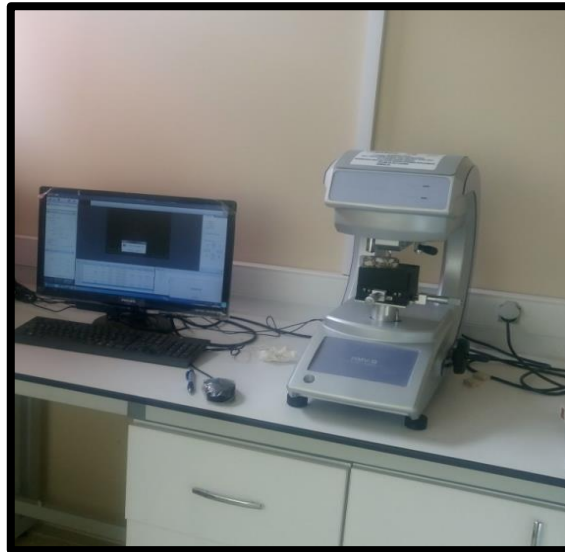
Burada;

L = Oluşan izin köşegen uzunluğu

P = Uygulanan yük

C_p = Düzeltme faktörü (0,070279)

Çalışmada SHIMADZU HMV-G marka test cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Knoop sertlik deney cihazı

4.2.12. Aşınma deneyleri

Bu tez çalışmasında beton numuneleri üzerinde 3 farklı aşınma deneyi yapılmıştır. Çalışmada dolusavak gibi bir su yapısının aşınma direnci incelendiğinden beton numunelerine uygulanan Böhme standart aşınma deneyinin yanı sıra su etkilerinin yansıtıldığı Kum-su jeti aşınma deneyi ve su altı aşınma deneyi uygulanmıştır. Ülkemizde bulunmayan kum-su jeti ve su altı aşınma deneyi cihazları Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi desteğinde gerçekleştirilen “Barajlarda Aşınma Sorunlarının Araştırılması ve İyileştirilmesi (Porsuk Barajı Örneği)” başlıklı araştırma projesi ile özel olarak tasarlanıp üretilmişlerdir.

4.2.12.1. Böhme aşınma deneyi

Beton tasarımında aşınma deneyi TS 2824 EN 1338/DIN 52108 (2005) standardına uygun olarak Şekil 4.14.'de görülen Böhme aşınma cihazında yapılmıştır. Deney için 70x70x70 mm boyutlarındaki küp numuneler hazırlanmış, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda deneyler yapılmıştır. Deney sonunda tekrar numunenin boyutları ve ağırlığı ölçülüp, aşınma kaynaklı değişimler ağırlıkça Eşitlik 4.15.'deki ifade yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Böhme aşınma deney aleti

$$\Delta = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (4.15)$$

Bu denklemde;

Δ = Hacimsel/kütlesel değişim (%)

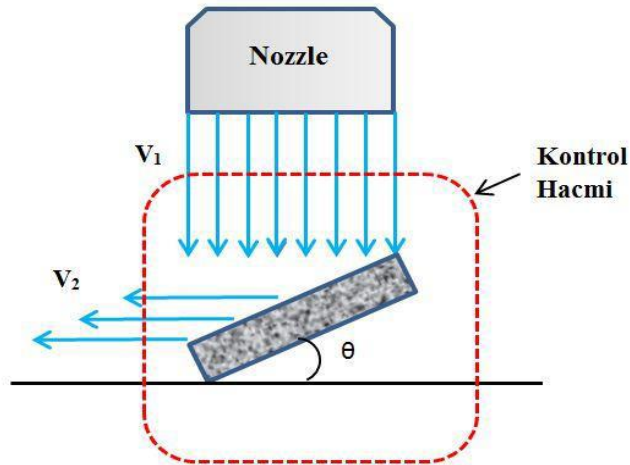
W_1 = İlk hacim/kütle (cm^3/gr),

W_2 = Son hacim/kütle (cm^3/gr)

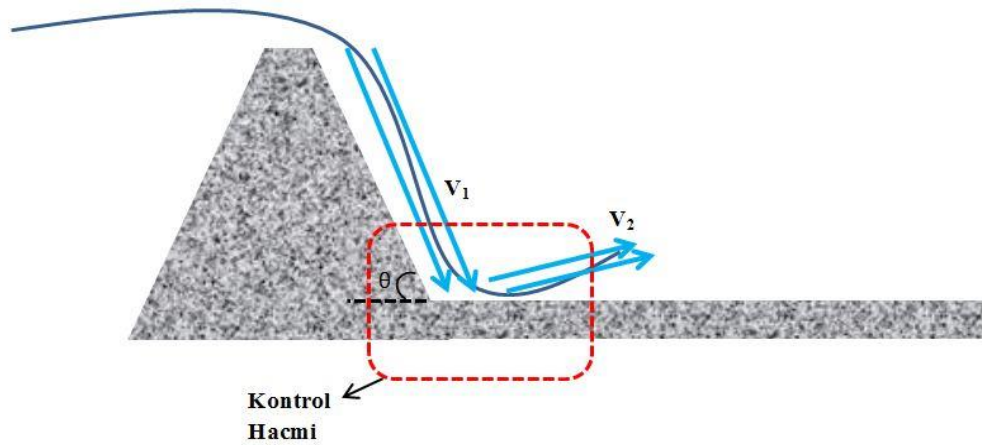
4.2.12.2. Kum-su jeti aşınma deneyi

Dolusavaklardaki aşınma değerlerinin küçük ölçekli halini yansıtabilecek bir aşınma cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz, barajlarda taşkın anlarında dolusavaklardan

savaklanan suyun enerji kırıcı eşığe çarptığı andaki durumu benzeştirmektedir. Bu enerji kırıcı eşikte jet halinde gelen su kuvvetlerinin beton üzerindeki aşınma etkileri incelenmiştir. Dolusavaklardaki dikdörtgen şeklindeki jet savaklanmayı en iyi şekilde yansıtabilmek için deney cihazındaki nozul ağız 10 mm x 200 mm boyutlarında dikdörtgen tasarlanmıştır. Ayrıca savaklanan su içerisindeki aşındırıcı sediment tanelerini temsil eden kuvars kumu cihaz haznesine eklenerek kullanılmıştır. Deney yönteminin parametrelerini belirlemek için bir dolusavaktan savaklanan suyun (akışkanın) hareketinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, gerçekteki su hareketi Reynolds Transport Teoremi kullanılarak kontrol hacmi formülasyonuna geçiş sağlanmıştır. Bu teoreme göre, sistemin herhangi bir özelliğinin zamana göre değişimi; o özelliğin kontrol hacmi içerisindeki değişim hızı olarak ifade edilebilir. Bu deney düzeninde, nozuldan çıkan su, açılı bir şekilde sabit duran beton numunesine çarpmaktadır. Deney cihazındaki kontrol hacmi olarak Şekil 4.15.'de gösterilen bölgedir. Bir baraj dolusavağından jetlenen suyun kontrol hacmi ise Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Beton numunesine çarpan su jetinin şematik gösterimi



Şekil 4.16. Dolusavaktan savaklanan su jetinin şematik gösterimi

Tez çalışmasında örneklem olarak seçilen Porsuk barajının örnek hesaplaması aşağıda verilmiştir.

Porsuk barajı örneği:

Bilinenler

$$Q=111.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B \text{ (savak genişliği)}=35 \text{ m}$$

$$h \text{ (savak yükü)}=0.803 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{su}}=1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{karışım}}=1100 \text{ kg/m}^3$$

$$\theta= 49.64^\circ \text{ (dulusavak eğimi}=1/0.85)$$

(Akım sıkıştırılamaz ve uniform kabul edilmiştir. Tüm kayıplar ihmal edilmiştir.)

Çözüm

Savak yükü hesaplanırken;

$$Q=mA(2gH_E)^{1/2} \quad (4.16)$$

$$Q=CAh^{1/2} \quad (4.17)$$

$$C=(2g)^{1/2} \quad (4.18)$$

$$111.76=(2 \times 9.81)^{1/2} \times 35 \times h^{3/2}$$

$$h=0.803 \text{ m}$$

Askıda katı madde tahmini;

2011 yılında TÜBİTAK ÇAYDAG 108Y091 nolu “Aşağı Porsuk Çayı Havzasında İklim Değişikliğinin Hidrolojik Çevrime ve Su Kalitesine Etkilerinin HSPF Modeli Kullanarak İncelenmesi ve En İyi Su Yönetimi Stratejilerinin Belirlenmesi” başlıklı proje kapsamında (Albek ve Göncü, 2011) tarafından yapılmış olan askıda katı madde (AKM) taşınımının belirlenmesi çalışmalarından alınan sonuçların incelenmesi sonucu;

- Yapılan ölçümler sonucu AKM derişimlerinde Porsuk barajı gözlem istasyonunda ortalama 6 mg/l gibi oldukça düşük AKM değerleri gözlenmiştir.
- Porsuk barajı öncesi yukarı havzada bulunan DSİ-Çalça su kalitesi gözlem istasyonunda 2003-2005 yılları arasında yapılan ölçümlerde AKM derişimi 90 mg/l civarında iken aynı tarihler arasında Porsuk barajı çıkışında bulunan su kalitesi gözlem istasyonunda AKM derişimi 5 mg/l civarındadır.
- Yapılan çalışmalarda Porsuk barajının AKM derişimini azalttığı sonucuna varılmıştır.

Bütün literatür incelendiğinde Porsuk havzası genelinde en yüksek AKM derişiminin 90 mg/l olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada en kötü senaryo göz önüne alındığında bir taşkın anında baraj gölü tabanındaki çökelmiş sedimentin türbülans etkisi altında hareketleneceği varsayılarak baraj dolusavağından savaklanan su için AKM derişimi 100 mg/l alınmıştır.

$$Q= 111.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{AKM derişimi}=100 \text{ mg/l}$$

$$1 \text{ m}^3=1000 \text{ lt}$$

$$1 \text{ gr}=1000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ kg}=1000 \text{ gr}$$

Saniyede 111.76 m^3 hacminde suyun dolusavaktan jet halinde çıktığı düşünülürse;

$$111.76 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ lt/m}^3 = 111760 \text{ lt}$$

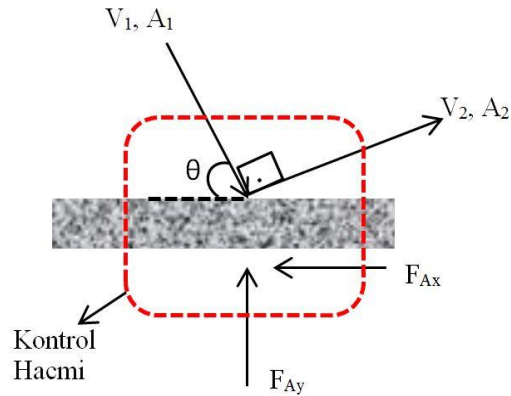
$$111760 \text{ lt} \times 100 \text{ mg/l} = 11176000 \text{ mg} = 11176 \text{ gr} = 11.176 \text{ kg AKM miktarı}$$

$$\text{Karışımındaki katı madde yüzdesi} = [11.176 / (111760 + 11.176)] \times 100 = 9.09$$

Karışımında %9.09 oranında katı madde vardır.

$$\text{Karışımın yoğunluğu} = \rho_{\text{karışım}} = (111760 + 11.176) / 111.76 = 1100 \text{ kg/m}^3$$

Savaklanan su jetinin düşüm yatağındaki betona uyguladığı kuvvet (Şekil 4.17.);



Şekil 4.17. Su jetinin betona uyguladığı kuvvetler

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} u \rho dV + \int_{cs} u \rho V \cdot \hat{n} dA = \Sigma F_x \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} v \rho dV + \int_{cs} v \rho V \cdot \hat{n} dA = \Sigma F_y \quad (4.20)$$

$$u_2 \rho_{\text{karışım}} A_2 V_2 - u_1 \rho_{\text{karışım}} A_1 V_1 = \Sigma F_x \quad (4.21)$$

$$v_2 \rho_{\text{karışım}} A_2 V_2 - v_1 \rho_{\text{karışım}} A_1 V_1 = \Sigma F_y \quad (4.22)$$

Kontrol hacmine giren ve çıkan su atmosfere açık bu nedenle kontrol hacmine uygulanan net atmosferik basınç sıfır (0) kabul edilmiştir ($P_1=P_2=0$). Ayrıca jetteki karışımın kendi ağırlığı ve beton numunesinin ağırlığı ihmal edilmiştir. Yerçekimi ve sürtünme gibi parametreler ihmal edildiğinde Bernoulli denklemine göre $V_1=V_2$ olur.

$$V_1 = Q/A_1 = 111,76/(0,803 \times 35) = 3.98 \text{ m/s}$$

$$V_1 = V_2 = 3.98 \text{ m/s}$$

$$F_{Ax} = V_2 \cos(90-\theta) \rho_{\text{krş}} A_2 V_2 - V_1 \cos \theta \rho_{\text{krş}} A_1 V_1$$

$$F_{Ay} = V_2 \cos \theta \rho_{\text{krş}} A_2 V_2 - V_1 \sin \theta \rho_{\text{krş}} A_1 V_1$$

Sıkıştırılmaz akımlarda kütle korunumundan debiler eşit olacağından ($Q_1=Q_2=A_1 V_1=A_2 V_2$);

$$F_{Ax}=373157.3755-317132.8798=56024.4957 \text{ N} = 56.025 \text{ kN}$$

$$F_{Ay}=373157.3755-317132.8798=56024.4957 \text{ N} =56.025 \text{ kN}$$

$$\sum F_{Bileşke} = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} \quad (4.23)$$

$$F_{Bileşke}= 79.23 \text{ kN}$$

$$\text{Basınç}=\text{Kuvvet}/\text{Alan}$$

$$P=F_{Bileşke}/A$$

$$P=79.23/(0.803 \times 35)=2.82 \text{ kN/m}^2$$

Deney cihazı örneği:

Bilinenler

$$V_{\text{Nozzle}}=3.98 \text{ m/s}$$

$$B \text{ (savak genişliği)}=20 \text{ cm}$$

$$h \text{ (savak yükü)}=0.5 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{su}}=1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{karışım}}=1100 \text{ kg/m}^3$$

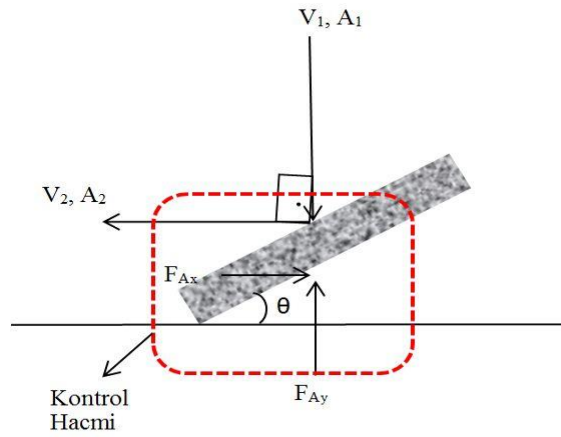
$$\theta= 49.64^\circ \text{ (doluşavak eğimi}=1/0.85)$$

(Akım sıkıştırılmaz ve uniform kabul edilmiştir. Tüm kayıplar ihmal edilmiştir.)

Çözüm

Porsuk barajının dolusavağından savaklanan su hızının aynısı deney cihazında verilmesi planlanmaktadır. Dolayısıyla 3.98 m/s bu deney için jetin hızı alınacaktır.

Deney cihazında su jetinin beton numunesine etkisi (Şekil 4.18.);



Şekil 4.18. Deney düzeneğinde betona uygulanan kuvvetler

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} u \rho dV + \int_{cs} u \rho V \cdot \hat{n} dA = \Sigma F_x \quad (4.24)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} v \rho dV + \int_{cs} v \rho V \cdot \hat{n} dA = \Sigma F_y \quad (4.25)$$

$$u_2 \rho_{\text{karışım}} A_2 V_2 - u_1 \rho_{\text{karışım}} A_1 V_1 = \Sigma F_x \quad (4.26)$$

$$v_2 \rho_{\text{karışım}} A_2 V_2 - v_1 \rho_{\text{karışım}} A_1 V_1 = \Sigma F_y \quad (4.27)$$

Kontrol hacmine giren ve çıkan su atmosfere açık bu nedenle kontrol hacmine uygulanan net atmosferik basınç sıfır (0) kabul edilmiştir ($P_1=P_2=0$). Ayrıca jetteki karışımın kendi ağırlığı ve beton numunesinin ağırlığı ihmal edilmiştir. Yerçekimi ve sürtünme gibi parametreler ihmal edildiğinde Bernoulli denklemine göre $V_1=V_2$ olur.

$$F_{Ax} = V_2 \cos(90-\theta) \rho_{\text{krş}} A_2 V_2 - V_1 \cos\theta \rho_{\text{krş}} A_1 V_1$$

$$F_{Ay} = V_2 \cos\theta \rho_{\text{krş}} A_2 V_2 - V_1 \sin\theta \rho_{\text{krş}} A_1 V_1$$

Sıkıştırılmaz akımlarda kütle korunumundan debiler eşit olacağından ($Q_1=Q_2=A_1V_1=A_2V_2$);

$$F_{Ax}=4.378-0=4.378 \text{ N}$$

$$F_{Ay}=4.378-0=4.378 \text{ N}$$

$$\sum F_{Bileşke} = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} \quad (4.28)$$

$$F_{Bileşke} = 6.191 \text{ N} = 0.006191 \text{ kN}$$

Basıncı=Kuvvet/Alan

$$P=F_{Bileşke}/A$$

$$P=0.006191/(0.005 \times 0.2)=6.191 \text{ kN/m}^2$$

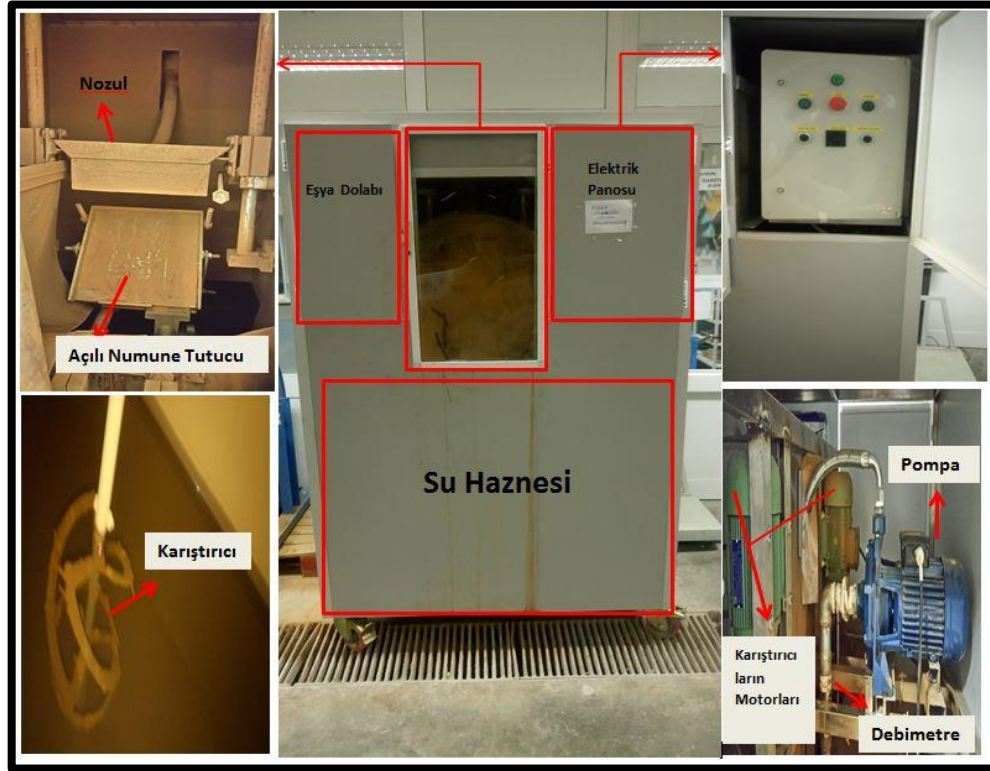
$$P_{Baraj} = 2.82 \text{ kN/m}^2 < P_{Cihaz} = 6.191 \text{ kN/m}^2$$

Dolayısıyla deney cihazının jet hızını düşürerek gerçekteki uygulanan basınca eşit bir deney oluşturulabilir.

Jet hızı 1.81 m/s alınırsa $P_{Baraj} = 2.82 \text{ kN/m}^2 = P_{Cihaz}$ olur.

Böylelikle gerçekte beton yüzeye uygulanan hidrodinamik su basıncı, laboratuvar ortamında deney cihazında aynı değerle beton numunesine etkilenebilir.

Yapılan tüm bu hesaplara göre jet ağzından çıkan suyun katı madde yüzdesi %9.09 olarak belirlenmiştir. Ayrıca jet hızı 1.81 m/s olarak hesaplanmıştır. Cihazdaki beton numunesinin açısı porsuk barajı dolusavak eğimi (1/0.85) dikkate alınarak 49.64° olarak belirlenmiştir. Porsuk barajında geçmişte yaşanan taşkınların hidrografları incelenerek taşkının 72 saat içerisinde sönümlenmeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle deneyin uygulanma süresi 72 saat olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda 72 saat boyunca su jeti maruz kalan beton numunesinin aşınma direnci ağırlık kaybına bakılarak incelenmiştir. Cihazın resmi Şekil 4.19.'da verilmiştir.



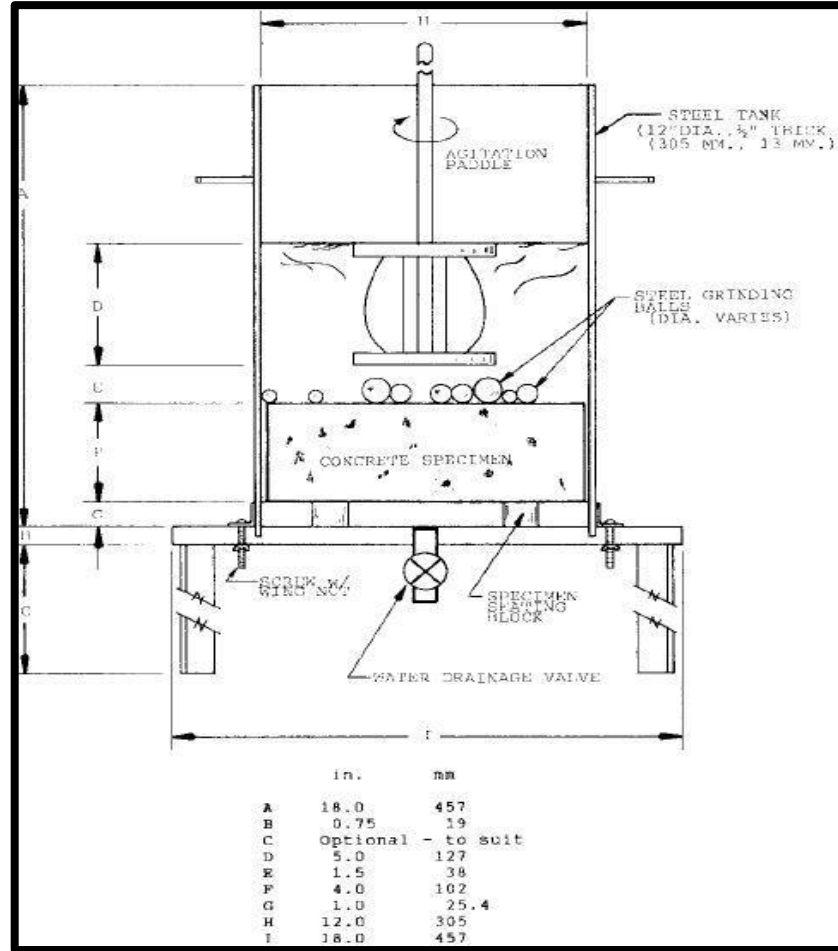
Şekil 4.19. Kum-su jeti aşınma deney cihazı

Şekil 4.19.'da görülen deney cihazı bu tez çalışması için özel tasarlanmıştır. Cihaz bir adet 1 m³'lük su ve kum karışımının yapılacağı hazneye sahiptir. Bu haznede su ve kumu deney boyunca karıştıracak iki adet karıştırıcı başlık bulunmaktadır. Bu karıştırıcılar 0.55 kW'lık trifaze elektrik motorları tarafından döndürülmektedir. Haznedeki suyu nozuldan jet halinde basabilmek için SUMAK çift kademeli 2.2 hp 380 V gücünde santrifüj pompa kullanılmıştır. Pompa ve elektrik motorları panodan potansiyometreyle hızı istenilen ayara getirilebilir. Ayrıca sisteme bir adet türbin tipi paslanmaz debimetre takılmıştır. Pompanın hızı ayarlanarak istenilen hızda jet elde edilmiştir. Cihazda, beton numunesi yatayda ileri geri kayabilen, açı verilebilen paslanmaz dikdörtgen numune tutucu levhaya yerleştirilmiştir. Cihazın nozul başlığı değiştirilebilir. Ayrıca nozulun numuneden olan yüksekliği ayarlanabilir. Cihazın tüm parçaları paslanmaz malzemeden üretilmiştir.

4.2.12.3. Su altında aşınma deneyi

Çalışmada incelenen dolusavak yapısının yüzeyinde sediment taneleri etkisinde meydana gelen aşınmaları inceleyebilmek için ASTM C 1138 standardında belirtilen

deney yapılmıştır. Bu deneyde sediment etkisini veren çelik bilyeler kullanılmıştır. Deney düzeneği ve deney cihazı Şekil 4.20. ve 4.21.'de verilmiştir. Deney cihazı ASTM C 1138 standardına uygun olarak özel ürettirilmiştir.



Şekil 4.20. Su altı aşınma cihazı deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 4.21. Sualtı aşınma deney cihazı

Deneyin aşamaları şu şekildedir;

- Deney düzeneğine uygun silindirik şekilde çapı 300 mm kalınlığı 100 mm olan beton numune üretilerek gerekli 28 günlük kür koşulları sağlandıktan sonra yüzey kuru suya doygun numunenin ilk ağırlığı tartılır.
- İlk ağırlığı alınan numune test silindirinin içine yerleştirilir.
- Deneyin silindir kabının içine standartta belirlenen yükseklikte su konulur.
- Aşınma etkisini numune üstünde göstermek için değişik çaplardaki çelik bilyeler numunenin üstüne konur.
- Deney başlatılır. Deneyde bilyelere aşındırıcı dinamik etkiyi yaratması için 1200 rpm de dönen mikser yardımcı olur.
- Deney 72 saat sonunda durdurulur. Deney cihazı içerisindeki numune alınarak ağırlıkça aşınma kaybının belirlenebilmesi için son ağırlığı ölçülür (Eşitlik 4.29.).

$$W = [(W_{\text{son}} - W_{\text{ilk}}) / W_{\text{ilk}}] \times 100 \quad (4.29.)$$

W = Yüzdece ağırlık kaybı

W_{ilk} = Numunenin ilk ağırlığı (gr)

W_{su} = Numunenin aşınmadan sonraki son ağırlığı (gr)

4.2.14. Mikroyapı analizleri

Mikroyapı analizleri, çalışmada kullanılan referans, UK ve YFC katkı betonların aşınma deneyleri sonrasında içyapısında meydana gelen değişimleri incelemek için yapılmıştır. Mikro yapı analizleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır.

4.2.14.1. Optik mikroskop ile analiz

Malzeme içyapısının incelenmesinde kullanılan optik mikroskop 3 ana sistemden meydana gelmektedir. Bu sistemler objektif, oküler ve aydınlatma sistemleridir. Bu sistemlerden objektif ve okülerin büyütme değerlerinin çarpımı ile optik mikroskobun büyütme miktarı bulunur. Biyolojide kullanılan optik mikroskoptan farklı olarak metal mikroskop ile analiz edilen numunedeki bulunan fazların özellikleri, dağılımları, tane sınırları, kayma bantları, ikizlenme, porozite, kalıntı ve çatlaklar gibi çeşitli yapıları incelenir. Stereo mikroskop ile numunenin tane yapısından ziyade numunenin bir bölgesi veya tamamı daha düşük büyütme oranları ile incelenerek numunede kaynak imalat yöntemi ile meydana gelmiş (ısı tesiri bölgeleri, yönlendirmeler, katmerler) olan yapısal değişiklikler, çeşitli makro hatalar (çatlak, gözenek, boşluk, cüruf kalıntısı vs.) incelenir. Çalışmada kullanılan optik mikroskop Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Optik mikroskop

4.2.14.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Elektron mikroskoplarının çözme güçleri, odaklama derinlikleri ve büyütme oranları optik mikroskoplara göre çok daha fazladır. Bu nedenle deney numunelerinin iç yapılarını ve aşınma etkilerini daha iyi inceleyebilmek için SEM analizleri yapılmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu, Tungsten, Lantan hekza borit katottan veya alan emisyonlu (FEG) gun'dan ortaya çıkan elektronların kullanımı incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır (TAEK, 2018).

Çalışmada yapılan analizlerde Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Zeiss Supra 50 Vp marka SEM cihazı kullanılmıştır.



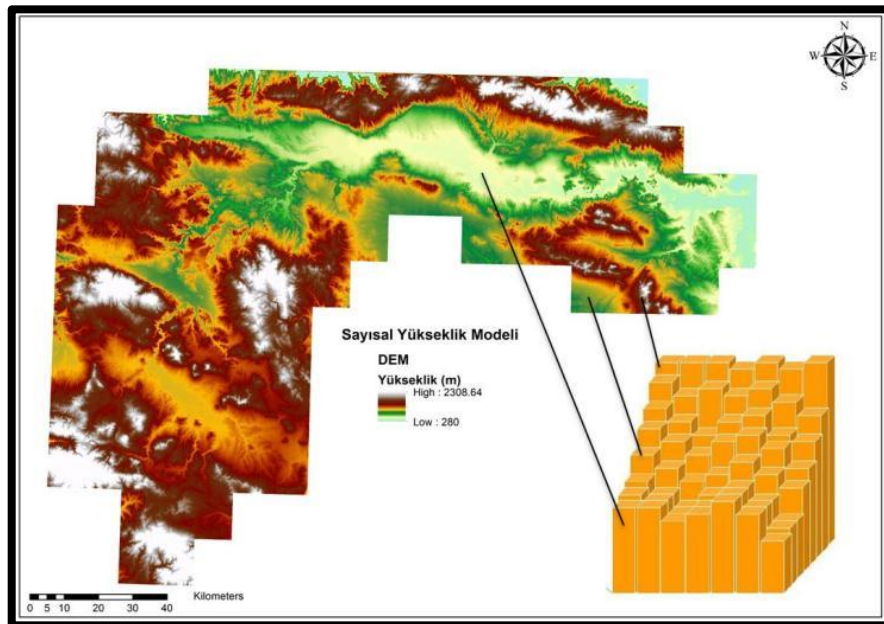
Şekil 4.23. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

5. HAVZANIN HİDROLOJİK VE METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

5.1. Porsuk Havzasının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Havza Sınırlarının Bulunması

Porsuk havzasının hidrolojik olarak incelenmesi için Harita Genel Komutanlığı'ndan alınan sayısal topografik haritalar kullanılarak bölgenin sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulur. SYM dijital ortama aktarılmış eş yükselti eğrileri veya uydu görüntülerinden elde edilir. SYM ile bir arazinin devamlı değişen topografik yüzeyini sayısal yükseklik verileriyle birlikte gösteren raster formatında bir veridir. SYM ile birlikte CBS araçlarıyla birçok 3 boyutlu analiz yapılabilmektedir. SYM ile değişken kotlara sahip bir arazi yüzeyi en iyi şekilde tanımlanmış olur. Bu model ile birlikte, raster veri formatında bulunan her bir piksel arazinin topografik özelliklerini veren yükseklik (kot) değerleri atanarak sürekli yüzeylere dönüştürülür.

Şekil 5.1.'de arazi yükseklik değerlerinin 10x10 m boyutlarındaki pikseller tarafından dağılımının SYM üzerinde görünümü verilmiştir. Şekilde verilen arazinin SYM incelendiğine her bir pikselin bir yükseklik değerine sahip olduğu görülmektedir. Çalışmadaki bölgenin kotları modelde en yüksek 2308.64 m, en düşük 280 m olarak bulunmuştur.

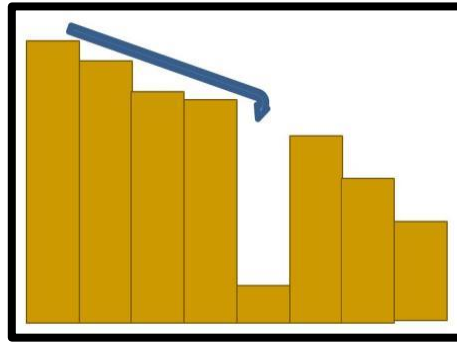


Şekil 5.1. SYM'nin hücresel boyutu

Çalışma alanı için alınan sayısal haritalardan üretilen SYM kullanılarak ArcGIS yazılımında topografik olarak incelenerek havzanın hidrolojik sınırları belirlenmiştir.

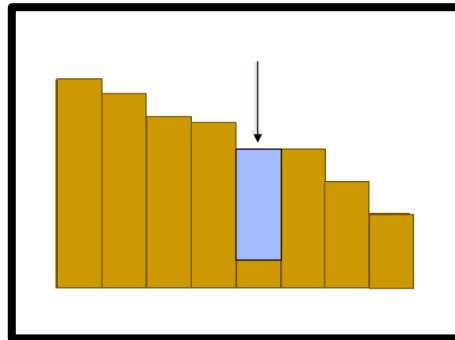
5.1.1. Boşlukları doldurma

SYM oluşturulduğunda modelde bazı kusurlar meydana gelebilir. Bu kusurlar bir raster hücrenin çevresindeki diğer raster hücrelere göre daha düşük kote sahip olduğunda akışa engel olacak bir durumun ortaya çıkması şeklinde görülür (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. SYM'de meydana gelebilen çukur

Yüzey akışını engelleyecek hata giderilmez ise çalışılan bölgenin analizleri hatalı yürütülmüş olunur. Bu nedenle boşlukların doldurulması işlemi analizlere başlamadan önce yapılması gerekmektedir. Boşlukları doldurma fonksiyonu bu problemi çözmek için yükseklik verilerini yeniden düzenler (Şekil 5.3.).

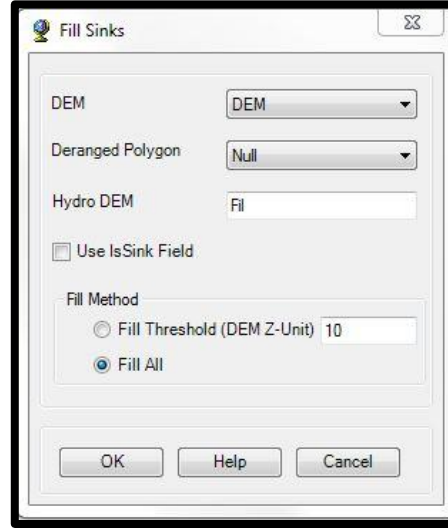


Şekil 5.3. Çukurların kapatılması

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir.

- Terrain Preprocessing→DataManipulation→Fill Sinks seçilir.

Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.4.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra boşlukları doldurulmuş hataları giderilmiş yeni SYM harita katmanına eklenir.



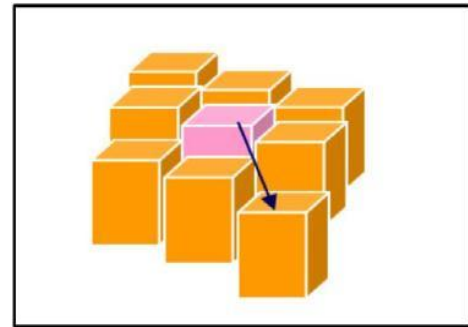
Şekil 5.4. Boşlukların doldurulması işlemi

5.1.2. Akış yönünün belirlenmesi

Bu fonksiyon ile hataları giderilmiş SYM'deki raster piksellerindeki yükseklik değerleri analiz edilerek akım yönü hesaplanmaktadır. Pikselde yer alan yükseklik değeri, bu piksele komşu 8 pikseldeki yükseklik değeri en düşük olana doğru su akım yönünü göstermektedir (Şekil 5.5. a,b).

77	66	59
63	54	47
68	65	32


a)



b)

Şekil 5.5. Piksel değerlerine göre suyun akış yönünün belirlenmesi










Bir pikselden akımın güney yönünde olduğunu belirtmek için 4, güneybatı yönünde olduğunu belirtmek için 8 sayısal tam sayı değeri kullanılır ArcGIS 10. yazılımında akım doğrultusunu bilgisayarda ifade edebilmek için “8 yönlü akım modeli” kullanılmaktadır. Bu modelde akım yönünü göstermek için yazılımda yönlere bağlı olarak rakamsal değerler kullanılmaktadır (Şekil 5.6.).

32	64	128
16		1
8	4	2

KB	Kuzey	KD
Batı		Doğu
GB	Güney	GD

Şekil 5.6. 8 yönlü akım modeli

Aşağıdaki Şekil 5.7. b’de piksellere atanan yükseklik değerleri, Şekil 5.7. a’da bu değerlere göre oluşan akım yönleri ve Şekil 5.7. c’de ise bu yönlerin ArcHydro modülünde kodlaması görülmektedir.

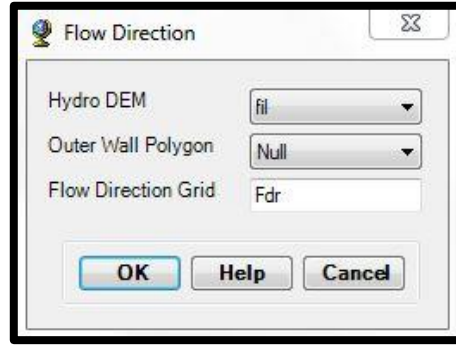
77	66	59
63	54	47
68	65	32

2	2	4
1	2	4
128	1	2

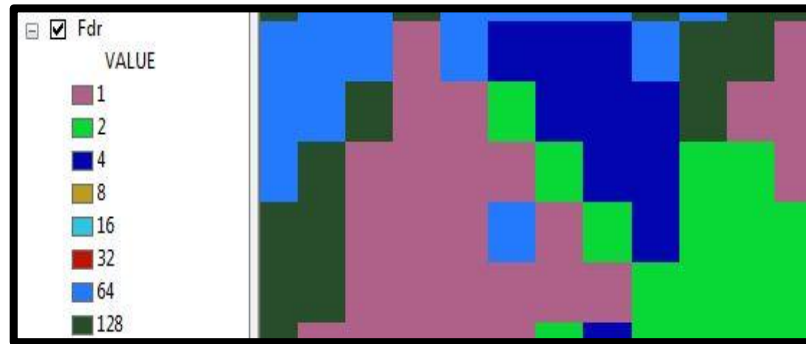
Şekil 5.7. Akış yönünün yazılımdaki sayısal ifadesi

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.8.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Fdr (Akım Yönü) verisi harita katmanına eklenir (Şekil 5.9.).

Terrain Preprocessing→Flow Direction seçilir.



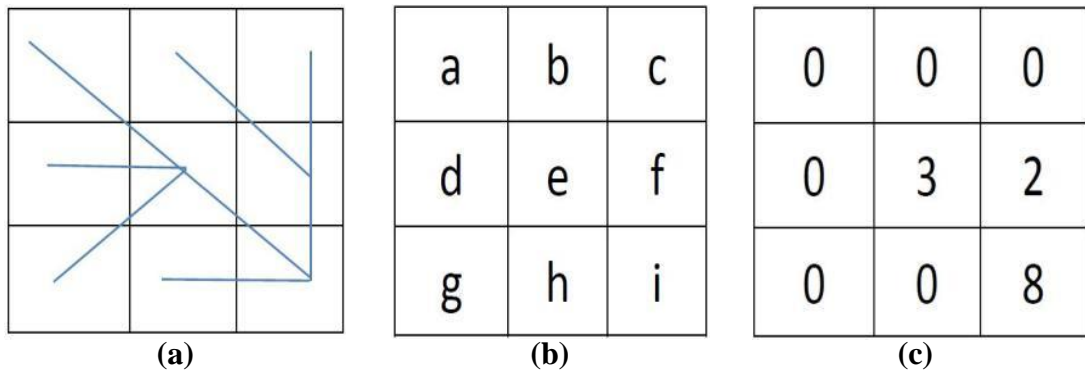
Şekil 5.8. Akış yönü belirleme fonksiyonu girdi ve çıktıları



Şekil 5.9. Akış yönü veri katmanı

5.1.3. Kümülatif akışın hesaplanması

Bir su toplama alanında, akış yönlerine göre akışın oluşacağı piksellerin sayısını hesaplar. Böylece su toplama alanı ve nehir yan kolları bulunmaya başlanır.

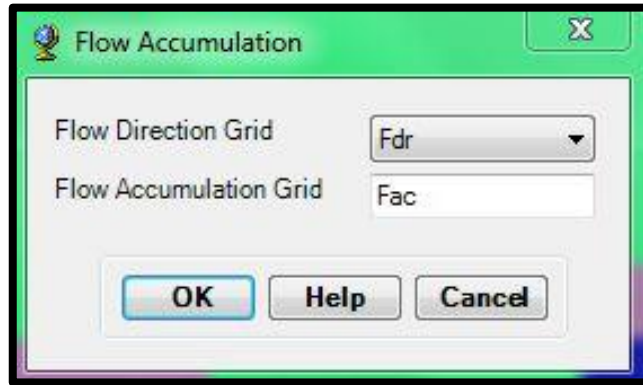


Şekil 5.10. Kümülatif akış yönü hesabında pikseller arası akım ilişkileri

Şekil 5.10. a'da akım yönüne veri katmanına bağlı olarak pikseller arasındaki akım ilişkileri verilmiştir. a, b, c, d, g ve h hücrelerine (Şekil 5.10. b) doğru akım oluşmayacağından bu hücrelere program tarafından 0 değeri atanır. e hücresine 3 hücreden, f hücresine ise 2 hücreden akış olmaktadır. i hücresine ise en düşük yükseklik değerine sahip olduğundan 8 hücreden akış olmaktadır. Bu şekilde her bir hücrenin su toplama alanında kalan piksel sayısı belirlenir (Şekil 5.10. c).

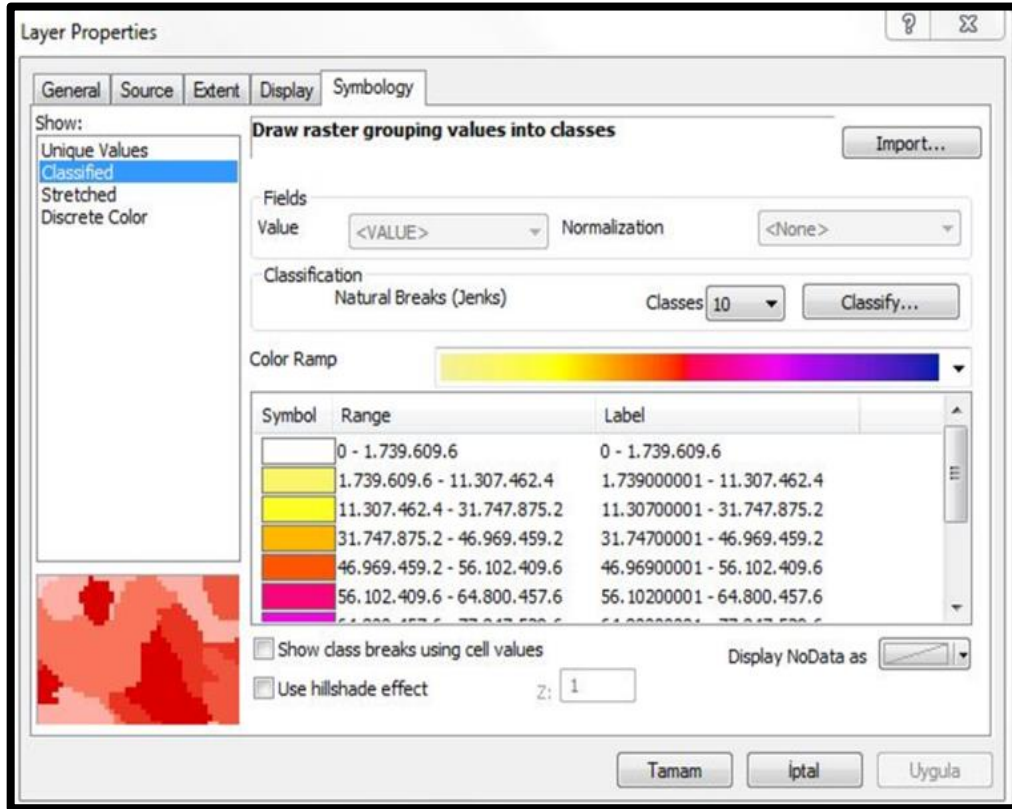
Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.11.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Fac (Kümülatif Akım) verisi harita katmanına eklenir.

- Terrain Preprocessing→Flow Accumulation seçilir.



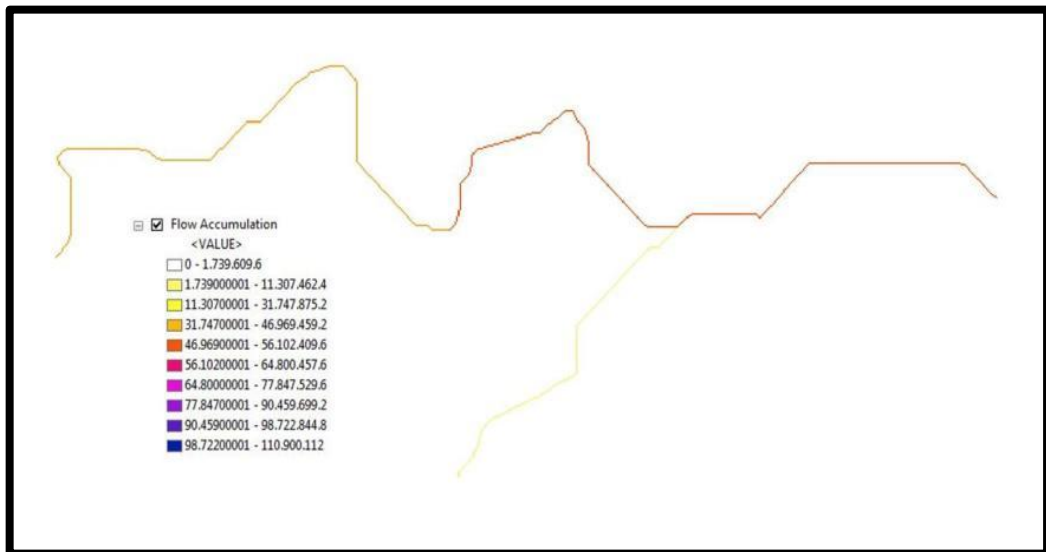
Şekil 5.11. Kümülatif akım hesaplama

Memba-mansap ilişkisini ortaya koyabilmek için sembolojiden sınıflandırma yapılır (Şekil 5.12.).



Şekil 5.12. Kümülatif akış katmanı semboloji ayarları

Haritada, membadan mansaba doğru renk tonunun açık renkten koyu renge doğru su toplama alanı büyüklüğüne bağlı olarak değiştiği gözlenir (Şekil 5.13.).



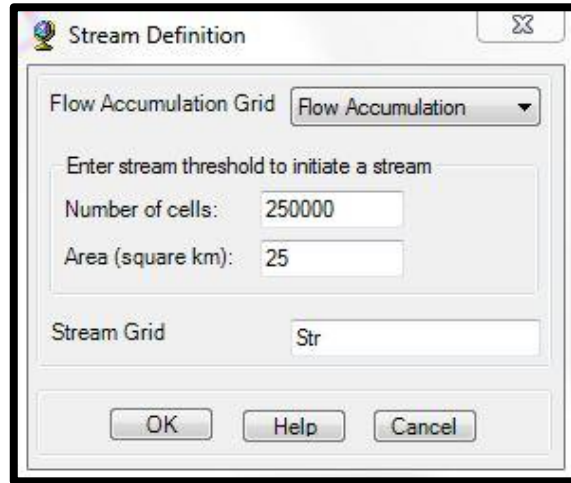
Şekil 5.13. Kümülatif akış katmanı

5.1.4. Nehir tanımlama

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 3.13.).

- Terrain Preprocessing→Stream Definition seçilir.

Flow Accumulation Grid (Kümülatif Akım) dosyası çıkan pencerede girdi olarak seçilir. Havza için eşik olarak varsayılan değer yazılım tarafından hesaplanarak ekranda gözükür. Bu değer yaklaşık olarak maksimum kümülatif akımın % 1'ini vermektedir. Akarsu alanı oluşturmak için eşik su toplama alanı, toplam hücre sayısı ile bir hücre alanının çarpımıdır. Daha küçük eşik değer daha yoğun nehir ağına ve daha fazla sayıdaki su toplama alanına karşılık gelmektedir. Bu çalışmada eşik değer 25 km² olarak alınmıştır (Şekil 5.13.).



Şekil 5.14. Nehir tanımlama girdi işlemi

Tüm girdiler işlendikten sonra OK düğmesine basılarak işlem başarı ile tamamlanır. İşlem sonucunda bölgedeki nehirler tanımlanır.

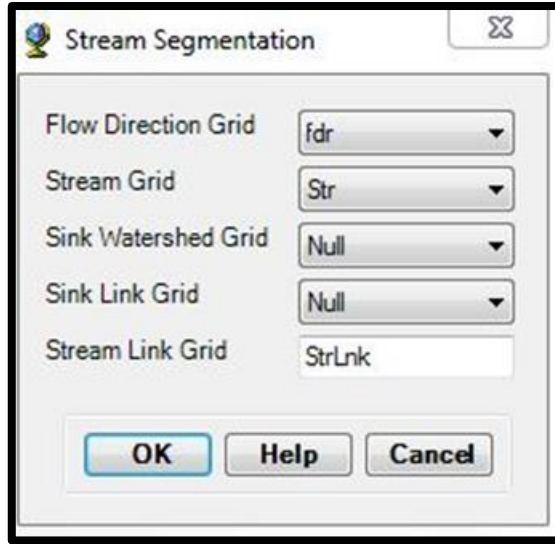
5.1.5. Nehir bölümeleme

Bu fonksiyonla akım yönü ve nehir tanımlama veri katmanlarını kullanarak bir grid sistemi oluşturulur.

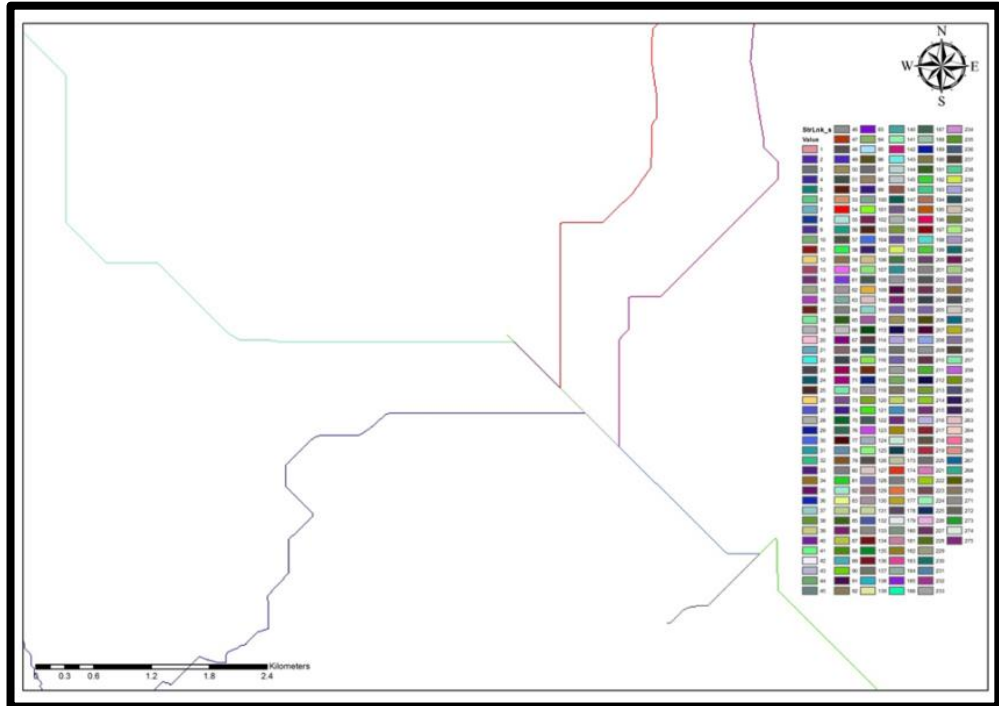
Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir.

- Terrain Preprocessing → Stream Segmentation seçilir.

Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.15.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır (Şekil 5.16.).



Şekil 5.15. Nehir bölümlene işlemi girdi menüsü

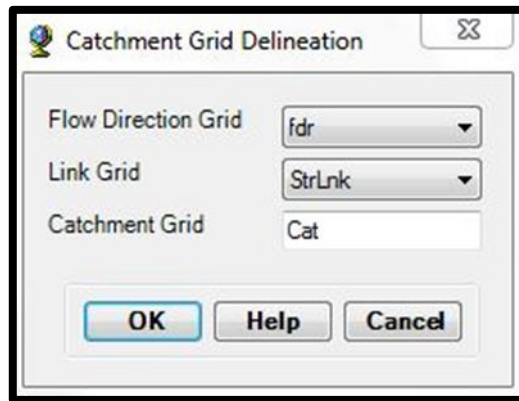


Şekil 5.16. Nehir bölümlene işlem katmanı

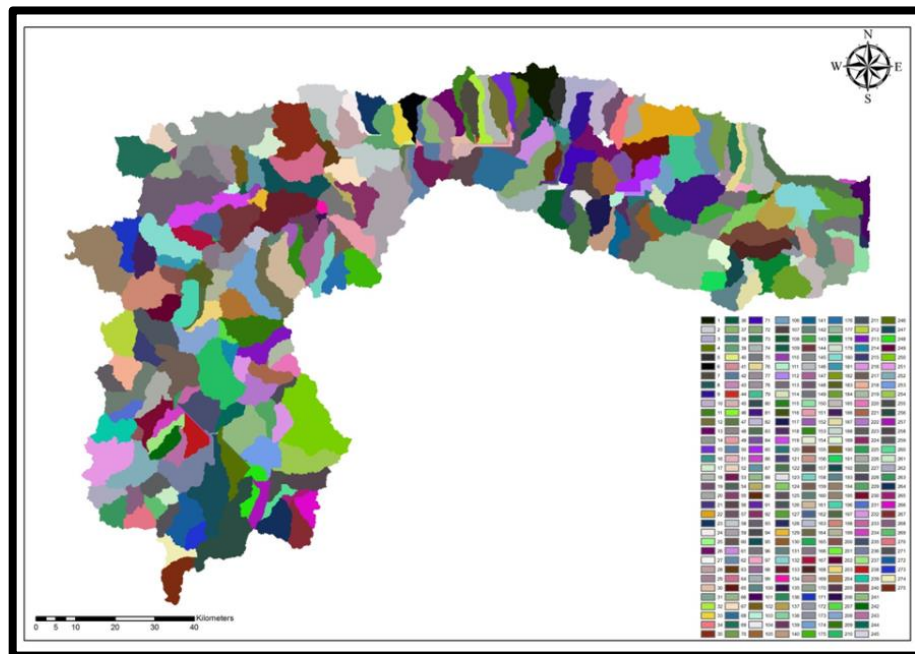
5.1.6. Havza oluşturma

Bu fonksiyonla birlikte her pikselin ait olduğu havza alanını belirten grid dosyası oluşturulur. Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (şekil 5.17.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK dğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Cat (Su Toplama Alanı) verisi harita katmanına eklenir (5.18.).

- Terrain Preprocessing→Catchment Grid Delineation seçilir.



şekil 5.17. Su toplama alanı oluşturma girdi menüsü



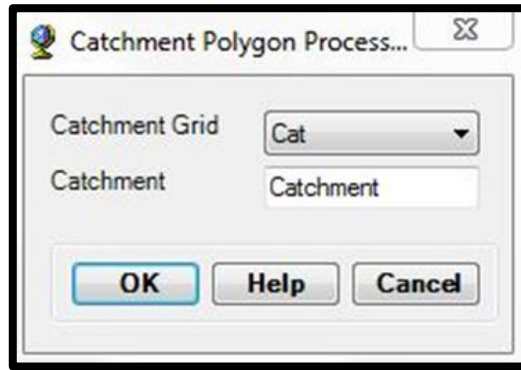
şekil 5.18. Kk su toplama havzaları

5.1.7. Havzanın poligonlanlara ayrılması

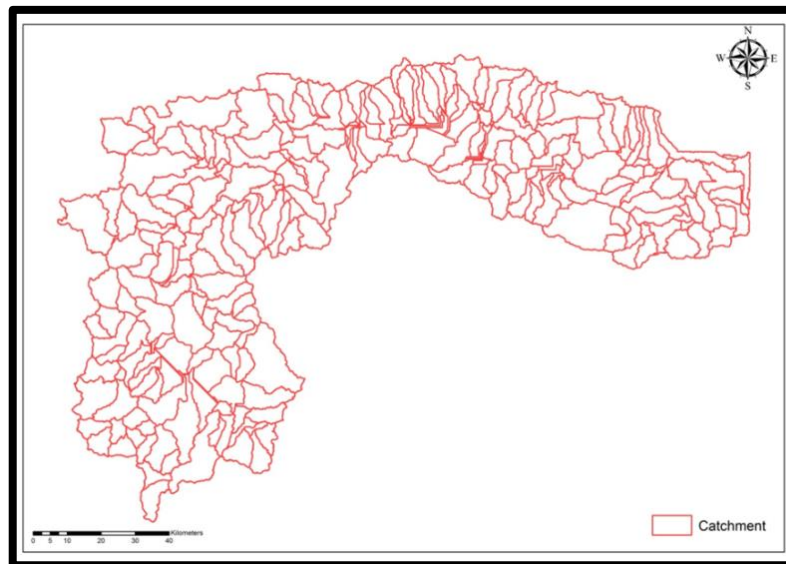
Bu aşamaya kadar olan tüm işlemlerde raster veri formatı üzerinde analizler yapılmıştır. Ancak su toplama alanını poligonlama işlemiyle birlikte sayısallaştırma, vektör veri formatıyla çalışma yapılmıştır.

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.19.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Catchment (Su Toplama Alanı Poligonlama) verisi harita katmanına eklenir (5.20.)

- Terrain Preprocessing→Catchment Polygon Processing seçilir.



Şekil 5.19. Su toplama alanı poligonlama işlem basamağı



Şekil 5.20. Su toplama alanı poligonları

5.1.8. Drenaj çizgilerini belirleme

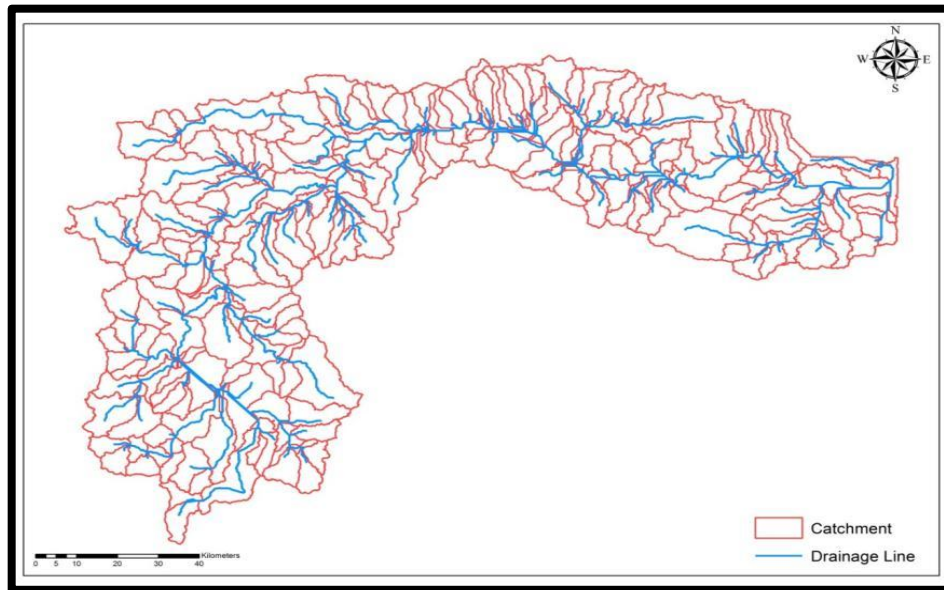
Bu fonksiyonla birlikte daha önce bulunan StrLnk ev Fdr katmanları girdi olarak kullanılarak akarsu ağı giridi vektör veri formatına dönüştürülür.

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.21.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra DrainageLine (Drenaj Çizgileri) verisi harita katmanına eklenir (Şekil 5.22.).

- Terrain Preprocessing→Drainage Line Processing seçilir.



Şekil 5.21. Drenaj çizgisi işlemi



Şekil 5.22. Mikro havzalar ve drenaj çizgileri

5.1.9. Bitişik havza alanı belirleme

Bu basamakta Catchment veri katmanını kullanarak akım yönünde birbirleri ile ilişkili olan havza alanlarını bir araya getirir. Bu şekilde bir poligon dosyası oluşturulur. Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.23.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra AdjointCatchment (Bitişik Su Toplama Alanı) verisi harita katmanına eklenir.

- Terrain Preprocessing→Adjoint Catchment Processing seçilir.



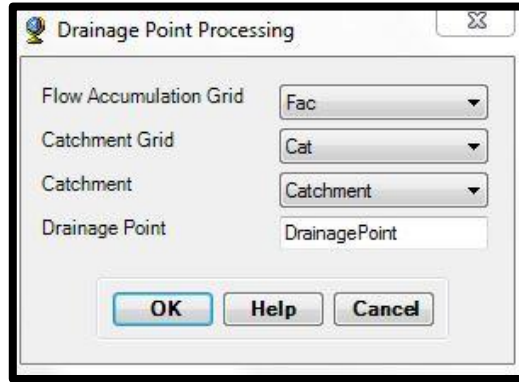
Şekil 5.23. Bitişik su toplama alanı belirleme işlemi

5.1.10. Drenaj noktasının eklenmesi

Hesaplanan havza alanları için akımın drene edildiği drenaj noktalarını tespit eder.

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir. Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen pencere ekrana gelmektedir (Şekil 5.24.). Gerekli veriler bu pencereye girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Drainage Point (Drenaj Noktası) verisi harita katmanına eklenir.

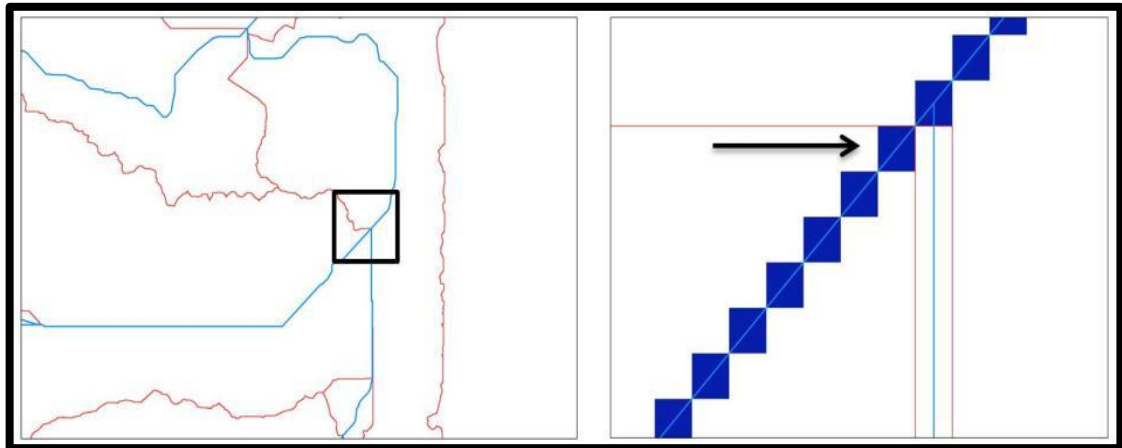
- Terrain Preprocessing →Drainage Point Processing seçilir.



Şekil 5.24. Drenaj noktası belirleme işlemi

5.1.11. Porsuk havza sınırlarının bulunması

Şekil 5.25.'de işaretlenen drenaj noktasının menbasında bulunan havza alanını belirlenir.

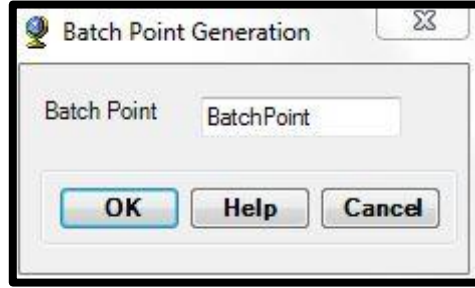


Şekil 5.25. Drenaj noktası koyma işlemi

Bu işlem için yazılımda kullanılacak olan komut satırı aşağıdaki gibidir.

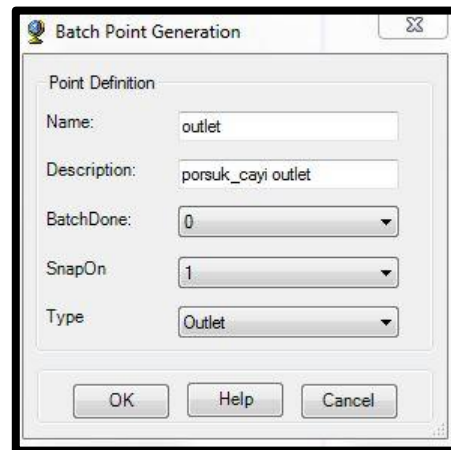
- WatershedProcessing→BatchWatershedDelineation seçilir.

Bu komut izlendiğinde aşağıdaki şekillerde gösterilen pencereler ekrana gelmektedir (Şekil 5.26-5.28.). Gerekli veriler bu pencerelere girildikten sonra OK düğmesine basılarak işlem tamamlanır. İşlem tamamlandıktan sonra Watershed (Havza) ve Watershed Point (Havza Drenaj Noktası) verileri harita katmanına eklenir (Şekil 5.29.).



Şekil 5.26. Drenaj noktası oluşturma

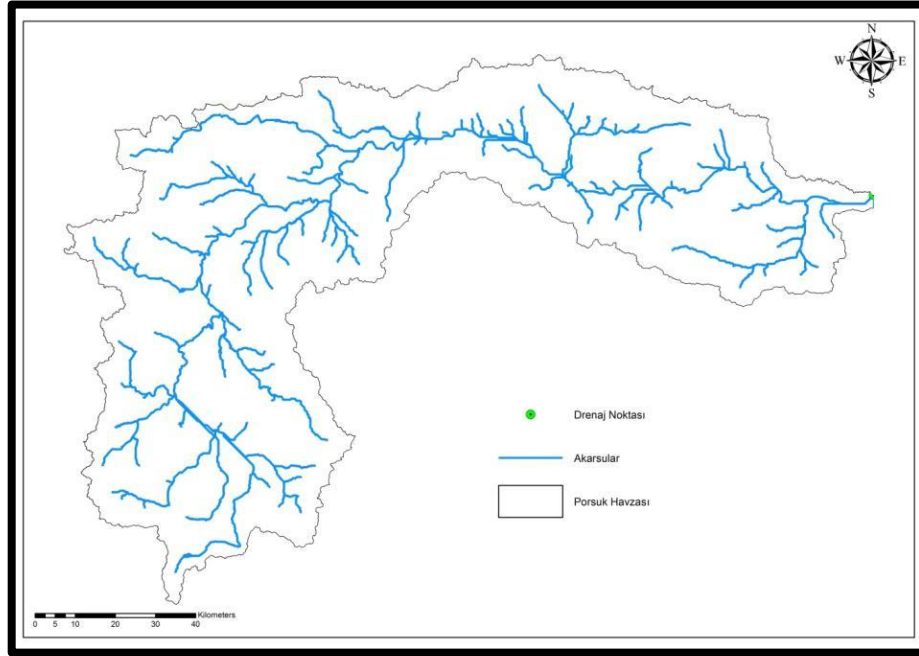
OK tuşuna basıldığında belirtilen lokasyonda bir nokta oluşturulur. Aşağıdaki tablo ekrana gelir ve bu noktaya ait bilgiler aşağıdaki şekilde girilir (Şekil 5.28.);



Şekil 5.27. Drenaj noktası veri girişi



Şekil 5.28. Havza belirleme veri girişi işlemi



Şekil 5.29. Porsuk havzası

5.2. Porsuk Havzasının Hidrolojik Özellikleri

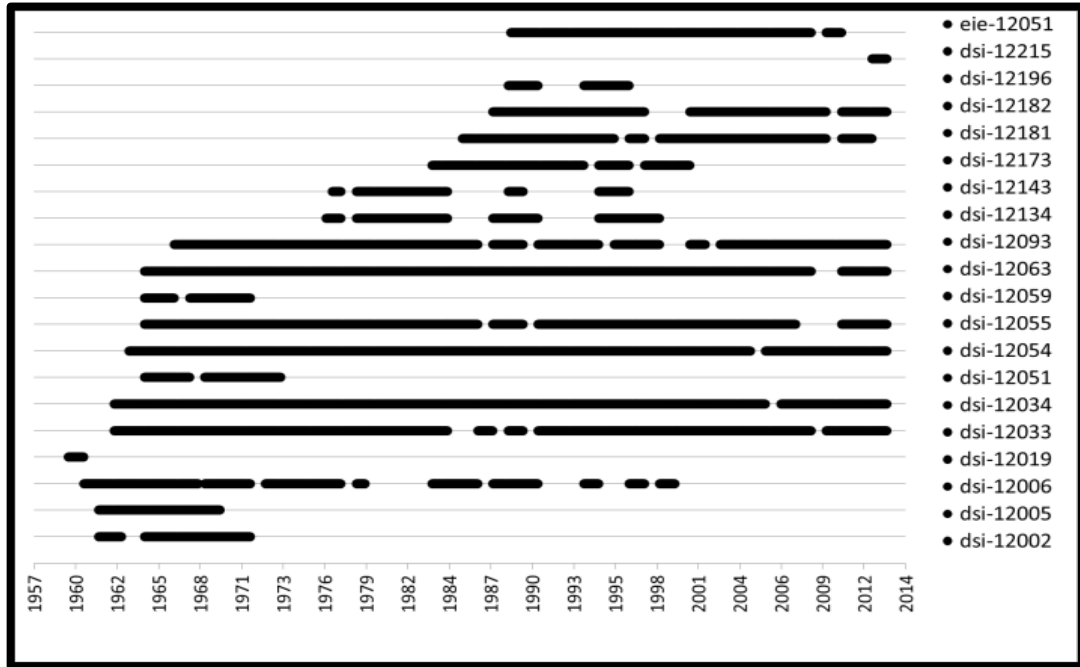
Bu tez çalışmasında, Porsuk havzasındaki DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne (EİE) tarafından kurulan AGİ'lerin akım verileri incelenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen Porsuk havzasındaki AGİ'lerde eksik veri sayısının fazla olması sebebiyle analizlerin doğru bir şekilde yapılması için ölçülen akım verilerinin istatistiksel açıdan en uygun yöntemlerle tamamlanması gerekmiştir. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında, 58160 km²'lik drenaj alanıyla Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %7.5'ini meydana getiren Sakarya havzanının bir alt havzası olan Porsuk havzasına ait akım gözlem verileri incelenmiştir. Porsuk çayı ve yan kolları üzerinde toplam 20 adet AGİ bulunmaktadır. Bu AGİ'lerden 1 tanesi EİE tarafından kurulmuş fakat günümüzde bu kurum kapatıldığından işletmesi DSİ tarafından yapılmaktadır. Diğer 19 AGİ ise DSİ tarafından kurulmuş olup aynı kurum tarafından işletilmektedir (Çizelge 5.1.).

Çalışmada kullanılmak üzere alınan AGİ'lerin akım değerleri aylık olarak 1960-2013 (54 yıl) yıllarını kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Alınan akım veri setlerinde çeşitli nedenlerden dolayı ölçüm yapılamadığından önemli derecede eksikler görülmüştür. Bu eksik verilerin mevcut durumunun ortaya çıkarılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda DSİ'den alınan aylık ölçümleri verilen tablolar incelenerek tek bir yapı altında toplanarak veri tabanı oluşturulmuştur. Ölçülemeyen

akım verilerinin hangi yıllarda eksik olduğu belirlenerek tablo ve grafiksel olarak gösterilmiştir (Çizelge 5.1. ve Şekil 5.30.).

Çizelge 5.1. Porsuk havzasında kullanılan AGİ'ler

DSİ ve EİE Akım Gözlem İstasyonları				
İstasyon No	İstasyon Adı	Koordinat	Yağış Alanı (km ²)	Mevcut aylık ölçülen veri durumu
DSI-12002	Sazova	30°26'72' D-39°45'59' K	643	1961-1962,1964-1971 (10 yıl)
DSI-12005	Sobran	30°09'58' D-39°40'50' K	435	1961-1969 (9 yıl)
DSI-12006	Porsuk D.D.Y.Drk	30°40'50' D-39°36'18' K	320.8	1960-1968,1969-1971,1973-1977,1983-1986,1988-1990,1994,1997,1999 (27 yıl)
DSI-12019	Regülatör Çıkış	29°58'19' D-39°12'14' K	5628	1960 (1 yıl)
DSI-12033	Porsuk Çiftliği	30°02'00' D-39°21'00' K	2432	1963-1984,1987,1989,1991-2008,2010-2013 (46 yıl)
DSI-12034	Baraj Çıkışı	30°46'00' D-39°38'00' K	465.5	1963-2005,2007-2013 (49 yıl)
DSI-12051	Genişler	30°07'40' D-39°01'29' K	152.5	1965-1967,1969-1973 (8 yıl)
DSI-12054	Esenkara	30°25'00' D-39°44'00' K	5169	1964-2004,2006-2013 (49 yıl)
DSI-12055	Akçaköy	30°02'00' D-39°03'00' K	297	1965-1986,1988-1989,1991-2007-2011-2013 (45 yıl)
DSI-12059	Yoncalı-Felenk Ç.	29°50'36' D-39°28'56' K	275.8	1964-1966,1968-1971 (7 yıl)
DSI-12063	Uluçayır	30°24'00' D-39°38'00' K	290.7	1965-2008,2011-2013 (46 yıl)
DSI-12093	Eyice	30°10'00' D-38°53'00' K	153.1	1967-1986,1988-1989,1991-1994,1996-1998,2001,2003-2013 (41 yıl)
DSI-12134	Yesildon	31°01'00' D-39°44'00' K	7580	1977,1979-1984,1988-1990,1995-1998 (14 yıl)
DSI-12143	Yoncalı	29°50'00' D-39°29'00' K	44.15	1977,1979-1984,1989,1995-1996 (10 yıl)
DSI-12173	Gökçekısık	30°24'00' D-39°39'01' K	5425	1984-1993,1995-1996,1998-2000 (15 yıl)
DSI-12181	Yenibosna	30°07'00' D-39°28'00' K	3810.5	1986-1995,1997,1999-2009,2011-2012 (24 yıl)
DSI-12182	Memik	31°30'00' D-39°33'00' K	177.1	1988-1997,2001-2009,2011-2013 (21 yıl)
DSI-12196	Yoncalı-Felent Ç.	29°49'00' D-39°29'00' K	246.85	1989-1990,1994-1996 (5 yıl)
DSI-12215	Parsibey	31°09'00' D-39°41'00' K	867.1	2013 (1 yıl)
EIE-12051	Kıranharmanı	31°57'56' D-39°40'19' K	10955.4	1989-2008,2010 (21 yıl)



Şekil 5.30. DSI'den alınan akım verilerinin zamana göre ölçüm durumu

5.2.1. Eksik akım verilerinin tamamlanması

Şekil 5.30.'da, 1960-2013 yıllarına ait DSI'den alınan aylık akım verilerinin ölçüm periyoduna bağlı veri durumu gösterilmiştir. Akım verileri incelendiğinde, DSI'den alınan aylık akım verilerinde önemli eksiklikler olduğu görülmektedir. AGİ'lerdeki akım verileri bazı yıllarda ölçülememiştir. Ölçüm yapılamayan yılların eksik verilerinin tamamlanması için AGİ'ler arasında istatistiksel olarak bir ilişki olup olmadığı incelenerek birbiri ile uyumlu istasyonlar belirlenmiştir. Birbiri ile istatistiksel açıdan uyumlu istasyonların tespitinde Microsoft Excel 2010 programının veri analizi modülünden yararlanılmıştır. Çalışmada iki istasyon arasında bir ilişki olup olmadığı, ilişkinin mertebesini regresyon-korelasyon analizleri yapılarak bulunmuştur. Yapılan korelasyon analizine göre çıkan katsayının 1 değerine yakın olması, istasyonlar arasındaki hidrolojik ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunun bir göstergesidir. Korelasyon katsayısının hesaplanması için Eşitlik 5.1.'den faydalanılmaktadır.

$$r_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1.)$$

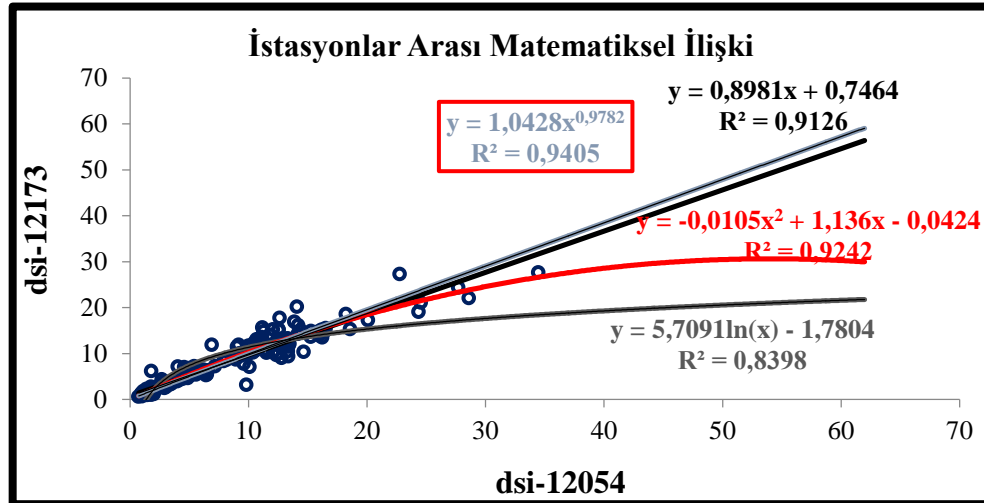
Burada; r_{xy} , x ve y olarak adlandırılan 2 AGİ'nin korelasyon katsayısını, x_i ve y_i değerleri iki AGİ'ye ait aynı tarihlerde ölçülmüş akım verilerini göstermektedir. \bar{x} ve \bar{y} değerleri ise AGİ'lere ait akım verilerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

Veri analizi modülünde havzada bulunan tüm istasyonların korelasyon katsayılarını belirlemek için korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Korelasyon matrisi Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Korelasyon matrisindeki katsayılar incelendiğinde, iki istasyon arasındaki kuvvetli ilişkiler (mutlak değerce büyük olanlar, $|r|$) koyu renkle gösterilmiştir. Eğer iki AGİ arasında ilişki incelendiğinde aynı tarihlere akım verisi bulunmayan istasyon çifti olursa korelasyon matrisinde herhangi bir katsayı hesaplanamamış kısa tire çizgi ile ifade edilmiştir. Korelasyon katsayısının hesaplanabilmesi için, istasyon çiftlerinin her ikisinde de akım verisi bulunmalıdır. İstasyonlardan bir tanesinde bile veri olmadığında o iki istasyon arasında korelasyon katsayısı hesaplanamaz.

Çizelge 5.2. Akım ölçüm istasyonları arasındaki korelasyonlar

	dsi-12002	dsi-12005	dsi-12006	dsi-12019	dsi-12033	dsi-12034	dsi-12051	dsi-12054	dsi-12055	dsi-12059	dsi-12063	dsi-12093	dsi-12134	dsi-12143	dsi-12173	dsi-12181	dsi-12182	dsi-12196	dsi-12215	eie-12051
dsi-12002	1																			
dsi-12005	0.936907	1																		
dsi-12006	0.712726	0.857569	1																	
dsi-12019	-	-	-	1																
dsi-12033	0.864022	0.920052	0.813974	-	1															
dsi-12034	0.626431	0.685432	0.487075	-	0.386061	1														
dsi-12051	0.794636	0.751487	0.720201	-	0.873609	0.550058	1													
dsi-12054	0.773014	0.846052	0.546201	-	0.494174	0.957663	0.671175	1												
dsi-12055	0.834992	0.835963	0.709669	-	0.88358	0.186047	0.911958	0.305346	1											
dsi-12059	0.863606	0.86063	0.686114	-	0.873314	0.80387	0.713209	0.850944	0.781701	1										
dsi-12063	0.933497	0.926673	0.678352	-	0.795078	0.160714	0.83943	0.307015	0.798408	0.836225	1									
dsi-12093	0.90323	0.899118	0.641355	-	0.857548	0.075035	0.948421	0.196177	0.891082	0.84677	0.794871	1								
dsi-12134	-	-	0.042183	-	0.375454	0.77762	-	0.820419	0.202836	-	0.190928	0.070191	1							
dsi-12143	-	-	0.495063	-	0.820767	-0.01048	-	0.060673	0.699569	-	0.625555	0.669835	0.380086	1						
dsi-12173	-	-	-0.37432	-	0.056306	0.954305	-	0.955308	-0.12134	-	-0.11798	-0.11076	0.702167	0.162047	1					
dsi-12181	-	-	0.123415	-	0.943202	0.120189	-	0.203329	0.832628	-	0.742974	0.836255	0.097444	0.818268	-0.06422	1				
dsi-12182	-	-	0.182454	-	0.625525	0.101278	-	0.149086	0.542938	-	0.445287	0.595847	0.124914	0.805758	-0.31026	0.596058	1			
dsi-12196	-	-	0.435589	-	0.73771	-0.33373	-	-0.27818	0.745542	-	0.698306	0.721374	0.210435	0.745992	-0.25029	0.630614	0.452969	1		
dsi-12215	-	-	#5AVI/01	-	-0.50639	0.947758	-	0.956324	-0.32353	-	-0.60036	-0.30443	-	-	-	-	-0.61955	-	1	
eie-12051	-	-	0.340824	-	0.607231	0.239027	-	0.282364	0.495448	-	0.480865	0.46691	0.510669	0.642576	0.125766	0.667736	0.546922	0.365831	-	1

Korelasyon matrisinde kuvvetli istatistiksel ilişkiye sahip AGİ'ler arasında matematiksel bir ifade (denklem) çıkarabilmek için korelasyon grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler, istasyon çiftleri arasında akım verilerinin hangi eğilimde ve mertebede olduğunu gösterir. Örneğin dsi-12173 nolu AGİ ile dsi-12054 nolu AGİ'nin matematiksel ilişkisi grafiksel olarak görülmektedir. Burada, dsi-12173 ile dsi-12054 istasyonları arasındaki ilişkinin üstel bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5.31.).



Şekil 5.31. DSİ-12173 ile DSİ-12054 nolu istasyonlar arasındaki matematiksel ilişki

Korelasyon matrisinde mutlak değerce korelasyonu yüksek istasyonlar belirlendikten sonra, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizlerinde iki istasyon arasındaki matematiksel ilişkinin lineer mi, üstel mi, logaritmik mi, polinomial mi olduğu belirlenir. Her istasyon çifti arasında ne tür bir matematiksel ilişki olduğu tek tek incelenir. En uygun matematiksel ilişki regresyon katsayısının (R^2), 1'e yakın olmasıyla ifade edilebilir. Gerçekleştirilen regresyon analizleri sonunda AGİ'ler arasında en iyi matematiksel ilişkiler bulunmuştur. Çalışmada kullanılan regresyon katsayısı Eşitlik 5.2.'de verilen denklemlerle hesaplanmıştır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.2.)$$

Burada y_i gözlemlenen akım veri değerlerini, \hat{y} matematiksel model ile üretilen akım değerlerini, \bar{y} ise ölçülen akım verilerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

İki AGİ arasındaki regresyon katsayısı (R^2) değeri en yüksek olan matematiksel ilişki, eksik verilerin tamamlanmasında kullanılmak üzere dikkate alınmıştır. Çalışmada, tüm zaman eksenini boyunca hem en uygun matematiksel ilişkiye sahip, hem de ilgili zaman diliminde akım gözlem verisine sahip AGİ bulabilmek mümkün olmamaktadır. Bu durumda, istasyonlar arasındaki eksik verinin giderilmesinde, ikinci en iyi matematiksel ilişkiye sahip akım verisini içeren bir başka

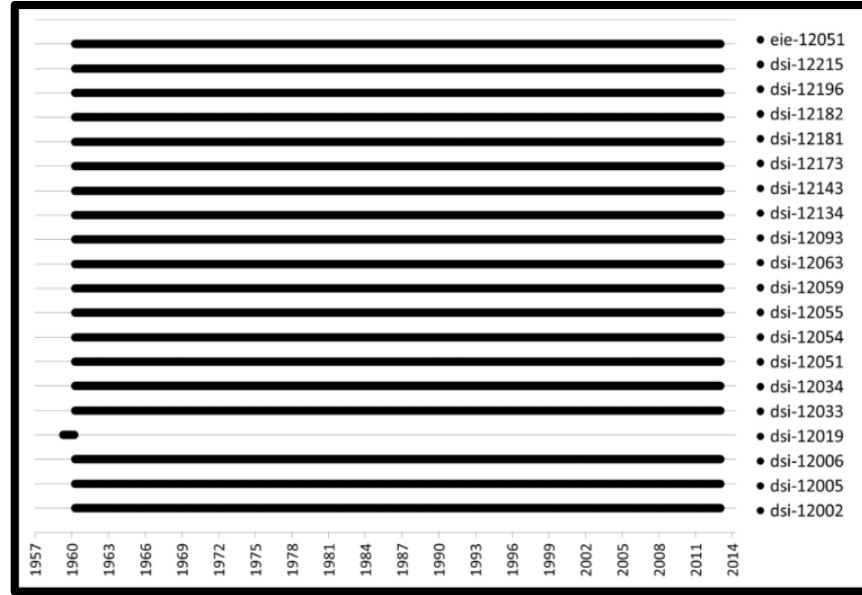
AGİ verisi kullanılmıştır. Bu ilişkiler arasındaki matematiksel bağıntılar Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. İstasyonlar arasındaki matematiksel ilişkiler ve R^2 değerleri

İstasyon Çiftleri		Denklem	R^2	Tamamlanan Yıllar
x	y			
dsi-12051	dsi-12093	$y = -0.083x^2 + 2.0096x - 0.0652$	0.901	1965-1966
dsi-12093	dsi-12051	$y = 0.0303x^2 + 0.3766x + 0.0983$	0.907	1968,1974-1986,1988-1989,1991-1994,1996-1998,2001,2003-2013
dsi-12002	dsi-12005	$y = 0.744x + 0.0628$	0.878	1970-1971
dsi-12005	dsi-12002	$y = 1.1798x + 0.1178$	0.878	1963-1964,1972-2008
dsi-12033	dsi-12181	$y = -0.0172x^2 + 1.619x + 1.6851$	0.894	1963-1984,1996,1998,2010,2013
dsi-12181	dsi-12033	$y = 0.0031x^2 + 0.5784x - 0.7865$	0.891	1986, 1988, 1990, 2009
dsi-12054	dsi-12215	$y = 0.2693x + 5.1065$	0.915	1964-2004,2006-2012
dsi-12059	dsi-12093	$y = 1.5202x - 0.486$	0.717	
dsi-12063	dsi-12093	$y = -0.0824x^2 + 1.2382x - 0.0274$	0.654	
dsi-12093	dsi-12181	$y = 0.0942x^2 + 4.2185x + 2.8126$	0.699	
dsi-12063	dsi-12005	$y = 0.9007x + 0.2934$	0.859	1972-2008,2011-2013
dsi-12005	dsi-12063	$y = 0.0274x^2 + 0.8203x - 0.0428$	0.860 2	1962-1964
dsi-12006	dsi-12033	$y = 5.8x + 2.3373$	0.662	
dsi-12143	dsi-12181	$y = 2864.7x^2 - 14.484x + 1.6184$	0.766	
dsi-12181	dsi-12143	$y = -0.0008x^2 + 0.0167x - 0.021$	0.904	1693-1976,1978,1986-1988,1990-1994,1997-2013
dsi-12181	eie-12051	$y = -0.0116x^2 + 0.8288x + 0.9262$	0.458	
dsi-12002	dsi-12093	$y = 0.6637x - 0.0722$	0.816	
dsi-12093	dsi-12002	$y = 1.2292x + 0.3956$	0.816	
dsi-12054	dsi-12173	$y = 1.0428x^{0.9782}$	0.941	1963-1983,1994,1997,2001-2004,2006-2013
dsi-12033	dsi-12006	$y = 0.0022x^2 + 0.0642x + 0.0725$	0.679	1968,1972,1978,1980-1983,1987,1991-1993,1995-1996,1998,2000-2013
dsi-12143	dsi-12196	$y = 57.525x^2 + 1.1761x + 0.0958$	0.589	1963-1984,1986-1988,1991-1993,1997-2013
dsi-12054	dsi-12134	$y = 0.0185x^2 + 0.01829x + 5.3572$	0.712	1964-1976,1978,1985-1987,1991-1994,1999-2004,2006-2013
dsi-12181	eie-12051	$y = -0.0116x^2 + 0.8288x + 0.9262$	0.458	1963-1984,1986-1988,2009,2011-2013
dsi-12143	dsi-12182	$y = -30.39x^2 + 3.064x + 0.0252$	0.712	1963-1984,1986-1987,1998-2000,2010
dsi-12005	dsi-12059	$y = -0.0395x^2 + 0.6519x + 0.3768$	0.752	

Çizelge 5.3.'de gösterilen matematiksel bağıntılarla aralarında yüksek korelasyon bulunan akım gözlem istasyonlarının akım verileri doldurulmuştur. Eksik

yıllar doldurulduktan sonra Şekil 5.32.'de görülen yıllara ait akım verileri Şekil 5.33.'deki halini almıştır.



Şekil 5.32. Eksik verileri doldurulmuş akım verileri

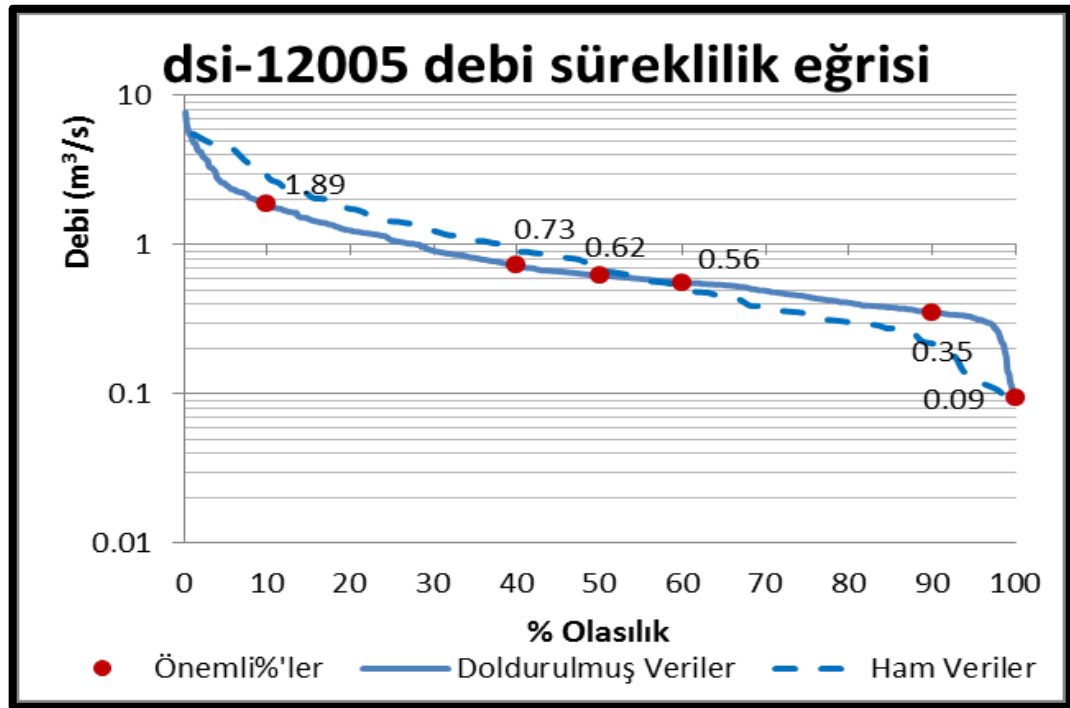
Şekil 5.32. ve Çizelge 5.2.'den de görülebileceği gibi DSİ-12019 nolu istasyon diğer akım gözlem istasyonları ile hiçbir ilişkiye sahip olmadığından bu istasyonun verileri tamamlanamamıştır. Bu istasyon bundan sonraki işlemlerde değerlendirilmeyecektir.

Havzadaki 19 AGİ'ye ait ham ve doldurulmuş akım verilerinin debi gidiş eğrileri EK-1'de verilmiştir.

Aylık ve günlük debi tahmini tarımsal-endüstriyel aktivitelerin planlanması, kentsel su temini, taşkın kontrolü için oldukça önemlidir. Ancak akım ölçümleri ve tarihsel kayıtlar debi bilgisinin gerekli olduğu yerlerde her zaman ulaşılabilir değildir. Ölçümü olmayan veya eksik olan noktalarda akım gözlem istasyonlarındaki verilerin istatistiksel bağıntılarla doldurulup debi süreklilik eğrilerinin oluşturulması oldukça önem arz etmektedir. Çünkü debi süreklilik eğrileri bir akarsu kesitinde yapılan en düşük ve en büyük akımlarla bunların arasında kalan tüm gözlenmiş akımları esas alarak o kesitteki akışın davranış biçimi hakkında bilgi sağlar. Debi süreklilik eğrisi akım serilerinin kullanılmasıyla debi değerinin zamanın kaçta kaçında mevcut olduğunu gösterir. Yani, debi süreklilik eğrisi herhangi bir akım değeri ve bu akım değerinin eşit

olduğu ya da aşıldığı yüzde cinsinden zaman dilimi arasındaki ilişki olarak yorumlanır. Burada bahsedilen “zaman yüzdesi” 0-100 arasında bir aralıktır. Böylelikle, akarsu debi aralığının tamamı göz önünde bulundurulur. Debi süreklilik eğrisi analizi belirli bir periyodun üzerindeki debi datasının kümülatif frekansını değerlendirir. Taşkın debisi daha seyrek gözlenirken düşük debiler zamanın çoğunluğunda gözlenebilir. Bu çalışmada, havzadaki tüm akım gözlem istasyonlarının eksik verileri doldurulduktan sonra her bir akım gözlem istasyonuna ait debi-süreklilik eğrileri oluşturulmuştur (EK-2).

Porsuk havzasındaki akım gözlem istasyonlarının debi süreklilik eğrileri bulunduktan sonra eksik akım verilerinin istatistiksel açıdan doğruluğunu belirleyebilmek için çalışmalar yapılmıştır. İstasyonlardaki ham datalarla, doldurulmuş dataların debi süreklilik eğrileri çizilerek ne kadarlık bir sapma olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.33.’den de görülebileceği gibi örnek olarak alınan Dsi-12005 nolu AGİ için oldukça az bir sapma gözlenmiştir. Bu durum istasyonlardaki eksik dataların doldurulması işleminin istatistiksel olarak doğruya en yakın şekilde yapıldığını göstermektedir.



Şekil 5.33. DSİ-12005 ham ve doldurulmuş akım verilerinin debi süreklilik eğrisi

5.2.2. Taşkın büyüklüklerinin hesaplanması

Taşkın gibi felaketler insanoğlunun süre gelen yaşamı boyunca karşılaştığı doğal afetler arasında en önemlilerindedir. Dünya’da son 10 yıl içerisinde, 3751 doğal afet meydana gelmiştir. Bu afetlerden yaklaşık 2 milyar insan etkilenmiştir. Bu doğal afetlerin oluşturduğu düşünülen toplam ekonomik zarar 1658 milyar Dolar olarak kayıtlara geçmiştir. Bu doğal afetlerden taşkınlar son 10 yılda %40.5’lik oranla en çok meydana gelen afetlerdir. Taşkınlardan son 10 yılda 734 milyon insan etkilenmiştir. Taşkının meydana getirdiği zarar ise toplam 363.102 milyar Dolar’dır (IFRCRCS, 2018; EM-DAT, 2018). Günümüzde yüksek yağışların neticesinde akarsuların meydana getirdiği taşkınlardan zarar gören insan sayısı sürekli artış göstermektedir. Akarsu yatağında yapılaşma gibi yanlış arazi kullanımları taşkın zararlarının artmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, Porsuk havzasındaki akım gözlem istasyonlarının 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 1000 yıllık tekrarlama sıklıklarındaki taşkın büyüklükleri hesaplanmıştır. Taşkın büyüklüklerinin hesaplanmasında LPTIII istatistiksel dağılımı kullanılmıştır.

Literatürde birçok çalışmada kullanılan bir yöntem olan LPTIII dağılımı Gumbel gibi yıllık maksimum akım verilerine uygulanan istatistiksel bir tekniktir. Bu yöntem, akarsular üzerinde farklı zaman periyotlarında meydana gelebilecek taşkın sıklıklarını tahmin etmede kullanılır. LPTIII dağılımında esas olarak 3 parametre kullanılır. Bu parametreler, ölçülen akım verilerinin logaritmalarının ortalaması, standart sapması ve çarpıklık değerleridir. LPTIII için kullanılan Eşitlik 5.3.’de verilmiştir.

$$Z_T = \overline{\log x} + K * \sigma_{\log x} \quad (5.3.)$$

şeklindedir (IACWD, 1982; USACE, 1993; Rao ve Hamed, 2000). Denklemden yer alan,

$\overline{\log x}$ = Uzun dönem yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının ortalama değerleri,

K = Taşkın sıklık faktörü katsayısı olup çarpıklık (C_{skew}) ve tekrarlama sıklığının (T) bir fonksiyonudur, $\sigma_{\log x}$ = Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının standart sapma değeridir.

Denklemden bulunan $\overline{\log x}$, $\sigma_{\log x}$ ve K için gerekli olan çarpıklık (C_{skew}) değerleri hesaplatılmıştır. C_{skew} ve çalışmada baz alınan tekrarlama sıklıkları olan 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 1000 yıl için K değeri mevcut olan standart tablodan elde

edilmiştir (Haan, 1977; Subramanya, 1997). EK-3’de Porsuk havzasındaki AGİ’lerin taşkın büyüklükleri verilmiştir.

5.2.2.1. Porsuk barajına gelen taşkın debilerinin hesaplanması

Havzadaki her bir akım gözlem istasyonunun taşkın büyüklükleri bulunduktan sonra çalışma noktası olarak seçilen Porsuk barajına gelen taşkın büyüklüklerinin hesaplanmasına geçilmiştir. Porsuk barajına gelen toplam debiyi hesaplayabilmek için alan oranı metodu kullanılmıştır.

Alan oranı metodu, aynı havzada bulunan dolayısıyla aynı havza karakteristiklerine sahip akarsu ve yan kollarında bulunan bir AGİ’nin verilerinin aynı havza üzerinde başka bir noktaya taşınmasında kullanılan bir yöntemdir. Havza üzerinde akım verileri bilinmeyen bir noktaya taşınmak istenen akım değerleri AGİ’lerin yağış alanlarıyla orantılı olarak bu yöntemle taşınırlar. Akım verileri bilinen bir AGİ ile ölçüm yapılamamış olan bir nokta arasında verilerin taşınmasında, havzanın ortak yağış rejimini ifade eden ϕ ve K katsayıları hesaplanır. Bu yöntem havzanın yağış rejimi değişkenliğini gösteren $Q=K.A^\phi$ genel denklemi ile ifade edilir. Bu denklemde Q (m^3/s) cinsinden aylık akım verilerini, A km^2 cinsinden seçilen noktanın drenaj yağış alanını, ϕ iki istasyon arasındaki yağış rejimini ifade eden bir katsayıyı, K ise düzeltme katsayısını göstermektedir. DSİ’den alınan AGİ’lerin yeri, ölçülen debi değerleri ve drenaj alanı bellidir. Fakat aynı akarsu üzerinde veya yan kolu üzerinde rastgele seçilen bir noktanın akım değerleri ve drenaj alanı belli olmayabilir. Yöntemin uygulanabilmesi için, ilk olarak CBS’den yararlanarak akım verilerinin taşınmak istendiği rastgele seçilmiş bir noktanın yağış alanı bulunur. Daha sonra, $Q=K.A^\phi$ genel ifadesi kullanılarak, seçilen noktadaki akım değerleri, alan oranına göre, akım değerleri bilinen AGİ’den debi değerleri taşınarak hesaplanır (Emerson ve Dressler, 2002; Yanık ve Avcı, 2005; Asquint, vd., 2006).

Alan oranı metodu literatürde yapılan çeşitli birçok çalışmada sıklıkla kullanılmıştır (Emerson ve Dressler, 2002). Bu yöntemin, birçok durumda, az veriye ihtiyaç duyması ve herhangi bir modifikasyona gereksinim duyulmadan kullanılabilmesi çalışmalarda sıklıkla kullanılma sebeplerindedir. Yöntemin doğru bir şekilde uygulanabilirliği iki AGİ arasındaki hidrolojik benzerlik ile yakından ilişkilidir. Bu hidrolojik benzerlik, benzer drenaj alanı, eğim, iklimsel özellikler, uzaklık, yağış rejimi gibi birçok parametre tarafından belirlenir. Bu benzerlik ilişkisi, akım değerleri

bilinen AGİ ile akım değerleri bilinmeyen AGİ arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Bu metot aşağıda verilen matematiksel ifadelerle ortaya konulabilir (Eşitlik 5.3. ve Eşitlik 5.4.). Aşağıda verilen denklemlerde geçen 1 indisi, akarsu üzerinde akım değerleri bilinen bir AGİ'nin konumunu göstermektedir. Bu AGİ'nin drenaj alanı, A_1 ve ölçülen akım debileri, Q_1 ile ifade edilmiştir. Denklemlerde geçen 2 indisi de akım verileri ölçülememiş dolayısıyla akım değerleri bilinmeyen, herhangi bir AGİ'nin konumunu ifade etmektedir. 2 noktasının drenaj alanı, A_2 olarak verilmiştir. 1 noktasında bulunan AGİ'nin akım verileri, 2 noktasında (örneğin bir baraj noktasında) bulunan yere alanları oranında taşınacaktır. Buna göre:

$$Q_1 = K_1 \cdot \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^\phi \cdot Q_2 \quad (5.3.)$$

$$Q_2 = K_2 \cdot \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^\phi \cdot Q_1 \quad (5.4.)$$

Burada,

Q_1 : 1 noktasındaki akım değerleri, m^3/s

Q_2 : 2 noktasındaki akım değerleri, m^3/s

A_1 : 1 noktasının drenaj alanı, km^2

A_2 : 2 noktasının drenaj alanı, km^2

ϕ : Üstel katsayı

K_1, K_2 : Düzeltme katsayıları

Havzanın karakteristik özelliklerini veren üstel katsayının hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır (Eşitlik 5.5. ve Eşitlik 5.6.). Katsayı hesaplanırken aynı havzada bulunan benzer hidrolojik özelliklere sahip iki AGİ'nin akım ve drenaj alanı değerleri kullanılarak, her iki istasyonun aynı tarihlerde ölçülmüş olan her bir akım değerine karşılık gelecek şekilde ϕ katsayı değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra, hesaplanan bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak iki ölçüm istasyonuna ilişkin üstel katsayı değeri hesaplanabilmektedir.

$$\phi_1 = \frac{\log(Q_{1i}/Q_{2i})}{\log(A_1/A_2)} \quad (5.5.)$$

$$\bar{\phi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (5.6.)$$

Burada,

n : Örnek sayısı

Alan oranı metodunda kullanılan iki AGİ arasındaki ilişkinin zayıf olması durumunda bu yöntemde bazı sapma ve hataların yaşandığı görülmektedir. Bu yöntemde, akım verileri bilinmeyip başka bir istasyondan taşınan AGİ'ye ait akım değerleri normalinden daha az veya daha fazla bulunabilmektedir (Bakış ve Göncü, 2015). Bu sapma ve hata oranının minimize edilerek düşürülmesi için, alan oranı metodunda K_1 , K_2 düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Bu düzeltme katsayıları aşağıdaki verilen denklemler yardımıyla her bir akım değeri için için ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.7. ve Eşitlik 5.8.).

$$K_{12,i} = \frac{Q_{1i}}{Q_{2i} \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\bar{\phi}}} \quad (5.7.)$$

$$K_{21,i} = \frac{Q_{2i}}{Q_{1i} \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\bar{\phi}}} \quad (5.8.)$$

Yukarıda verilen denklemlerde hesaplanan düzeltme katsayıları, tek bir düzeltme katsayısına çevrilerek kullanılmaktadır. K ile ifade edilen bu katsayı simetrik bir yapıdadır. K_1 , K_2 düzeltme katsayılarının bir kombinasyonu olan bu katsayı aşağıda verilen formülasyon ile hesaplanır (Eşitlik 5.9.)

$$K = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n K_{12,i} + K_{21,i} \quad (5.9.)$$

Yapılan tüm hesaplamalardan sonra alan oranı metodunda kullanılan genel matematiksel ifade aşağıdaki genel şekline getirilerek uygulamalarda kullanılır.

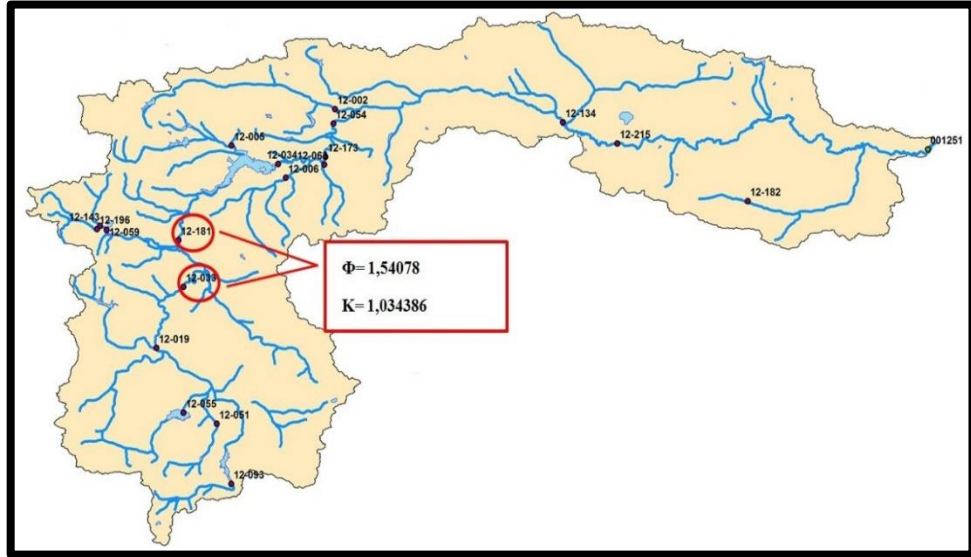
$$\frac{Q_1}{Q_2} = K \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\phi} \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10.'da görülen ϕ üstel katsayısı, pek çok çalışmada sabit değer olarak 1 değerini alırken (Emerson ve Dressler, 2002; Yanık ve Avcı, 2005; Asquint, vd., 2006), bazı çalışmalarda 0,6-1,2 aralığında değerler alabildiği görülmüştür (Yanık ve Avcı, 2005). ϕ üstel katsayısı havzanın yağış rejimini ifade ettiğinden, farklı havzalarda değişken değerler alabilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar ve sonrasında yapılacak çalışmalar için ϕ katsayı değerleri farklı olabilmektedir. Yani katsayının belli bir aralık içerisinde olması beklenmez. Çalışmada katsayının doğru belirlenmesindeki en önemli faktör, yöntemde kullanılacak iki AGİ'nin aynı havza karakteristiklerinde olmasıdır. Yapılan çalışmalarda, iki AGİ arasındaki ilişkinin, iki havza arasındaki alan oranının 1:0.5-1.5 arasında olduğunda iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Hortness, 2006; Mohamoud, 2008). Ancak, yapılan bazı çalışmalarda ise alansal oranın 1:31,5'a kadar uygun olabileceği ortaya konmuştur (Asquint, vd., 2006). Alanı oranı yöntemi bazı çalışmalarda, günlük akım verileri üzerinde yapılırken (Asquint, vd., 2006), bazı çalışmalarda aylık ortalama akım verileri üzerinden uygulanmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalarda mevsimsel farklılıkların ele alındığı da görülmektedir (Emerson ve Dressler, 2002). Yöntem yıllık bazdaki debi değerleri kullanılarak da uygulanabilmektedir (Anonim, 1987).

Çizelge 5.4. Drenaj alan oranı metodunda kullanılan değerler

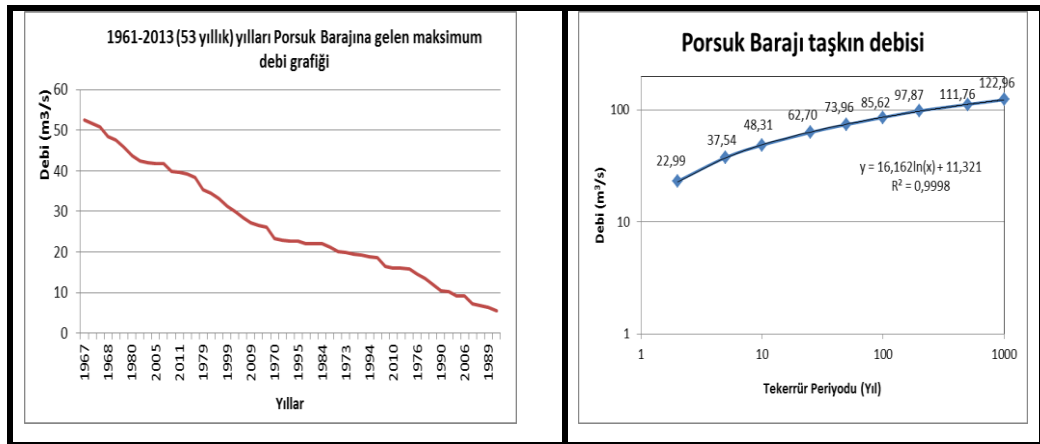
İstasyon Yerleri	ϕ	K	Drenaj Alanı (km ²)
DSİ-12033	1,54078	1,034386	2432
DSİ-12181			3810,5
Baraj Yeri			5018

Çalışmanın bu aşamasında Porsuk barajına gelen toplam debinin bulunabilmesi için drenaj alan oranı metodu kullanılmıştır. Havzada en iyi akım karakteristiklerini veren ϕ ve K katsayıları, bozulmamış doğal akımlara sahip birbirleri arasında en iyi korelasyona sahip DSİ-12033 ve DSİ-12181 nolu istasyonlardan bulunmuştur (Çizelge 5.4. ve Şekil 5.34.).



Şekil 5.34. Havzanın Φ ve K katsayıları

Havza karakteristiğini veren Φ ve K katsayıları bulunduğundan sonra DSİ-12181 nolu istasyonun akım verileri drenaj alan oranı metoduyla baraj yerine taşınmıştır. Böylelikle Porsuk barajına gelen akımlar bulunmuştur. Bu akımların Log Pearson Tip 3'e göre taşkın büyüklükleri hesaplanmıştır. (Şekil 5.35.).



Şekil 5.35. Porsuk barajının taşkın büyüklükleri

Porsuk Barajı dolusavak proje debisi olarak 500 yıl tekerrür süreli taşkın büyüklüğü seçilmiştir. Yapılan analizler sonucu baraja gelebilecek taşkın büyüklüğü Şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.36. Porsuk baraj gövdesine gelebilecek Q_{500} taşkın debisi

5.3. Porsuk Havzasının Meteorolojik Özellikleri

Araştırmada, Porsuk Havzası ve civarında bulunan MGİ'lere ait yağış, sıcaklık, buharlaşma gibi meteorolojik veriler incelenmiştir. DMİ Genel Müdürlüğünden alınan veriler analiz edilerek havanın bütününe kapsayan meteorolojik özellikleri ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında Inverse Distance Weighting (IDW) (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon) yöntemi kullanılarak havzanın meteorolojik dağılım haritaları oluşturulmuştur.

5.3.1. IDW metodu ile meteorolojik verilerin alansal dağılımı

Son yıllarda sıklıkla kullanılan CBS uygulamalarında, noktasal verinin alansal veriye enterpolasyon yöntemleriyle tahminleme dönüştürülmesi sağlanmaktadır. DMİ Genel Müdürlüğünden alınan MGİ verileri de CBS ortamında noktasal veriler olarak ifade edilmektedir. Koordinatları bilinen MGİ noktasal verilerinin doğru coğrafik konumlandırması yapılarak, verilerin alansal olarak ifade edilmesi için ters mesafe ağırlıklı konumsal tahminleme yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan tahminleme yönteminde sayısal bir veri tipi olan noktasal veriler raster veri formatındaki alansal tahmin yüzeylerine dönüştürülürler. CBS yazılımları kullanılarak konum ve uzaklığa bağlı tahminleme yöntemleri (IDW, Natural Neighbors, Spline, Kriging vb.) değeri bilinmeyen noktalarda verinin değerini enterpolasyonla tahmin eder. Uygulanan

yöntemin doğruluğu, tahminlemesi yapılmak istenen verinin tipine göre değişmektedir. Bu çalışmada, havza ve civarında noktasal veri olarak kullanılan MGİ verileri Porsuk havza sınırlarında kesilerek havzanın yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi meteorolojik özelliklerini veren tahminleme dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, yakın noktalara yüksek ağırlık değerleri atarken, uzak noktalara düşük ağırlık değerleri atayan ve mümkün olduğunca tüm noktasal verileri dikkate alan bir tahminleme metodudur. Her bir noktasal veri, değeri tahmin edilmesi istenen bir başka noktasal veriye olan uzaklığına göre ters oranda ağırlık değeri alır. x_0 noktasındaki tahmini değer Eşitlik 5.11.'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$W_i = \frac{1}{d_i^p(x_i)} \bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p(x_i)} \quad (5.11.)$$

$$Z^*(x_0) = \sum W_i \cdot Z(x_i) \quad (5.12.)$$

Burada;

$Z^*(x_0)$: x_0 noktasındaki tahminin değerini,

$Z(x_i)$: x_i noktasındaki örnek noktasının değerini,

W_i : x_i noktasındaki örneğin x_0 noktasına göre ters uzaklık ağırlığını,

d : değeri bilinen noktasal veri ile tahmini yapılacak noktasal veri arasındaki uzaklık,

p : üssel değeri,

n : örnek nokta sayısını ifade etmektedir.

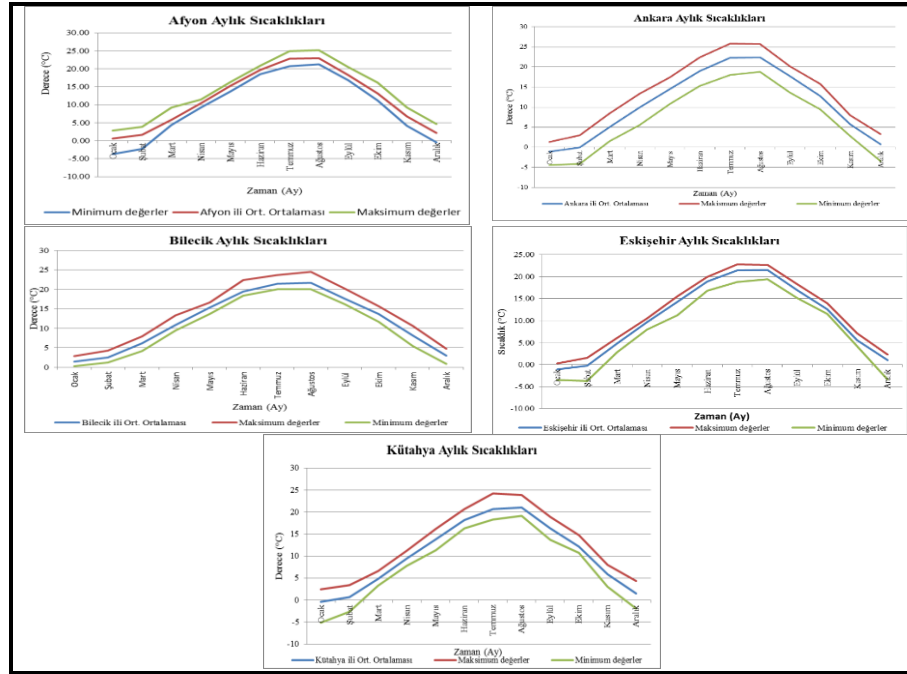
Bu tezdeki çalışma alanımız olan Porsuk havzası için uzun yıllara dayanan (19 yıl) yağış, sıcaklık ve buharlaşma verileri yukarıda anlatılan IDW yöntemiyle dağılım haritaları oluşturulmuştur.

5.3.1.1. Yağış verilerinin analizi

DMİ'den alınan yağış verileri Microsoft Excel ortamında analiz edilerek uzun yıllara ait ortalama yağış grafikleri oluşturulmuştur. Havza ve civarındaki illerin grafikleri Şekil 5.37.'de gösterilmiştir.

5.3.1.2. Sıcaklık verilerinin analizi

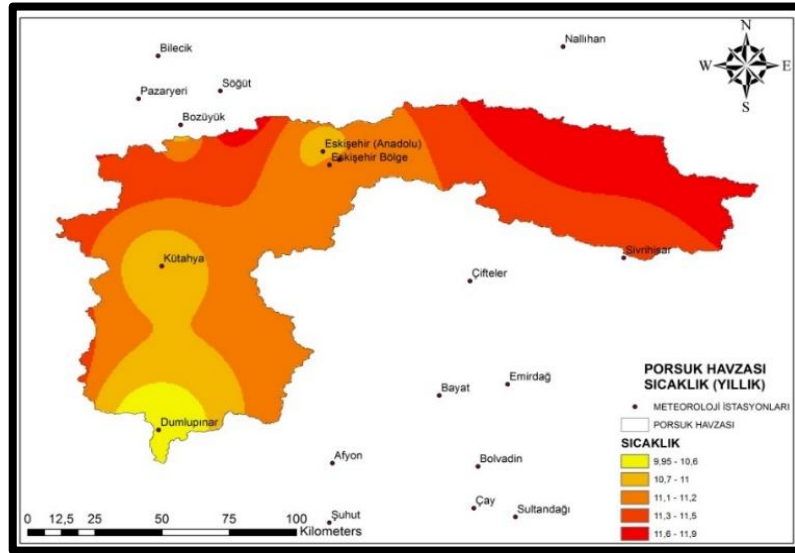
DMİ'den alınan sıcaklık verileri Microsoft Excel ortamında analiz edilerek uzun yıllara ait ortalama sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Havza ve civarındaki illerin grafikleri Şekil 5.39.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.39. Uzun yıllara ait ortalama aylık sıcaklık grafikleri

Daha sonra bu veriler aylık CBS veri tabanına aktarılmıştır. CBS'ye aktarılan bu veriler Inverse Distance Weighting (IDW) metodu kullanılarak interpolasyonla havza bazında alansal dağılımı yapılmıştır.

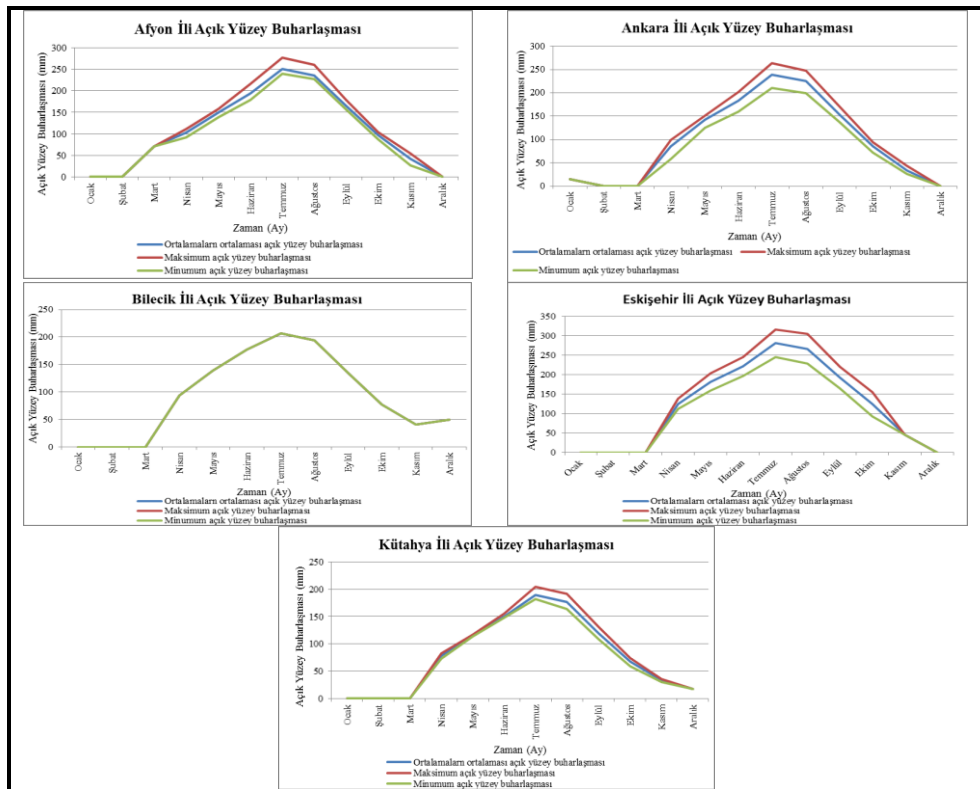
Porsuk havzasında sıcaklık verilerinin IDW ile konumsal tahminlemesi yapılarak sıcaklık haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.40.).



Şekil 5.40. Porsuk havzası yıllık sıcaklık haritası

5.3.1.3. Buharlaşma verilerinin analizi

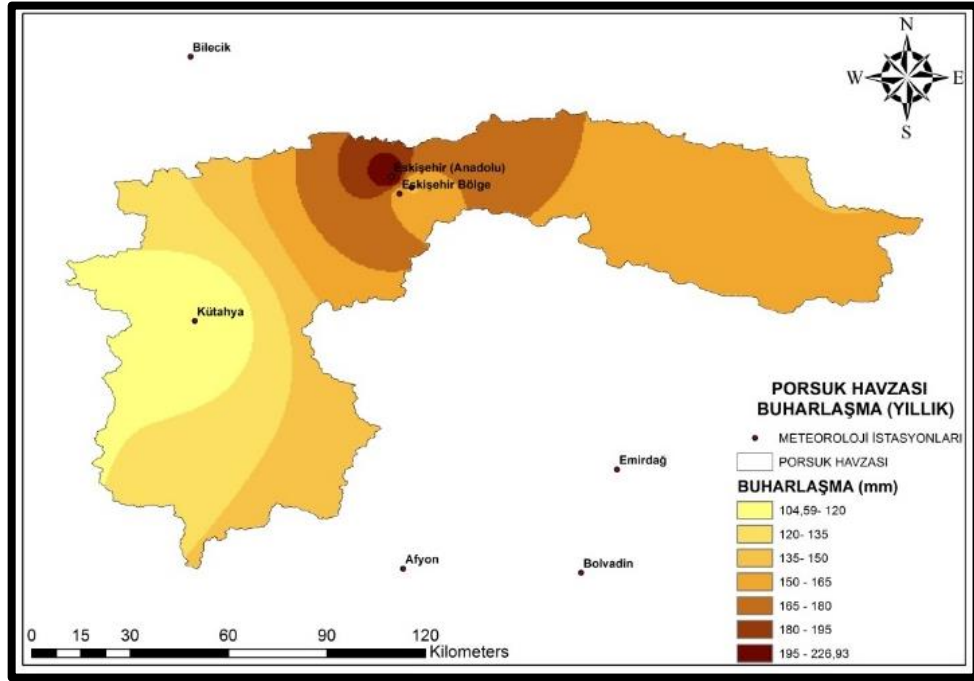
DMİ'den alınan buharlaşma verileri Microsoft Excel ortamında analiz edilerek uzun yıllara ait ortalama buharlaşma grafikleri oluşturulmuştur. Havza ve civarındaki illerin grafikleri Şekil 5.41.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.41. Uzun yıllara ait ortalama aylık buharlaşma grafikleri

Daha sonra bu veriler aylık toplam buharlaşma verisine dönüştürülerek CBS veri tabanına aktarılmıştır. CBS'ye aktarılan bu veriler Inverse Distance Weighting (IDW) metodu kullanılarak interpolasyonla havza bazında alansal dağılımı yapılmıştır.

Porsuk havzasında buharlaşma verilerinin IDW ile konumsal tahminlemesi yapılarak buharlaşma haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.42.).



Şekil 5.42. Porsuk havzası yıllık toplam buharlaşma haritası

6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları bu bölümde sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

6.1. Agregada Fiziksel Özellik Deney Sonuçları

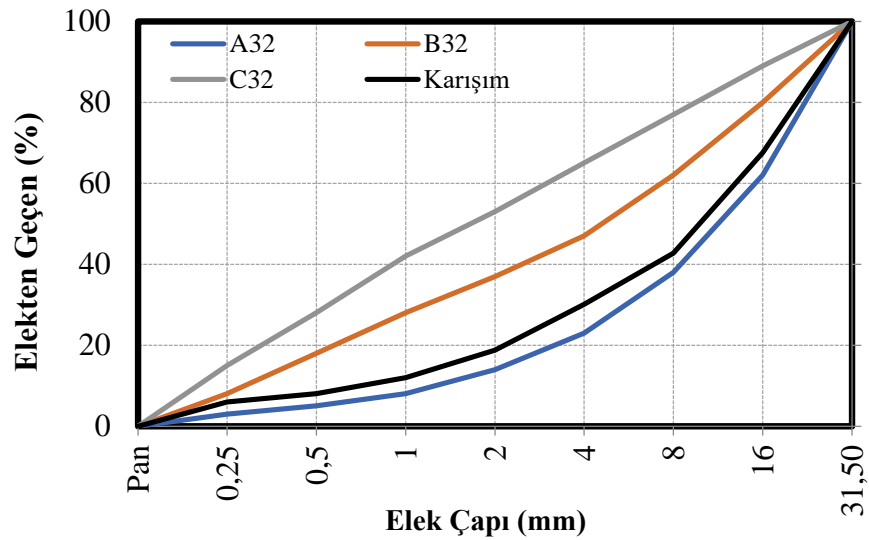
6.1.1. Elek analizi deney sonuçları

Beton tasarımında kullanılan agregaların TS EN 933-1 (2012) standardına göre beton karışım tane dağılımı için elek analizleri yapılmış ve tane dağılımları belirlenmiştir. Şekil 6.1. ve Çizelge 6.1.'de beton karışım granülometri analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.1. Agregada granülometri tablosu

Elek Çapı (mm)	Referans Değerleri (%)			İri Agregada	Orta Agregada	İnce Agregada	Karışım
	A32	B32	C32	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)
31.5	100	100	100	100	100	100	100
16	62	80	89	16.50	100	100	67.6
8	38	62	77	0.8	27	99.96	42.76
4	23	47	65	0.5	2.14	96.46	30
2	14	37	53	0.42	1.82	72.06	18.82
1	8	28	42	0.36	1.66	35.36	12
0.5	5	18	28	0.32	1.56	25.50	8
0.25	3	8	15	0.3	1.50	17	6
Tepsi	0	0	0	0	0	0	0
Karışım Oranları (%)				40	35	25	100
İncelik Modülü				1.192	2.357	5.463	2.668

Agregada karışımının uygun beton işlenebilirliğine sahip olması için karışım granülometrisinin A₃₂ ve B₃₂ referans eğrilerinin arasında olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Beton karışımı granülometri eğrisi

6.1.2. Özgül ağırlık deney sonuçları

Beton tasarımında kullanılan kırmataş agregalarda TS EN 1097-3 (1999) standardına göre yapılan iri ve ince agregaya için özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. İri ve ince agregaya özgül ağırlık deney sonuçları

Agrega	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
İri Özgül Ağırlık	2.609
İnce Özgül Ağırlık	2.612

6.1.3. Birim ağırlık deney sonuçları

Beton tasarımında agregaların sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyi TS 706 EN 12620' ye (2009) yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları

Agrega	Birim Ağırlık (kg/dm ³)
Gevşek Birim Ağırlık	1.419
Sıkışık Birim Ağırlık	1.566

6.1.4. Los Angeles aşınma deney sonuçları

Beton tasarımında agregaların aşınma özelliğinin tespiti Los Angeles deneyi ile yapılmaktadır (TS EN 1097-2, 2010). Aşınmaya maruz kalabilecek betonlarda agregalar kırılmaya ve aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Standart verilerinde beton karışımlarında kullanılan agregaların en fazla %50 aşınma oranında olması gerekmektedir. Ancak karayolu gibi aşınmanın önemli olduğu yerlerde bu değer %30'u geçmemelidir. Dolusavak betonu da aşınmaya maruz kalabileceğinden Los Angeles aşınma değerinin agregada düşük olması önemli bir kriterdir. Los Angeles aşınma deneyi sonuçları Çizelge 6.4.'de verilmiştir.

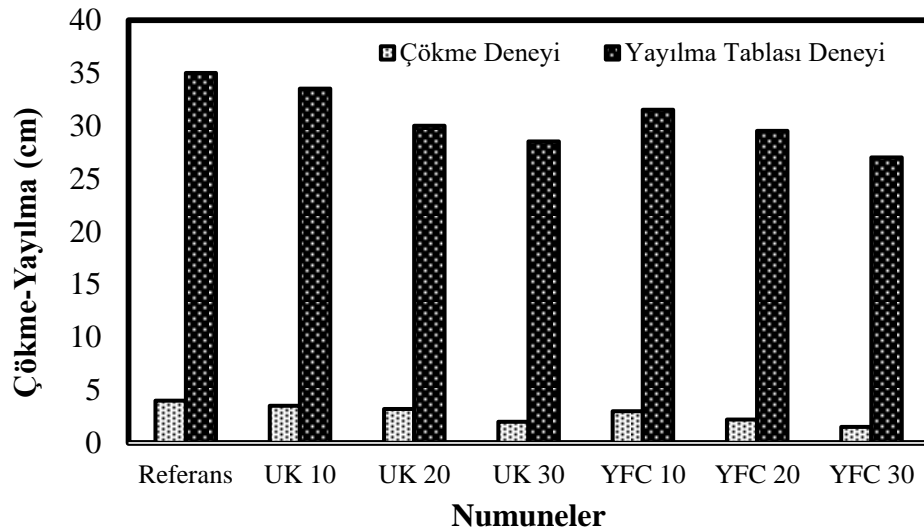
Çizelge 6.4. Beton tasarımı için Los Angeles aşınma deney sonuçları.

Başlangıç Miktarı (gr)	1.6 mm Elek Üstü Miktarı (gr)	Aşınma Oranı
5000	4173	%16.954

6.2. Üretilen Beton Numunelerinin Deney Sonuçları

6.2.1. İşlenebilirlik deney sonuçları

Beton tasarımı kapsamında üretilen Referans, UK ve YFC puzolan katkılı beton tasarımları üzerinde yapılan çökme ve yayılma deneyleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 6.2.'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Betonların işlenebilirlik deney sonuçları.

Çökme (slump) deney sonuçları incelendiğinde mineral katkı oranındaki artışa bağlı olarak beton işlenebilirliğinin azalmakta olduğu görülmüştür. Beton üretiminde kullanılan bağlayıcıların özgül yüzey alanlarının birbirlerine göre büyüklük sıralaması Çimento<UK<YFC şeklindedir. Özgül yüzey alanı büyük olan bileşenler beton karışımı içerisindeki suyu daha fazla sardıkları için bu durum kıvam kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle Şekil 6.2.'de verilen işlenebilirlik sonuçları incelendiğinde, en düşük işlenebilirliğin YFC 30 katkılı beton karışımında olduğu görülmüştür. Mineral katkı bulunmayan referans betonunda ise işlenebilirlik değeri mineral katkılı karışımlara göre daha iyi çıkmıştır. Çalışmada bir kütle betonu olan baraj betonu tasarlandığından beton kıvamlarının kuru kıvamda olduğu görülmektedir.

6.2.2. Beton birim ağırlık deney sonuçları

Beton karışımlarının taze ve sertleşmiş birim ağırlıkları incelendiğinde birim ağırlıkların (Çizelge 6.5.) UK katkılı betonlarda UK oranındaki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür. UK 30 karışımının BHA değeri referans numunesi BHA değerine göre %1.59 oranında azalarak 2.47 t/m^3 değerine düşmüştür. Bu davranışın nedeni olarak UK'nın özgül ağırlığının çimentoya göre daha düşük olması rol oynamıştır. Benzer davranış YFC katkılı betonların birim ağırlık değerlerinde de gözlemlenmiştir. YFC katkılı karışımlarda BHA değerleri $2.47\text{-}2.52 \text{ t/m}^3$ arasında değişmiştir.

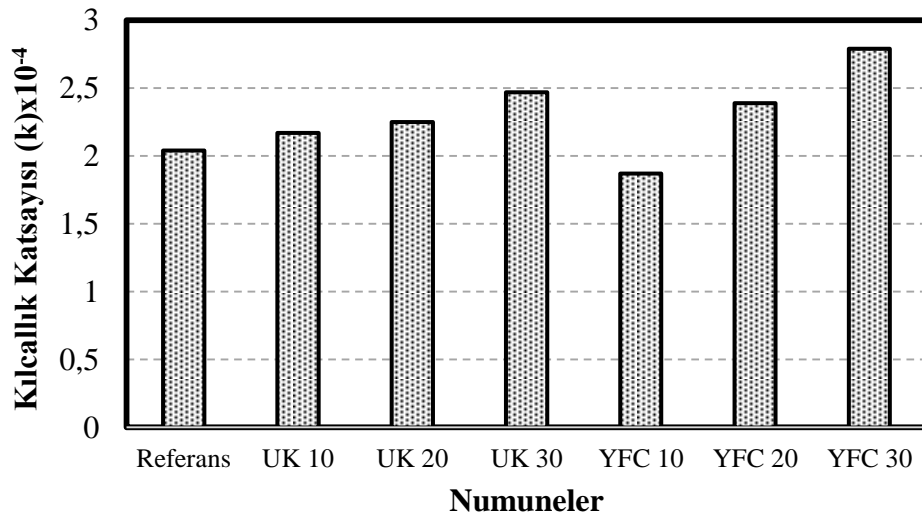
Çizelge 6.5. Betonların BHA deney sonuçları

Numune Adı	BHA (kg/dm^3)				
	Taze Betonda	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
Referans	2.51	2.52	2.53	2.54	2.57
UK 10	2.49	2.50	2.51	2.52	2.55
UK 20	2.48	2.49	2.50	2.51	2.54
UK 30	2.47	2.48	2.49	2.50	2.53
YFC 10	2.48	2.49	2.50	2.51	2.54
YFC 20	2.47	2.48	2.49	2.50	2.53
YFC 30	2.46	2.47	2.48	2.49	2.52

Ayrıca işlenebilirlik deney sonuçlarıyla BHA sonuçları karşılaştırıldığında en düşük işlenebilirlik ve en düşük BHA sonuçları aynı şekilde YFC 30 karışımında; en yüksek işlenebilirlik ve BHA değerleri referans karışımlarında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre UK ve YFC'nin özgül ağırlığının değişiminin işlenebilirlik ve BHA değerlerini etkilediği görülmüştür.

6.2.3. Beton su emme (kılcallık) deney sonuçları

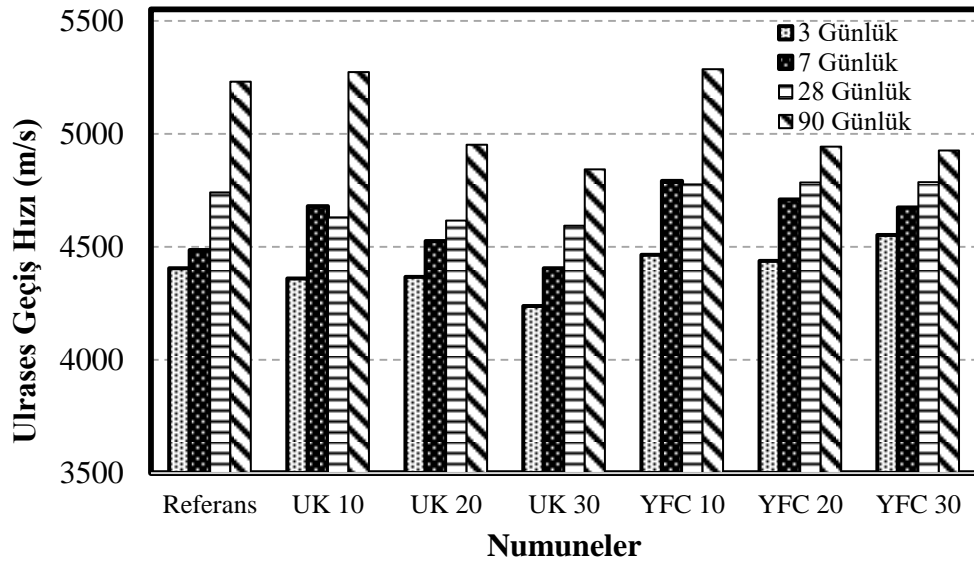
Üretilen beton numunelerinin 28 gün kür sonundaki kılcal su emme deney sonuçları Şekil 6.3.'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük kılcallık katsayısının YFC 10 katkılı numuneden elde edildiği görülmüştür. Bunun dışındaki UK ve YFC katkılı serilerde mineral katkı artışına bağlı olarak kılcallık katsayısının artış gösterdiği görülmüştür. Kılcallık katsayılarında görülen bu artışın çimento yerine ikame edilen mineral katkıların puzolanik aktivitesinin 28. günde yeterince gelişmemesinin rol oynadığı düşünülmektedir. Ayrıca %30 oranında UK ve YFC kullanımının neden olduğu işlenebilirlik kayıplarına bağlı yerleşme sorunlarının beton geçirimsizliğinin artmasına yol açtığı düşünülmektedir.



Şekil 6.3. Betonların kılcal su emme deney sonuçlarına göre kılcallık katsayıları

6.2.4. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Üretilen beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen Ultrases geçiş hızı (UPV) deney sonuçları Şekil 6.4.'da gösterilmiştir.

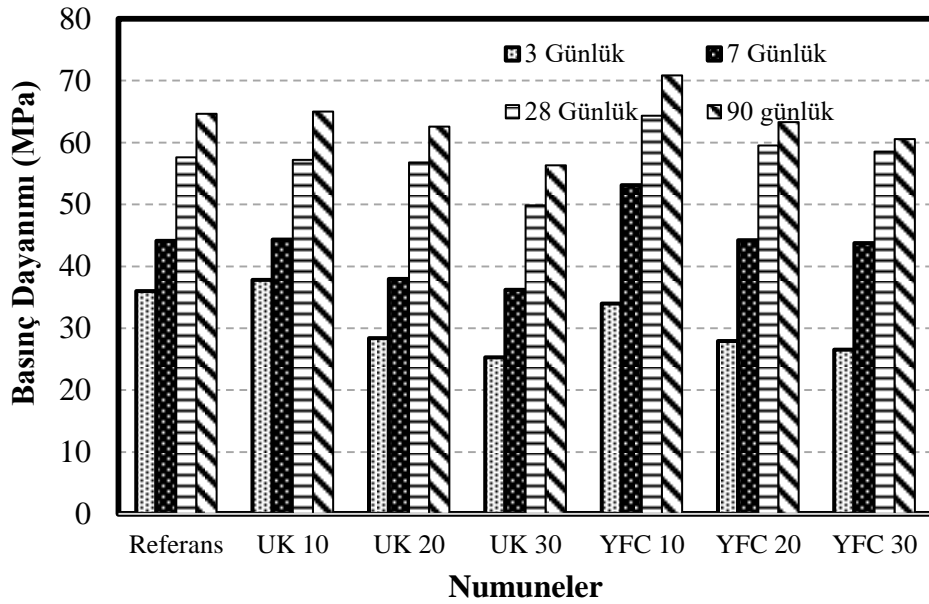


Şekil 6.4. Betonların ultrases deney sonuçları

Deney sonuçları değerlendirildiğinde UK katkılı betonların referans numunesi ile yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, YFC katkılı betonların, erken yaşlarda referans ve UK kullanılan betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ultrases geçiş hızı deneyi genel olarak değerlendirildiğinde; 3 günlük numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarının 4.24-4.55 km/sn arasında, 7 günlük numuneler üzerinde 4.41-4.79 km/sn arasında, 28 günlük numuneler üzerinde 4.60-4.80 km/sn arasında, 90 günlük numuneler üzerinde 4.84-5.29 km/sn arasında değiştiği görülmüştür. Çizelge 4.7'ye göre beton numuneleri değerlendirildiğinde beton kalitelerinin mükemmel sınıfında olduğu bulunmuştur. Ultrases hızları incelendiğinde %10 mineral katkılı numunelerin daha yüksek olduğu görülmüştür. İlerleyen yaşlarda % 10 UK ve YFC mineral katkı kullanımının ultrases hızlarının referans numunesinden yüksek olması betonun daha dolu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

6.2.5. Basınç dayanımı deney sonuçları

Beton karışımlarının 7 farklı tipte hazırlanan numuneleri üzerinde 3, 7, 28 ve 90 günlük tek eksenli basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Beton karışımlarının 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 6.5.'de verilmiştir.

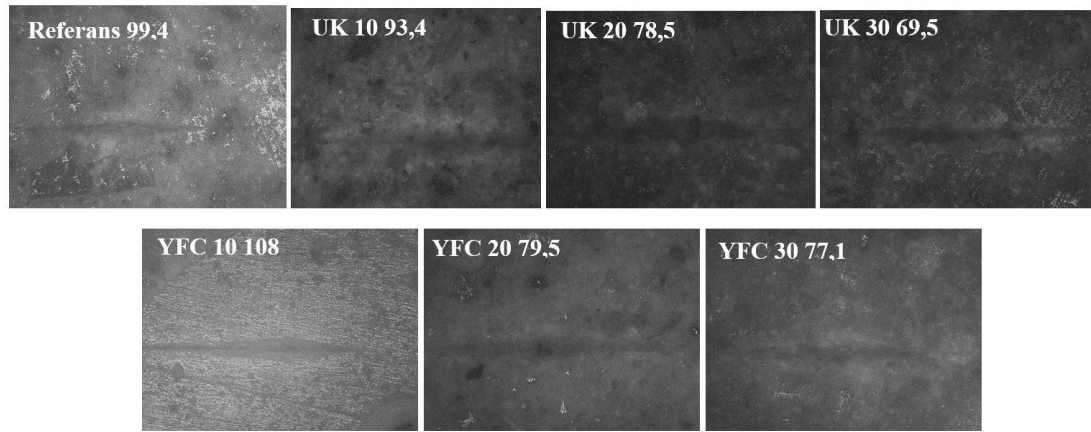


Şekil 6.5. Betonların tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Beton basınç dayanımı deney sonuçları değerlendirildiğinde; referans beton numunelerinin 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarının sırasıyla 36.00, 44.11, 57.60 ve 64.64 MPa olduğu görülmüştür. UK 10 beton numunelerinde referans beton numunelerine benzer dayanım görülürken 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 37.82, 44.34, 57.22 ve 65 MPa çıkmıştır. UK 20 ve UK 30 beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarında UK 10 beton serisine göre sırasıyla %0.78 ve %12.88 dayanım kaybı görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımlarında ise %3.75 ve %13.34 dayanım kaybı görülmüştür. Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre en iyi dayanımı YFC 10 beton serisi göstermiştir. 28 günlük yaşa gelen numunelerde YFC 10 dayanımlarında, referans ve UK 10 betonlarına göre sırasıyla %11.72 ve %12.45 artış görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise bu artış %8.79 ve %8.25 olarak görülmüştür. YFC 20 ve YFC 30 betonlarında ise referansa göre 28 günlük numunelerde sırasıyla %1.43 ve %13.45 dayanım kaybı görülürken, 90 günlük numunelerde bu dayanım kaybı %2.10 ve %6.36 olarak görülmüştür. Çimento yerine ağırlıkça %20 ve %30 mineral katkı kullanılan numunelerde, gerek işlenebilirliğin azalması gerekse mineral katkıların yeterli puzolonik reaksiyonu incelenen kür süresi için göstermemesi bu durum üzerinde etkin olmuştur. Mineral katkı kullanımında optimum oranın %10 olduğu görülmektedir.

6.2.6. Knoop sertlik deneyi sonuçları

Beton, çimento fazı ve agregalardan oluşan heterojen bir yapıya sahip olduğundan Knoop sertlik ölçümü hassas bir şekilde yapılmıştır. Sertlik ölçümleri iri agregaların bulunmadığı harç fazı üzerinde yapılmaya çalışılmıştır. Bunun nedeni Knoop sertlik deneyinde batıcı ucun agregaya üzerine denk gelmesinin deney sonuçlarında hataya yol açma riski taşımasıdır. Elde edilen Knoop deneyi sonucunda beton yüzeyinde gözlemlenen batıcı uç izleri Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Üretilen betonların Knoop sertlik değerleri

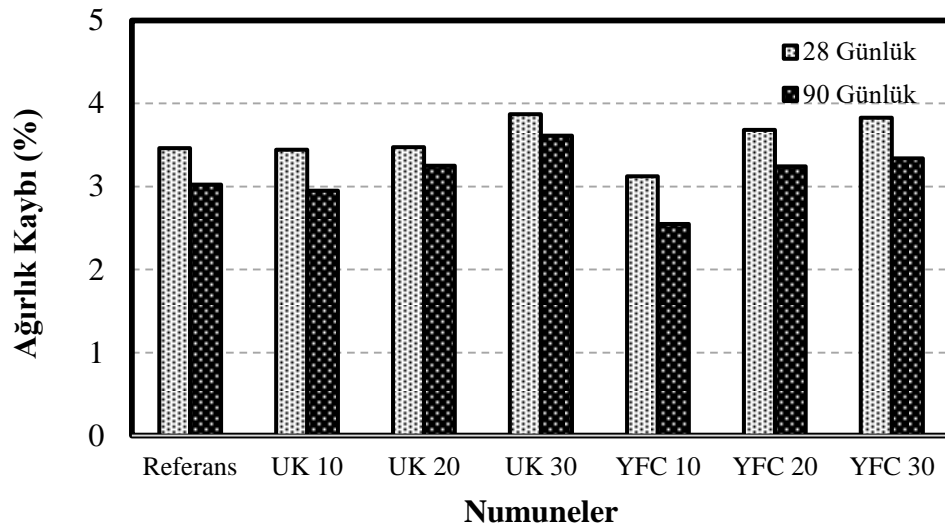
Şekil 6.6.'da görüldüğü gibi deney sonucunda YFC 10 serisi betonun çimento fazı sertliği 108 olarak bulunmuştur. Ardından referans ve UK 10 serisi betonların sırasıyla sertlik değerleri 99.4 ve 93.4 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre beton karışımlarında çimento yerine ağırlıkça %10 oranında yüksek fırın cürufu kullanıldığında referans betonuna göre sertlik derecesi daha yüksek çıkmaktadır. Fakat bu optimum oran aşıldığında %20 ve %30 gibi mineral katkı oranlarında hem UK hem de YFC serisi betonların sertlik değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir.

6.2.7. Aşınma deney sonuçları

Bu çalışmada, Porsuk barajı dolusavak betonunun abrasif aşınma altındaki direncini belirlemek ve iyileştirmek için yüksek dayanımlı betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonlar 3 farklı aşınma deneyine tabi tutulmuştur.

6.2.7.1. Böhme aşınma deney sonuçları

Beton tasarımında aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 (2009) standardına uygun olarak Böhme aşınma cihazında yapılmıştır. Deney için 70x70x70 mm boyutlarındaki küp numuneler hazırlanmış, 28 ile 90 günlük numune yaşına sahip betonlar üzerinde Böhme aşınma deneyi yapılmıştır. Böhme aşınma deneyi sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları Şekil 6.7.'de gösterilmiştir.



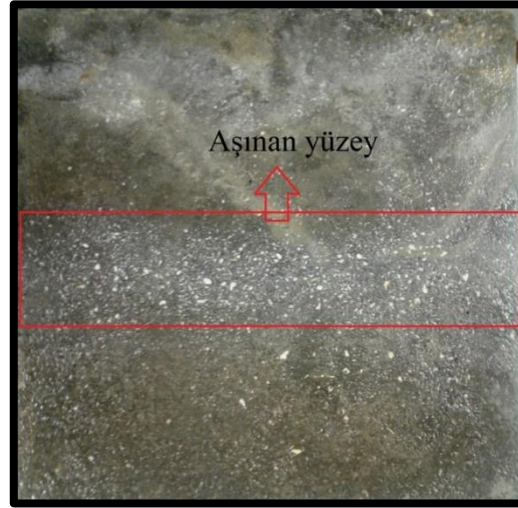
Şekil 6.7. Böhme aşınma deney sonuçları

Böhme aşınma deney sonuçlarına göre 28 ve 90 günlük referans betonunun ağırlık kaybı sırasıyla %3.46 ve %3.02 olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre en iyi aşınma dayanımı YFC 10 katkılı betonlarda çıkmıştır. YFC 10 beton karışımı referansa göre ağırlık kaybı olarak 28 günlük yaşta %9.83, 90 günlük yaşta %15.56 azalma göstermiştir. UK 10 beton karışımı ise referans betonuyla yaklaşık aynı değerlerde aşınma kaybı göstermiştir. YFC 20 ve UK 20 betonları UK 30 ve YFC 30 betonlarına göre daha iyi aşınma sonuçları göstermiştir. Böhme aşınma sonuçları incelendiğine aşınma direnci değerlerinin basınç dayanımıyla doğru orantılı ve Knoop sertlik deneyi sonuçlarıyla doğrudan ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

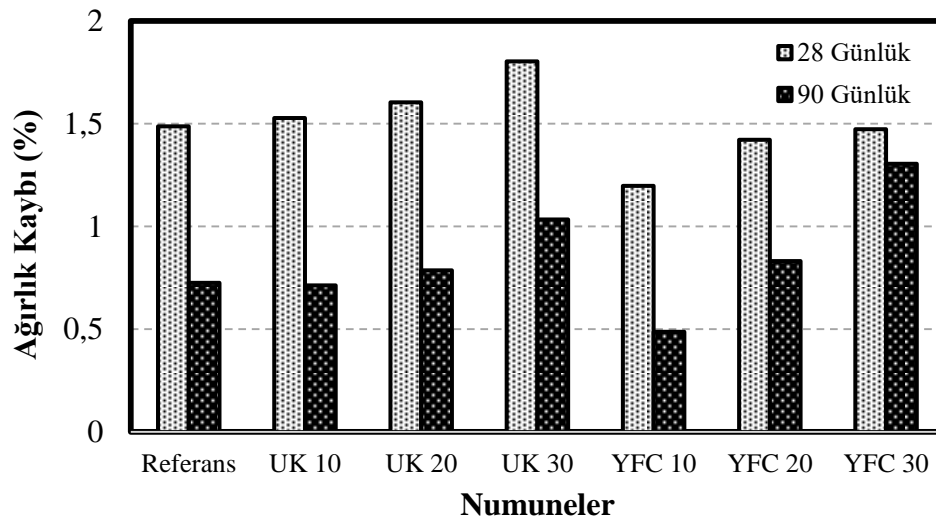
6.2.7.2. Kum-su jeti aşınma deney sonuçları

Dolusavaklardaki aşınma değerlerinin küçük ölçekli halini yansıtabilecek bir aşınma cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz, barajlarda taşkın anlarında dolusavaklardan

savaklanan suyun enerji kırıcı eşiğe çarptığı andaki durumu benzeştirmektedir. Bu enerji kırıcı eşikte jet halinde gelen su kuvvetlerinin beton üzerindeki aşınma etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda aşınan bir numune Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Deney sonuçları Şekil 6.9.’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Kum-su jeti aşınma deneyi sonrasında aşınan beton numunesi



Şekil 6.9. Kum-Su jeti aşınma deney sonuçları

Kum-su jeti aşınma deney sonuçlarına göre 28 ve 90 günlük referans betonunun ağırlık kaybı sırasıyla %1.49 ve %0.73 olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre en iyi aşınma dayanımı YFC 10 beton serisinde çıkmıştır. YFC 10 beton karışımı referansa

göre ağırlık kaybı olarak 28 günlük yaşta %19.59, 90 günlük yaşta %32.88 azalma göstermiştir. UK 10 beton karışımı ise referans betonuyla yaklaşık aynı değerlerde aşınma kaybı göstermiştir. Kumlu su jetiyle beton yüzeyine etki eden su kuvvetlerinin ve suda asılı bulunan kum taneciklerinin yarattığı aşınma etkilerine karşı YFC 10 karışımının diğer karışımlara göre daha iyi performans göstermesinin nedeni olarak taneli bir kompozit olan betonun çimento agrega ara yüzeyindeki bağın ve hamur fazının sertliğinin rol oynadığı düşünülmektedir. YFC 20 ve YFC 30 betonları ise diğer UK 20 ve UK 30 betonlarına göre daha iyi aşınma sonuçları göstermiştir. Kum-su jeti aşınma sonuçları incelendiğine aşınma direnci değerlerinin basınç dayanımı ve Knoop sertlik deney sonuçlarıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda YFC katkıli betonların UK katkıli betonlara göre gözle görülür oranda aşınma dayanımında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

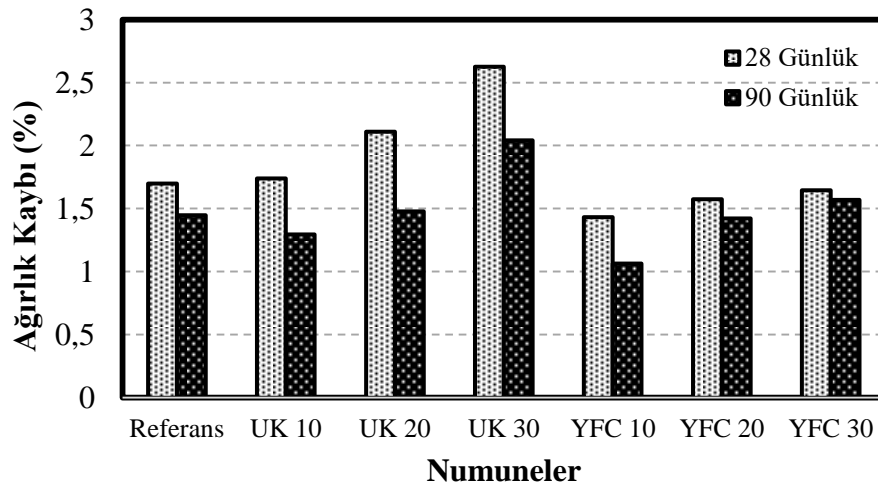
6.2.7.3. Sualtı aşınma deney sonuçları

Çalışmada incelenen dolusavak yapısının yüzeyinde sediment taneleri etkisinde meydana gelen aşınmaları inceleyebilmek için ASTM C 1138 standardında belirtilen sualtı aşınma deney yöntemi yapılmıştır. Deneye tabi tutulmuş beton numunelerinin yüzeyinde gerçekleşen aşınmalar Şekil 6.10.'da görülebilmektedir.



Şekil 6.10. Sualtı aşınma deneyi sonucunda aşınan beton yüzeyleri

Sualtı aşınma deneyi sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları Şekil 6.11.'de görülmektedir. Sualtı aşınma deney sonuçlarına göre 28 ve 90 günlük referans betonunun ağırlık kayıpları sırasıyla %1.70 ve %1.45 olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre en iyi aşınma dayanımı diğer aşınma deneylerinde olduğu gibi YFC 10 beton serilerinde çıkmıştır. YFC 10 beton karışımı referansa göre ağırlık kaybı olarak 28 günlük yaşta %15.56, 90 günlük yaşta %26.89 azalma göstermiştir. UK 10 beton serisi YFC 10 beton karışımının göstermiş olduğu aşınma kaybına benzer şekilde referansa göre daha iyi sonuçları verdiği görülmüştür. UK 20 beton karışımı ise referans betonuyla yaklaşık aynı değerlerde aşınma kaybı göstermiştir. YFC 20 ve YFC 30 betonları ise diğer UK 20 ve UK 30 betonlarına göre daha iyi aşınma sonuçları göstermiştir. Sualtı aşınma deney sonuçları incelendiğine aşınma direnci değerlerinin basınç dayanımıyla doğru orantılı olduğu aynı zamanda YFC katkılı betonların UK katkılı betonlara göre gözle görülür oranda aşınma dayanımında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu etkilerde çimentodan daha ince olan UK ve YFC'nin hem puzolonik davranışı hem de boşluk doldurma etkisinin rol oynadığı düşünülmektedir.



Şekil 6.11. Sualtı aşınma deney sonuçları

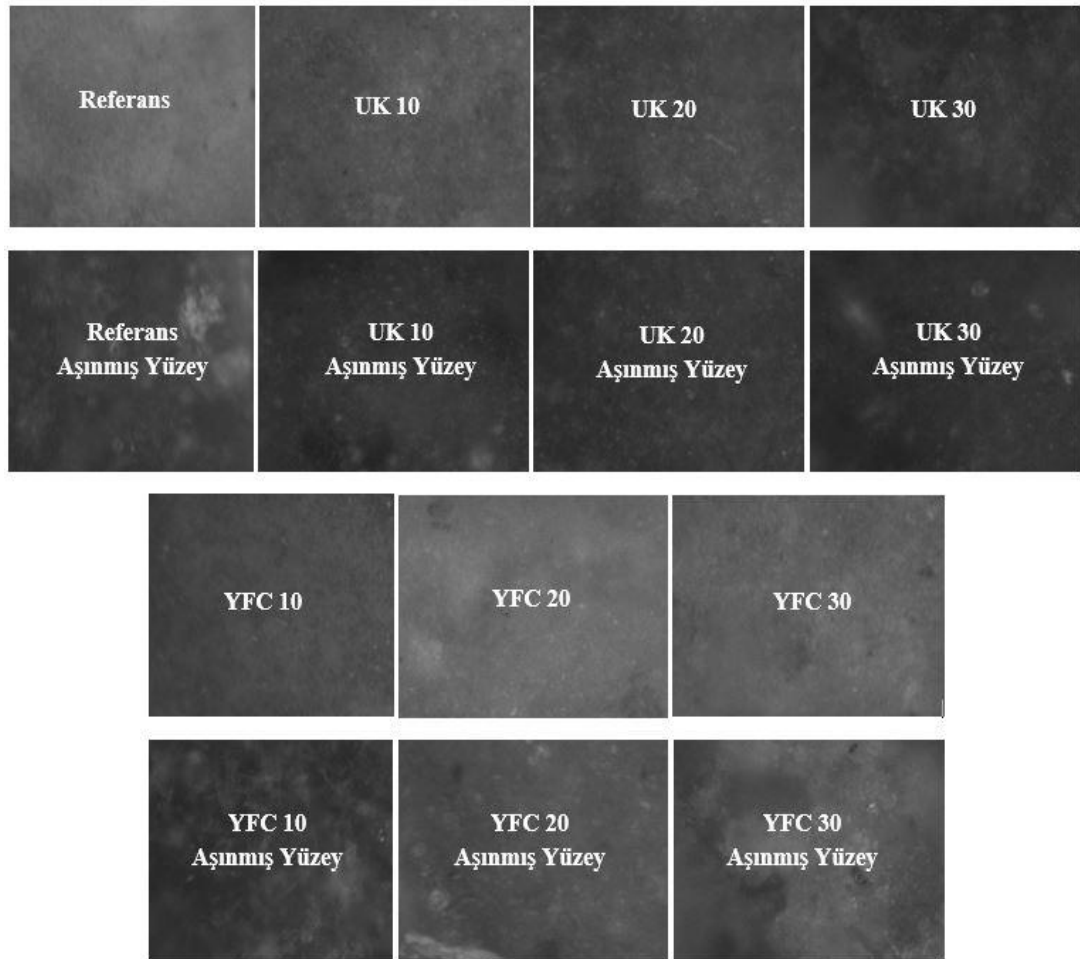
6.2.8. Mikroyapı analiz sonuçları

Mikroyapı analizi yapılacak numune seçiminde kumlu su jeti deneyine tabi tutulmuş numuneler tercih edilmiştir. Bunun nedeni Böhme ve sualtı aşınma deneyinde kullanılan numunelerin makro düzeyde ciddi aşınmalara maruz kalmasıdır. Numuneler

arasındaki aşınma farklılığını mikro düzeye belirleyebilmek için görece daha az aşınmaya uğramış olan kumlu su jeti numuneleri tercih edilmiştir. Aşınma öncesi ve sonrası betonların mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Bu incelemelerde gözle görülmesi mümkün olmayan içyapıda meydana gelebilecek çatlaklar gözlemlenebilmektedir. Çalışmada optik ve taramalı elektron mikroskopları kullanılarak mikroyapı incelenmiştir.

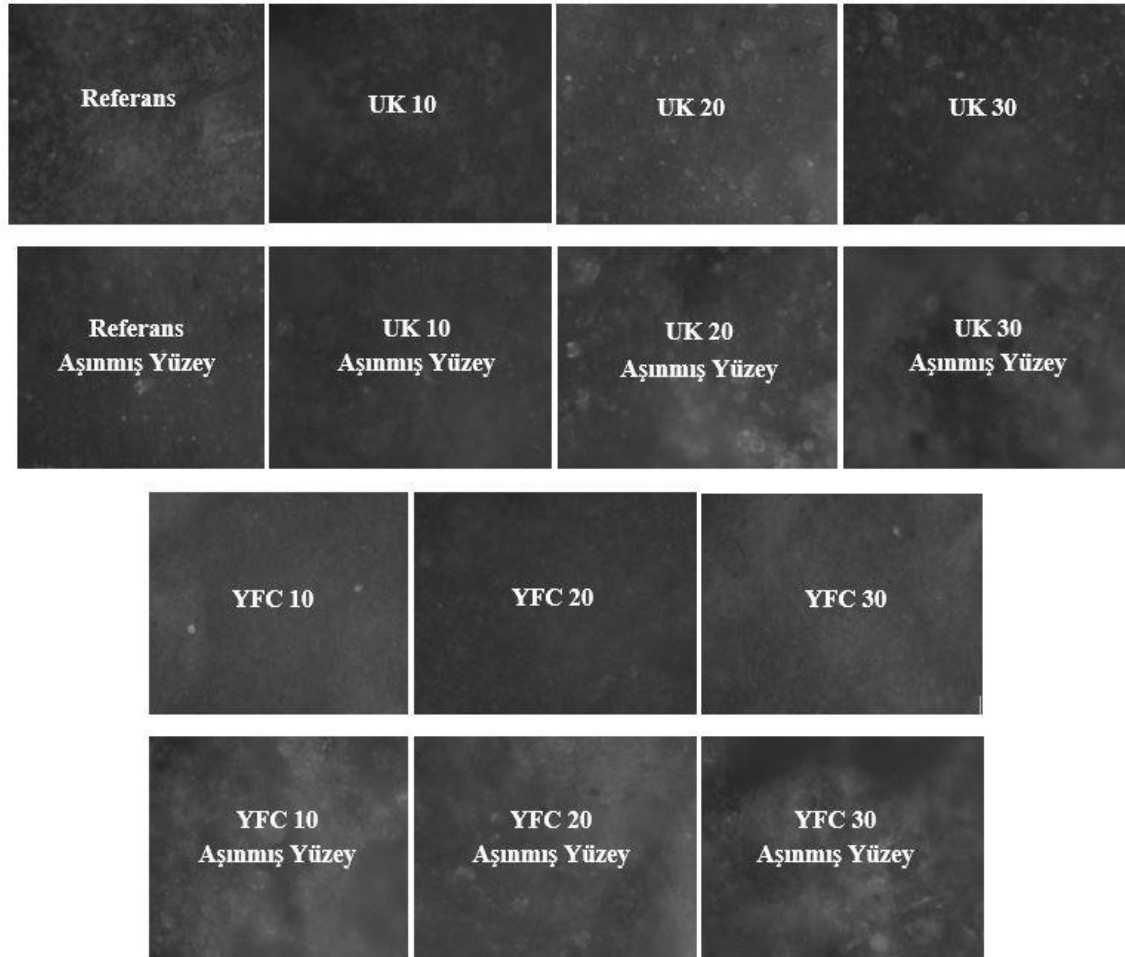
6.2.8.1. Optik mikroskop analiz sonuçları

Çalışmada 28 ve 90 günlük beton numunelerinin kumlu su jeti aşınma deneyi öncesi ve sonrasındaki durumları optik mikroskopla incelenmiştir. Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.'de optik mikroskopta 400x büyütülen numunelerin görselleri verilmiştir.



Şekil 6.12. 28 günlük beton numunelerin 400x büyütülmüş görüntüleri

Şekil 6.12.'de 28 günlük betonların optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde aşınmamış yüzeylerin tek renk ve net olduğu görülmüştür. Yüzeyin aşınmamış olmasından dolayı netlik bozulmadan mikroskop tarafından görüntü alınabilmektedir. Ancak aşınan yüzeylerin görüntülerinde alacalıklar mevcuttur. Bunun nedeni aşınma sonrasında ince agregaların görünür hale gelmesi olarak gösterilebilir. Ayrıca görüntüsü alınan yüzeyin girintili çıkıntılı kot farklarına sahip olmasından bazı bölgelerde netlik sağlanamamıştır. Görüntüler incelendiğinde Referans ve YFC 10 beton serilerinin görüntülerinde ince agregalar belirginleşmesine rağmen netlik bozulmamıştır. Bu durum aşınma sonrasında betonların yüzeylerinin az etkilenmesi olarak gösterilebilir.



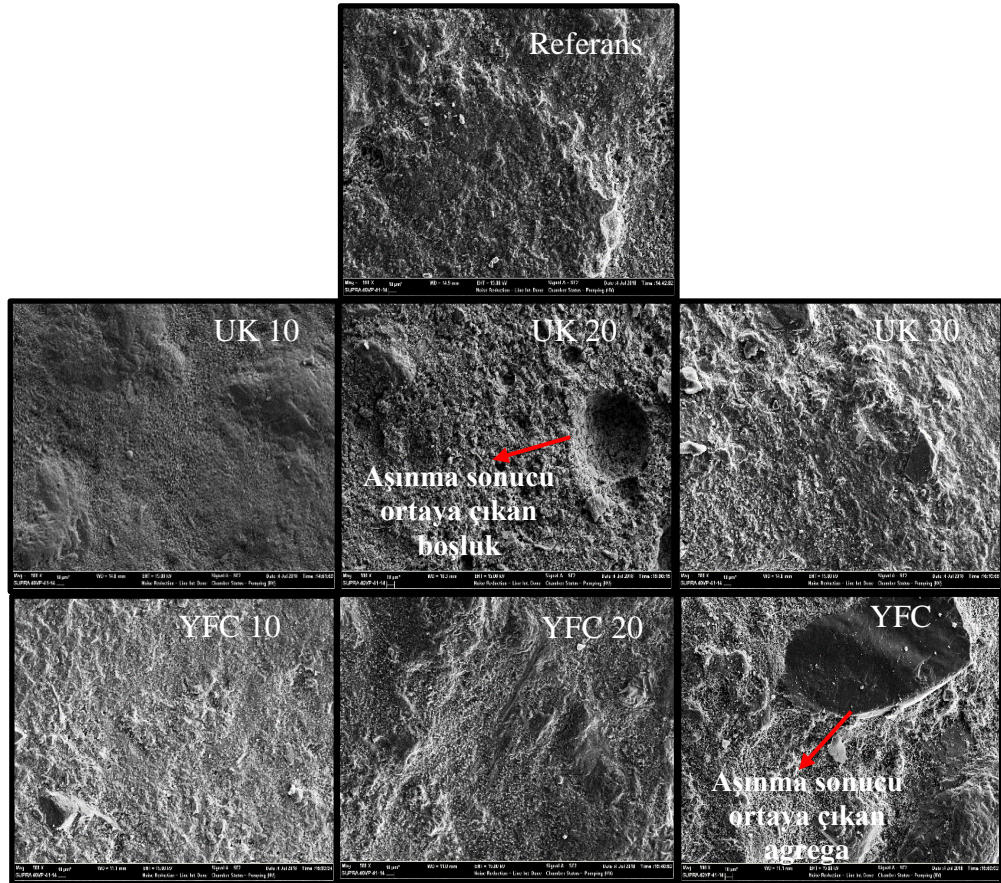
Şekil 6.13. 90 günlük beton numunelerin 400x büyütülmüş görüntüleri

Şekil 6.13.'de 90 günlük betonların optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde aşınmamış yüzeylerin 28 günlük betonlarda olduğu gibi tek renk ve net olduğu

görülmüştür. Aşınan yüzeylerin görüntüleri incelendiğinde 28 günlük betonlara göre alacalıkların daha az görüldüğü gözlemlenmiştir. Referans ve YFC 10 beton serilerinin görüntülerinde 28 günlük betonların görüntülerine göre ince agregalar daha az belirgin, netlik ise bozulmamıştır. Bu durum 90 günlük numunelerin aşınmaya karşı daha da direnç oluşturduğunun göstergesi olarak yorumlanmıştır.

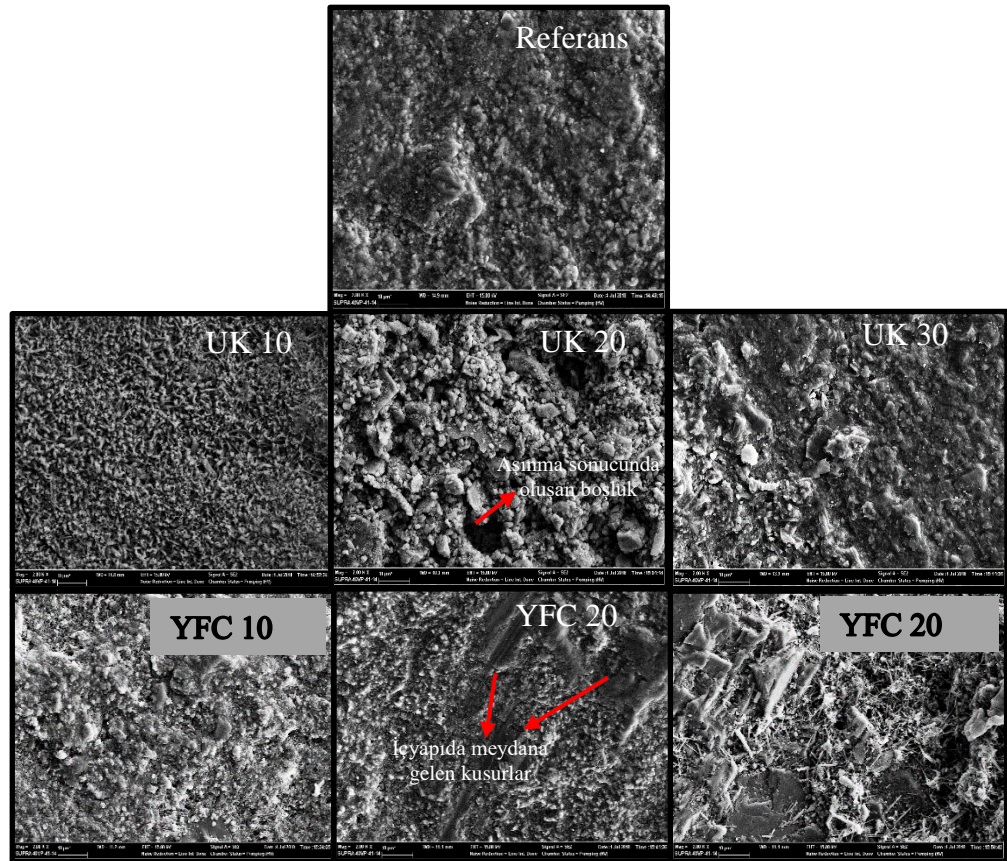
6.2.8.2. Taramalı elektron mikroskobu analiz sonuçları

Optik mikroskoba göre, elektron ışınının çok küçük dalga boyuna sahip olmasından dolayı elektron mikroskobuyla (SEM) daha yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek mümkündür (Arslan ve Kırgız, 2006). Bu nedenle çalışmadaki betonlara SEM analizi yapılmıştır.



Şekil 6.14. Aşınma sonrası beton numunelerinin 500x SEM görüntüleri

Şekil 6.14.'de aşınma deneyleri sonrasında 500x SEM görüntüleri verilmiştir. Analiz sonucunda çıkan görüntüler incelendiğinde UK 20, UK 30, YFC 20 ve YFC 30 beton numunelerinin yüzeylerinde aşınma sonucunda agregaların belirginleştiği ve beton yüzeyinde boşlukların meydana geldiği görülmektedir. Bu görüntüler bağlayıcı hamur fazının aşınarak yüzeyden ayrıldığına göstergesidir. Referans, UK 10 ve YFC 10 beton numunelerinin 500x SEM görüntülerinde ise beton yüzeyinin diğer numunelere oranla aşınmadan daha az etkilendiği görülmüştür. SEM görüntülerinde beton yüzeyinde görülen bu bozulmalar, çalışmada yapılan diğer deney sonuçlarıyla uyumlu bir ilişki göstermiştir. SEM görüntülerinde olduğu gibi basınç dayanımı ve aşınma deneylerinde de YFC 10 beton numunesi en iyi sonucu göstermiştir.



Şekil 6.15. Aşınma sonrası beton numunelerinin 2000x SEM görüntüleri

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında beton yüzeylerinin daha detaylı incelenmesi için 2000x SEM görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 6.15.). Analiz sonucunda elde edilen görüntüler incelendiğinde 2000x görüntülerde olduğu gibi UK 20, UK 30,

YFC 20 ve YFC 30 beton numunelerinin yüzeylelerinde aşınma sonucu bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Özellikle, aşınmaya maruz kalan beton yüzeyinde bağlayıcı faz ile agregalar arasında bozulmalar ortaya çıktığı Şekil 6.15.'te açık bir şekilde görülmektedir. Bu da aşınma hasarının agrega yerine öncelikle daha zayıf olan hamur fazından başladığının göstergesidir. Referans, UK 10 ve YFC 10 beton numunelerinin 2000x SEM görüntülerinde ise beton yüzeyinin diğer numunelere oranla aşınmadan daha az etkilendiği görülmüştür. Bu sonuç YFC 10 ve UK 10 karışımlarının hamur fazının daha dayanıklı olduğunu gösteren bir bulgudur. Bu bulgu Knoop sertlik sonuçlarıyla ilişkilendirildiğinde sertliğin aşınma davranışı üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. SEM görüntülerinde beton yüzeyinde görülen bu bozulmalar, çalışmada yapılan diğer deney sonuçlarıyla doğru orantılı sonuçlar vermiştir. SEM görüntülerinde olduğu gibi basınç dayanımı ve aşınma deneylerinde de YFC 10 beton numunesi en iyi sonucu göstermiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pilot araştırma yapısı olarak seçilen Porsuk Barajı'nda, oluşabilecek bir taşkın durumunda dolusavak betonunda ortaya çıkabilecek aşınma problemleri ve malzeme iyileştirme yöntemleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Dolusavaklar taşkın zamanlarında barajın statik güvenliği korumada kullanılan yapılardır. Bu nedenle dolusavak projelendirmelerinde taşkın debilerinin hesaplanması gerekmektedir. Çalışmada baraja gelen taşkın debisinin hesaplanabilmesi için baraj gövdesine gelen toplam debilerin bilinmesi gerekmektedir. Alan oranı metodu ile baraja gelen debi değerleri hesaplanmıştır. Bu metot dışında debi değerleri bir çok farklı yöntemle farklı bir noktaya taşınabilmektedir. Bu çalışmada uygulanan alan oranı metodu dışında farklı yöntemler uygulanarak debi değerleri ölçüm yapılmamış farklı bir noktaya taşınabilir.
- Bu çalışmada, Porsuk barajına gelen 500 yıl tekerrür periyotlu taşkın debisi LPTIII istatistiksel metodu kullanılarak $111,76 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Bu yöntem literatürde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. İstatistiksel açıdan hata oranı oldukça düşük olan bu yöntem dışında taşkın debisinin hesaplanabildiği farklı yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemler çalışmaya alternatif olarak taşkın debisinin hesaplanmasına kullanılabilir.
- Kumlu su jeti aşınma deneyinde parametrelerinin belirlenmesinde baraja gelen taşkın debi değeri kullanılarak Reynolds Transport Teoremi uygulanmıştır. Bu teoreme atmosfer basıncı, akışın ideal kabul edilmesi gibi birçok kabul varsayılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada uygulanan yöntem farklı bir bakış açısı olarak Lagrange ve Euler yaklaşımları kullanılarak deney parametreleri model çalışması uygulanarak hesaplanabilir.
- UK ve YFC'nin yüksek oranda kullanıldığı beton karışımlarında taze beton işlenebilirliğinin olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Bu duruma, çalışmada kullanılan puzolanik malzemelerin özgül yüzey alanlarının çimentoya göre daha yüksek olması etken olduğu düşünülmektedir.

- Farklı oranlardaki UK ve YFC katkılı betonların basınç dayanımı davranışları incelendiğinde referans betonuna göre en yüksek dayanım artışı %11,72 ile 28 günlük YFC 10 numunesinde elde edilmiştir. Bu duruma puzolonik etkiden ziyade YFC'nin özgül yüzey alanının çimentoya göre daha yüksek olması ve buna bağlı olarak beton gözenekliliğinin azalmasının neden olduğu söylenebilir.
- Betonların Knoop sertlik değerleri ile basınç dayanımı ve aşınma direnci sonuçları birbiriyle ilişkili olduğu görülmüştür. Kısaca basınç dayanımı ve aşınma direnci iyi olan betonların Knoop sertlik değerleri de yüksek çıkmıştır.
- Çalışmada 3 farklı aşınma deneyi uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre en iyi aşınma direnci gösteren betonun YFC 10 beton serisi olduğu görülmüştür. Beton su yapılarında suyun etkisi altında aşınma direncinin oldukça önemli olduğu özellikle taşkın zamanlarında meydana gelen yüksek hızlardaki suyun etkisi altında bulunan betonlarda aşınmaya karşı dirençli beton kullanılması önerilmektedir.
- Betonların basınç dayanımı ve aşınma kayıpları arasında ters orantılı bir ilişki olduğu deney sonuçlarından görülebilmektedir. Mikroyapı incelemelerinde buna neden olarak çimento fazı ve agrega ara yüzeyindeki bağın düşük dayanımlı ve düşük yüzey sertliğine sahip betonlarda daha zayıf olması etkin olmuştur. Buna bağlı hasar gelişiminde daha sert olan agrega tanelerinin beton yüzeyinde belirgin hale geldiği bağlayıcı fazın ise aşınarak bozulduğu görülmüştür. Bu hasarlar YFC katkılı betonlarda daha az oranda görülmüştür.
- Bu çalışmada, abrasif aşınma etkisi altındaki beton su yapılarında çimento yerine ağırlıkça %10 oranında YFC mineral katkı kullanımının betonun fiziksel, mekanik ve aşınma özellikleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır.
- Baraj betonu tasarımında mineral katkı kullanımıyla birlikte, betonun hacim sabitliği, hidrasyon ısısı gelişimi ve beton üretim maliyetlerinde ciddi kazanımlar elde edilebilecektir. Ayrıca kütle betonlarında yoğun olarak kullanılan çimento miktarının azaltılması ve endüstriyel atık malzemelerin betonda bileşen olarak kullanımıyla çevreye zararlı gaz ve katı atıkların doğaya verdikleri zararlar azaltılabilecektir.

- Bu çalışmanın devamı olarak farklı mineral katkıların farklı oranlarda ve daha ileri yaşta beton numuneleri üzerinde aşınma problemleri incelenebilir. Ayrıca aşınma dışında dolusavak betonların ıslanma-kuruma ve donma-çözünme gibi kalıcılık özellikleri de incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Albek, E. A., Göncü, S., “Aşağı Porsuk Çayı Havzasında İklim Değişikliğinin Hidrolojik Çevrime ve Su Kalitesine Etkilerinin HSPF Modeli Kullanarak İncelenmesi ve En İyi Su Yönetimi Stratejilerinin Belirlenmesi”, TÜBİTAK ÇAYDAĞ Projesi, Proje No: 108Y091, (2011).
- Algancı U., Coşkun H. G., Eriş E., Ağırlioğlu N., Cığızoğlu K., Yılmaz L., Z. Toprak F., “Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesine Yönelik Uzaktan Algılama ve CBS İle Hidrolojik Modelleme”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Mayıs (2009).
- Anonim, “Zap Suyu Havzası Master Plan Raporu”, *Elektrik İşleri Etüt İdaresi*, Gizbili Mühendislik Firması, Ankara, (1987).
- Arslan, M., Kırgız, M.S., “Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimentoda mineralojik katkı olarak kullanılması”, TÜBİTAK Projesi, Proje No: MAG-HD15 (150M086), Ankara, (2006).
- Asquith, W.H., Roussel, M.C., Vrabel, J., “Statewide analysis of the drainage-area ratio method for 34 streamflow percentile ranges in Texas: U.S.”, *Geological Survey Scientific Investigations Report*, 34(1): 2006–5286 (2006).
- ASTM C0418-12, “Standard test method for abrasion resistance of concrete by sandblasting”, *ASTM International*, West Conshohocken, (2013).
- ASTM C1138, “Standart test method for abrasion resistance of concrete (Underwater Method)”, *ASTM International*, West Conshohocken, (1997).
- Bakış, R., Altan, M., Gümüslüoğlu, E., Tuncan, A., Ayday, C., Önsoy, H., Olgun, K., “Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Enerji Üretimi Yönünden İncelenmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), (2008).
- Bakış, R., Bayazıt, Y., “Seydisuyu Havzasında Küçük Ölçekli Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması”, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Dergisi*, (2015).
- Bakış, R., Bilgin, M., Tuncan, A., Altan M., “Porsuk Havzasındaki Çok Amaçlı Barajlardan Elektrik Üretiminin Araştırılması”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), (2009).
- Bakış, R., Göncü, S., “Akarsu Debi Ölçümlerinde Eksik Verilerin Tamamlanması: Zap Suyu Havzası Örneği”, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Dergisi*, 16(1): 63-79 (2015).
- Ballance, A., Stephenson, D., Chapman R. A., Muller, J., “A geographic information systems analysis of hydropower potential in South Africa”, *Journal of Hydroinformatics*, IWA Publishing, 2(4): 247-254 (2000).

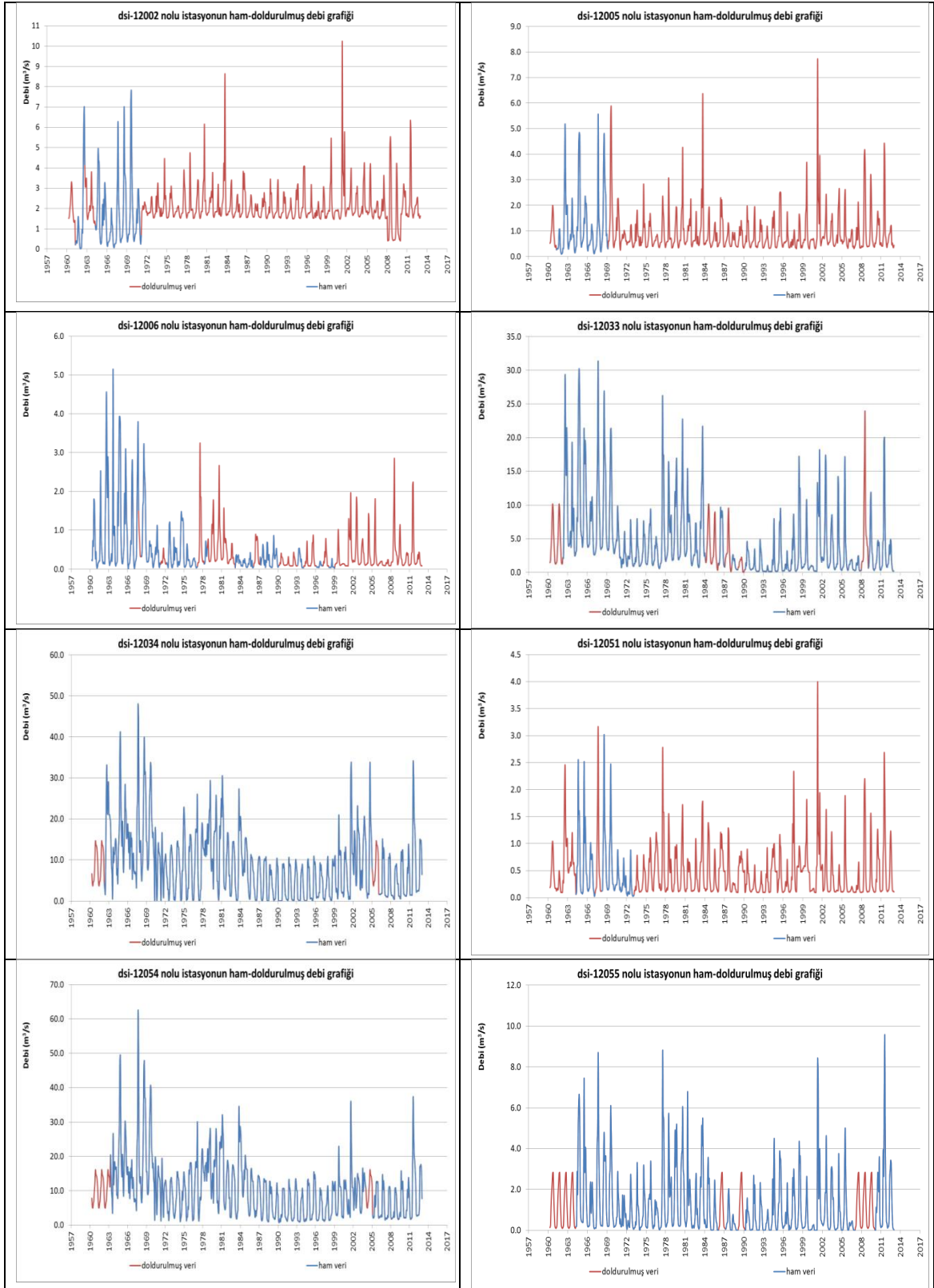
- Bayazıt, Y., Bakış, R., Koç, C., Kaya, T., “Porsuk Çayı’nın Eskişehir İli Taşkın Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Oluşturulması”, *Uluslararası Katılımlı 4. Ulusal Baraj güvenliği Sempozyumu*, Elazığ, (2014).
- Bayram, T., “Mezopotamya ve Levant’ta Suyun Tarihi ve Susuzluk”, [www.http://arkeofili.com/mezopotamya-ve-levantta-suyun-tarihi-ve-susuzluk/](http://arkeofili.com/mezopotamya-ve-levantta-suyun-tarihi-ve-susuzluk/), (Erişim tarihi 20.11.2018)
- Beard, L.R., “Flood flow frequency techniques”, *Center for res.in water resour*, Univ. of Texas. Austin, Tex., (1974).
- Benson, M.A., “Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies”, *Water. Resour. Res.*, 4(5): 212-230 (1968).
- Bergström D. and Malmros C., “Finding Potential Sites for Small-Scale Hydro Power in Uganda: a Step to Assist the Rural Electrification by the Use of GIS”, A Minor Field Study Degree-thesis in Physical Geography and Ecosystem Analysis (Supervisors) Ulrik Mårtensson and Petter Pilesjö, *Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis Lund University*, 2005.
- Büyükerşen, Y., Efelerli, S. S., “Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneği”, *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, (2008).
- Çabuk, S. N., Bakış, R., Göncü, S., Gümüüşoğlu, E., Çabuk, A., “Investigation of hydroelectric energy potential of the Zab River Basin using geographic information systems and remote sensing methods”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, (2013).
- Demirkesen, A.C., “Günümüzde Uzaktan Algılama Uygulamalarına Genel Bir Bakış”, *TMMOB Hartia ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 12, Ankara, (2007).
- DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, (2015).
- DSİ, “Porsuk Havzası Su Yönetim Planı Projesi Hidroloji Raporu”, Eskişehir, (2001).
- DSİ, “Porsuk Nehri Su Yönetim Planı Nihai Raporu”, (2002).
- DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (<http://www.dsi.gov.tr>), Ankara, (2015).
- Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ., Kocaman, B., “Baraj Yıkılması Sonrasında İki Boyutlu Taşkın Yayılımının Yerleşim Bölgeleri İçin Modellenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, 7955-7975, Yazı 482, (2017).
- EM-DAT, The OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net-Univeriste Catholique de Louvain, Brussel, Belgium, (2018).
- Emerson, D.G., Dressler, V.M., “Historic and unregulated monthly streamflow for selected sites in the Red River of the North Basin in North Dakota, Minnesota,

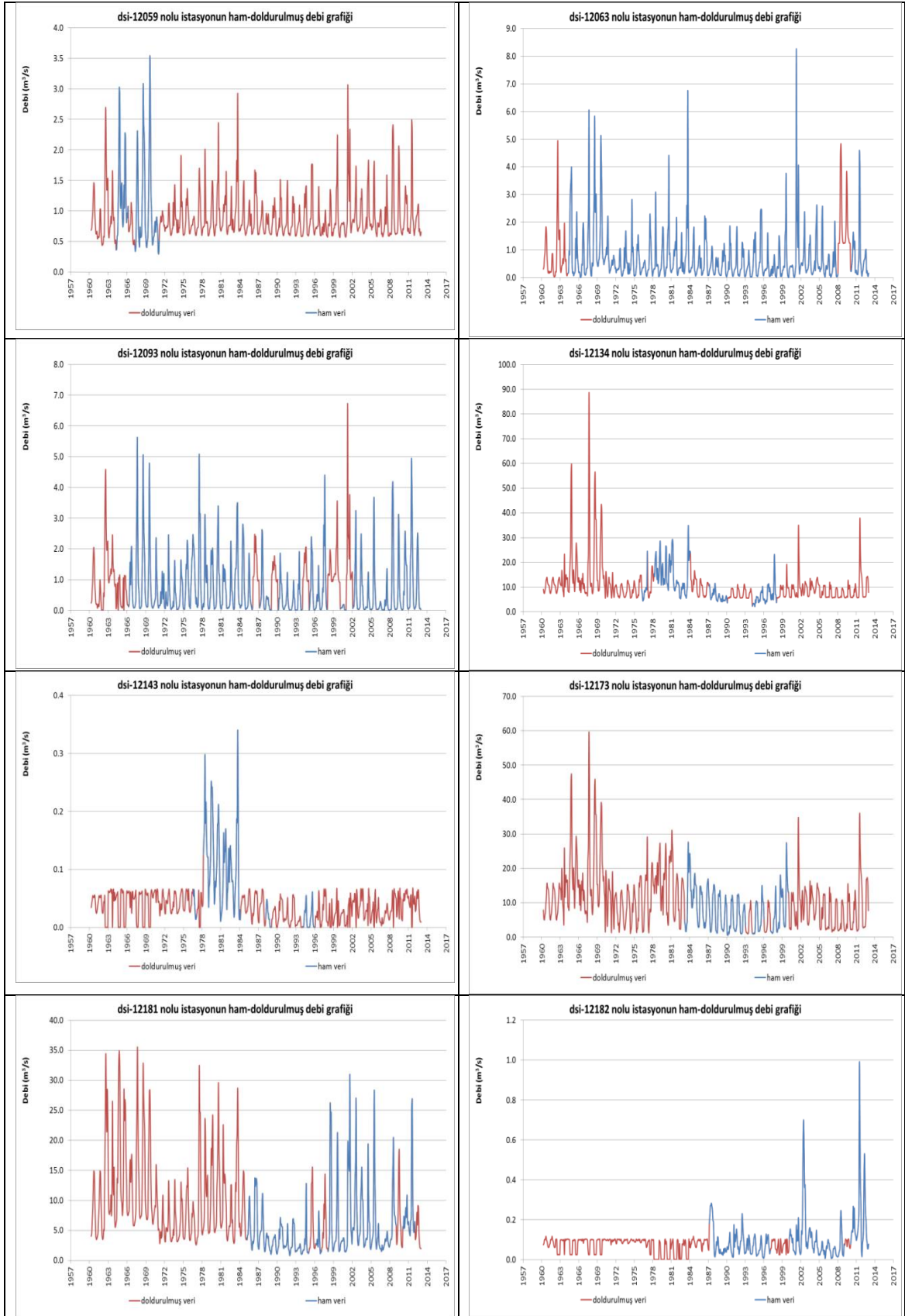
- and South Dakota”, 1931-99: U.S. *Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 02-4095, 271., (2002).
- Erdoğan, T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, 1. Baskı, (2003).
- Eskişehir Valilik, Eskişehir Valiliği Sayılarla Eskişehir, <http://www.eskisehir.gov.tr/tr/eskisehir-rehberi/sayilarla-eskisehir.html>, (2015).
- ESO, Eskişehir Sanayi Odası (<http://www.eso.org.tr/>), Eskişehir, (2015).
- Galvao, A.C.J., Portella, F.K., Kormann, M.C.A., “Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair Materials”, *Abrasion Resistance of Materials*, (2012).
- Geiger, “Porsuk Barajı”, *Arkitekt Dergisi*, 1949(3-24), 61-65,88 (1949).
- Haan, C.T., “Statistical Methods in Hydrology”, *Iowa State University Press*, Ames., (1977).
- Horszczaruk, E. K., “Hydro-abrasive erosion of high performance fiber-reinforced concrete”, *Wear*, Vol:267, ss. 110-115, doi: 10.1016/j.wear.2008.11.010, Elsevier, (2009).
- Hortness, J.E., “Estimating low flow frequency statistics for unregulated streams in Idaho”, *US Geol. Survey. Sci. Invest.Report*, 2006-5035, (2006).
- IACWD (Interagency Advisory Committee on Water Data), Guidelines for Determining Flood Frequency, *Bulletin#17B of Hydrology Subcommittee, Office of Water Data Coordination*, US Geological Survey, Reston, V.A., (1982).
- IFRCRCS, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, World Disaster Report, Switzerland, (2018).
- Julio A, Máximo P., Alessandro D., Alberto., E., “A GIS integrated tool to evaluate the residual potential hydropower production at watercourse scale”, *13th IWRA World Water Congress*, (2008).
- Karen A.Ş., “Balkusan Barajı ve HES Projesi”, *ÇED dosyası*, Konya, (2008).
- Kehreman B., “Bekhme Dam”, published by Envirozan, <http://www.envirozan.info> (Erişim Tarihi: 25.10.2011).
- Kozjek, D., Pavlovcic, U., Kryzanowski, A., Sustersic, J., Jezersek, M., “Three-Dimensional Characterization of Concrete’s Abrasion Resistance Using Laser Profilometry”, *Journal of Mechanical Engineering*, 61(5): 311-318 (2015).
- Kryžanowski, A., Mikoš, M., Šušteršič, Y., Ukrainczyk, V., Planinc, I., “Testing of Concrete Abrasion Resistance in Hydraulic Structures on the Lower Sava River”, *Journal of Mechanical Engineering*, 58(4): 245-254. ISSN 0039-2480., (2012).

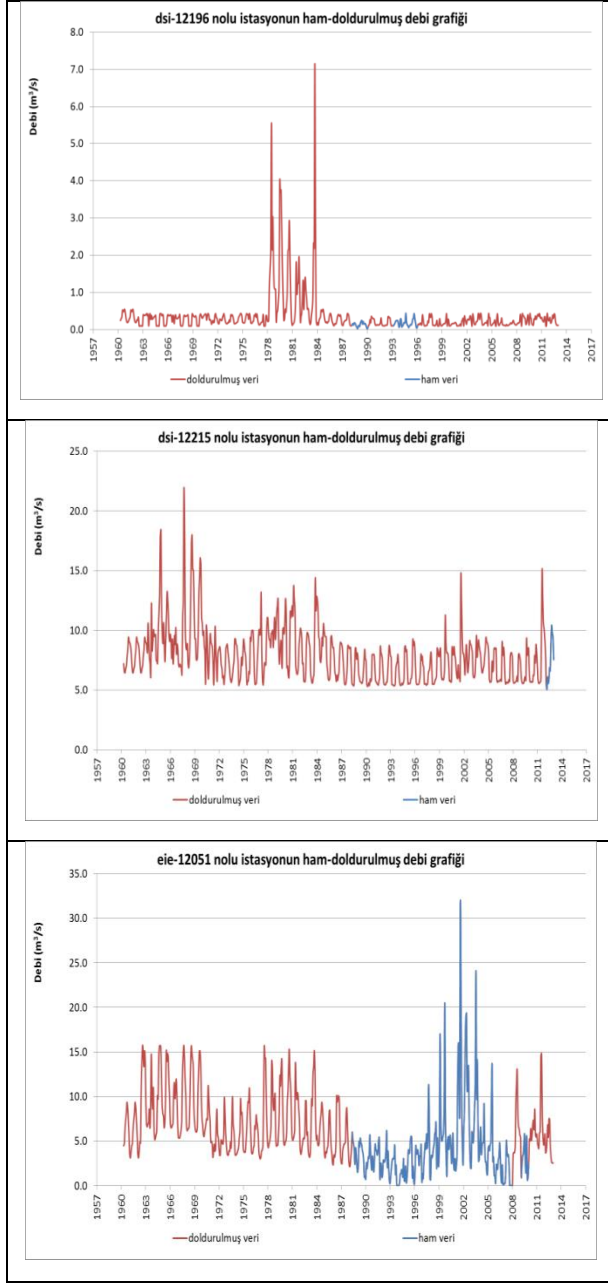
- Kumar A. and Singhal M. K., “Hydro power assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques”, *Alternate Hydro Energy Centre, University of Roorkee*, Hydro power assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques.mht, GISdevelopment.net Application Utility, (2009).
- KUTSO, Kütahya Sanayi ve Ticaret Odası (<http://www.kutso.org.tr/>), Kütahya, (2015).
- Liu, Y.W., Yen, T., Hsu, T. H., “Abrasion erosion of concrete by water-borne sand”, *Cement and Concrete Research*, 36: 1814-1820, doi: 10.1016/j.cemconres.2005.03.018, Elsevier, (2006).
- McMahon, T.A. ve Srikanthan, R., “LP3 distribution-is it applicable to flood frequency analysis of Australian streams?”, *J. Hydrol.*, 52: 139-149 (1981).
- Mohamoud, Y.M., “Prediction of Daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves”, *IAHS Press*, 53(4): 706-724 (2008).
- Momber, A.W., “Wear of rocks by water flow”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Elsevier, 41: 51-68 (2004).
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Türkiye Jeoloji Haritası (1/500.000 ölçekli), (2002).
- Özel, S., “Porsuk Barajı’nın Hikayesi”, Eski *Yeni Aylık Şehir Kültür Dergisi*, T.C. Eskişehir Valiliği, 4(46), ISSN: 1309-1956, 44-48., Aralık (2012).
- Pathak, M., “Application of GIS and Remote Sensing for Hydropower Development in Nepal”, *Hydro Nepal*, 3: 1-4 (2008).
- Rao, A.R., Hamed, K.H., “Flood Frequency Analysis”, *CRS Press*, USA, (2000).
- Scott, B.D., Safiuddin, M.D., “Abrasion Resistance of Concrete-Design Construction and Case Study”, *Concrete Research Letters*, 6(3), (2015).
- Subramanya, K., “Engineering Hydrology”, *Tata McGraw Hill.*, New Delhi, (1997).
- TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, “Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)”, Malzeme Teknolojisi, URL: <http://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/148-malzeme-teknolojisi-sss/948-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>, (Erişim tarihi: 12.10.2018)
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, “Türkiye’deki Büyük Su Havzaları”, *Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü*, Ekim, (2012).
- Tefera B. and Stroosnijder, L., “Integrated watershed management: A planning methodology for construction of new dams in Ethiopia”, *Lakes & Reservoirs, Research and Management*, 12: 247– 259 (2007).

- Torun, G., “Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Havza Planlaması ve Yönetimi: Alibey İçme Suyu Havzası Örneği”, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama A.B.D., *Kentsel Planlama Programı*, Ocak, (2008).
- TS EN 12350-2, “Beton – Taze beton deneyleri ”, *TSE*, (2010).
- TS EN 12350-6, “Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk”, *TSE*, (2010).
- TS EN 12390-3, “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini”, *TSE*, (2012).
- TS EN 12390-7, “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini”, *TSE*, (2010).
- TS EN 12504-4, “Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini”, *TSE*, (2012).
- TS EN 1097-2, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için metotlar”, *TSE*, (2010).
- TS EN 1097-6,” Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler”, *TSE*, (2002).
- TS EN 933-1, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu”, *TSE*, (2012)
- TS 706 EN 12620, “Beton agregaları”, *TSE*, (2009).
- TS 2824 EN 1338/DIN 52108, “Zemin döşemesi için beton kaplama blokları gerekli şartlar ve deney metotları”, *Türk Standardı*, (2005).
- TUİK, Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>, Ankara, (2015).
- USACE, “Engineering and Desing Hydrologic Frequency Analysis”, *Department of Army*, EM-1110-2-1415, USA, (1993).
- Wang, X., Luo, S., Liu, G., Zhang, L., Wang, Y., “Abrasion test of flexible protective materials on hydraulic structures”, *Water Science and Engineering*, 7(1): 106-116 (2014).
- Yanık, B. Avcı, İ., “Bölgesel Debi Süreklilik Eğrilerinin Elde Edilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi /D Mühendislik*, 4(5): 19-30 (2005).
- Yiğitbaşoğlu, H., “Türkiye’deki Barajlar”, *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafya Araştırma ve Uygulama Merkezi*, Ankara, (1996).

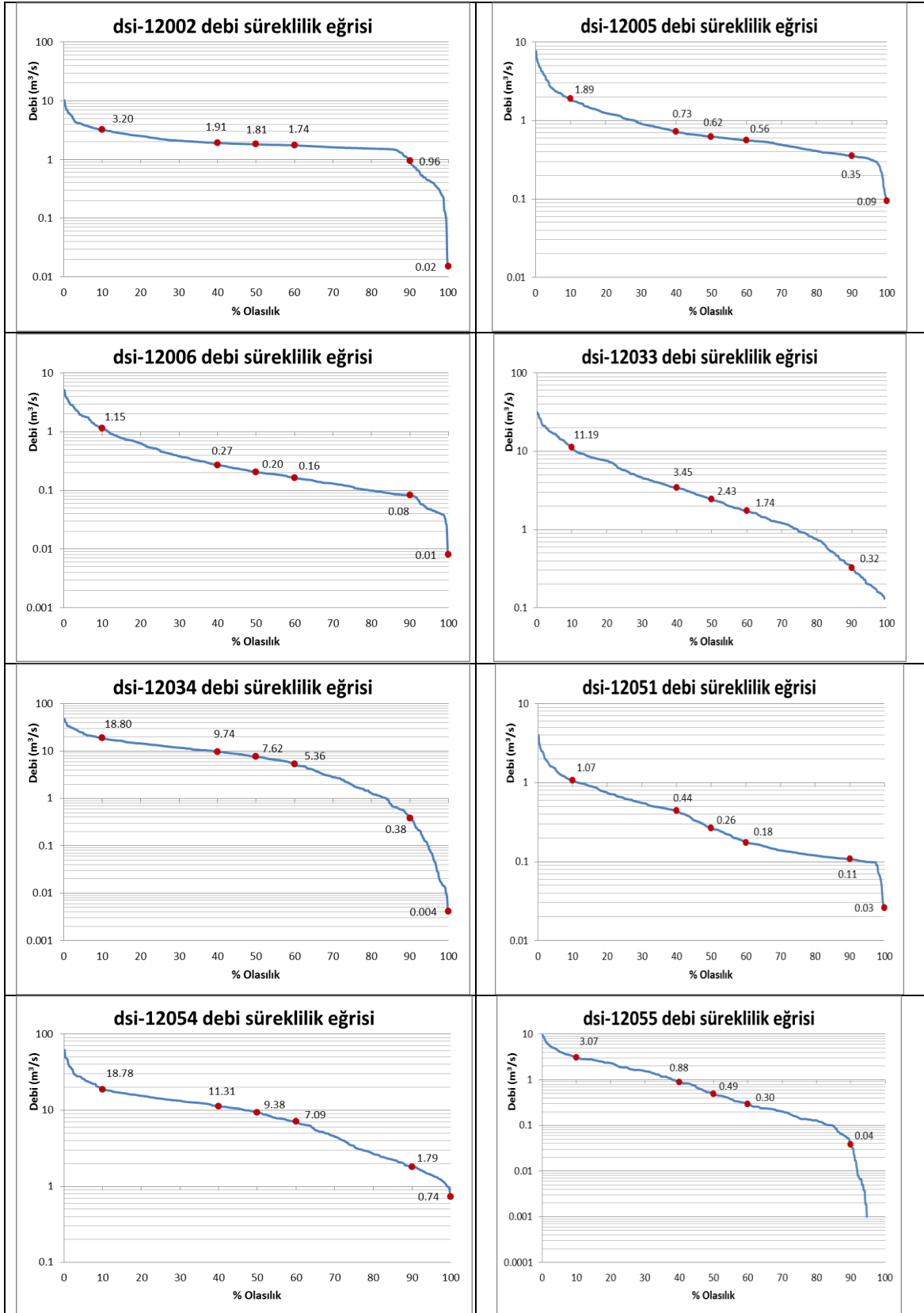
EK-1: AGİ'lerin debi gidiş eğrileri

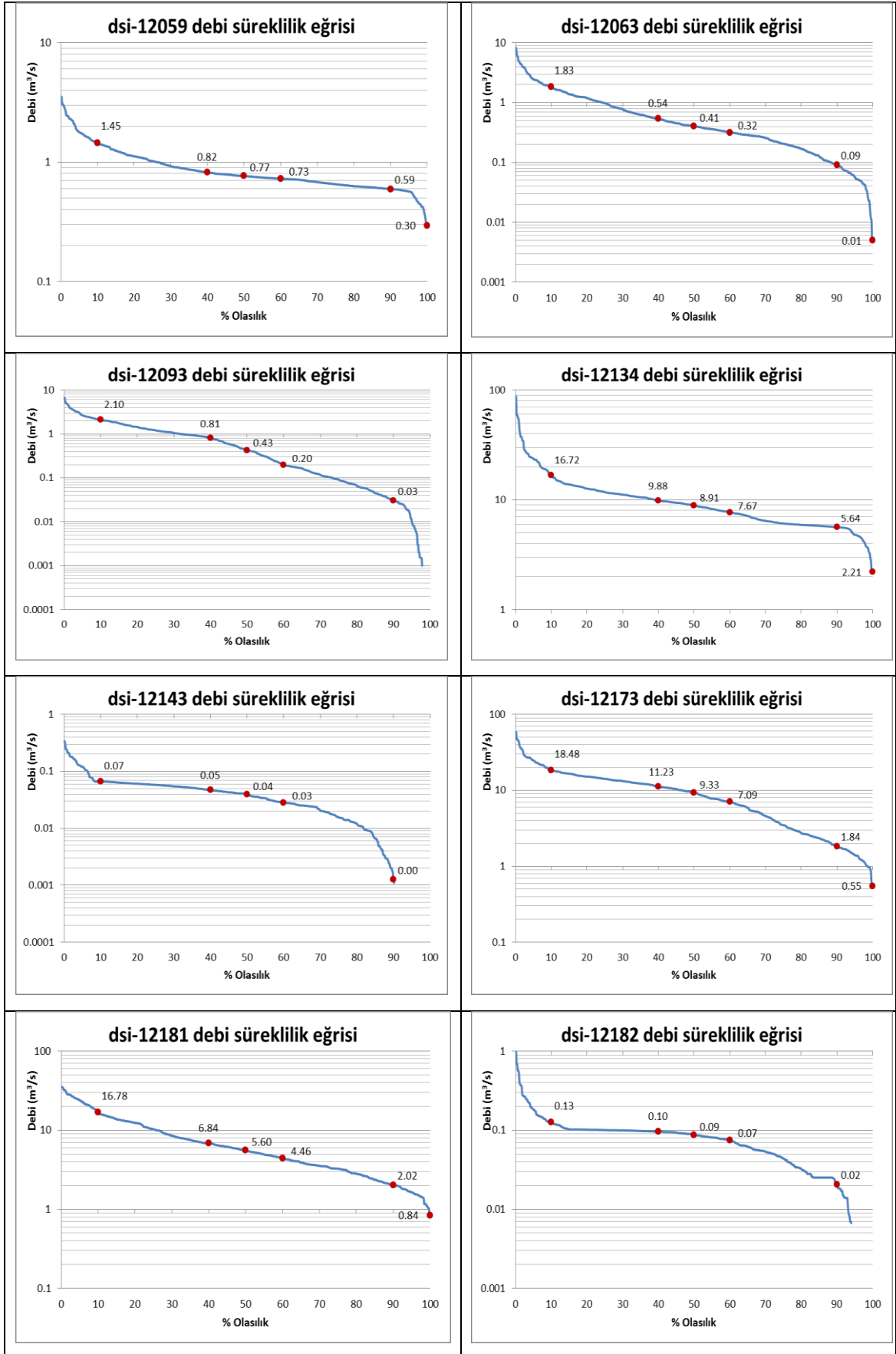


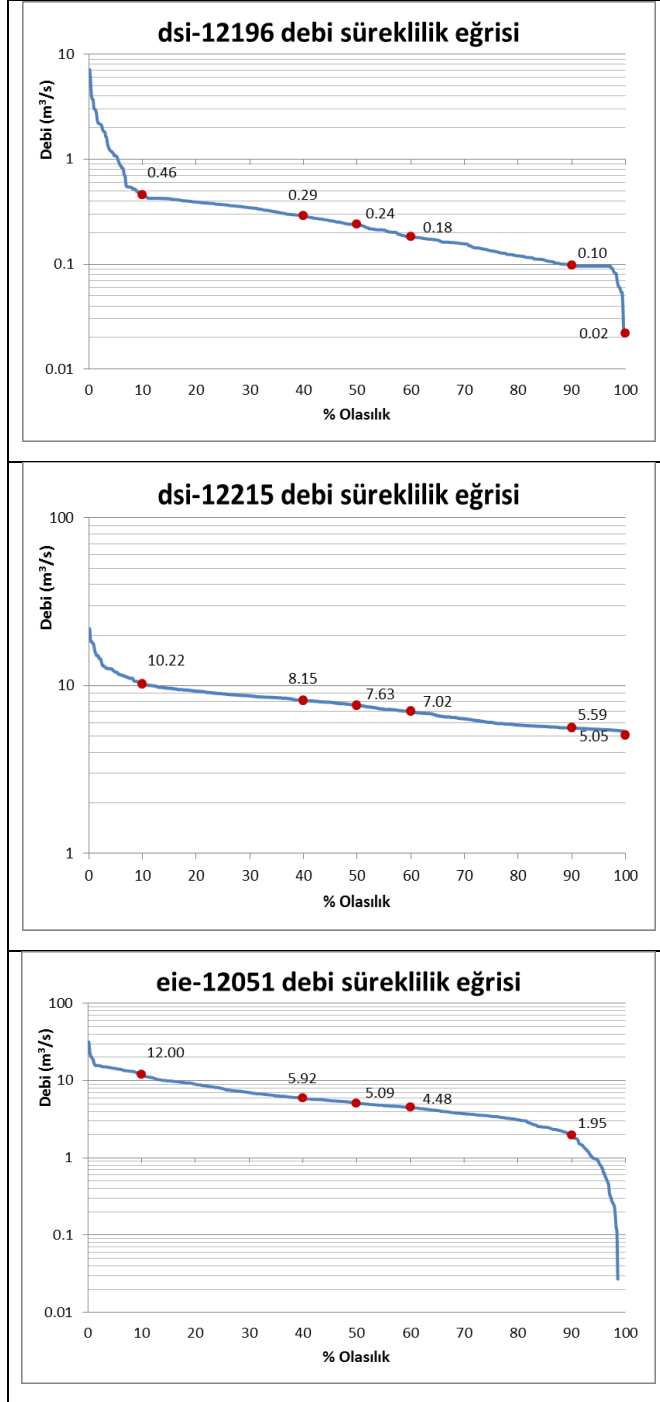




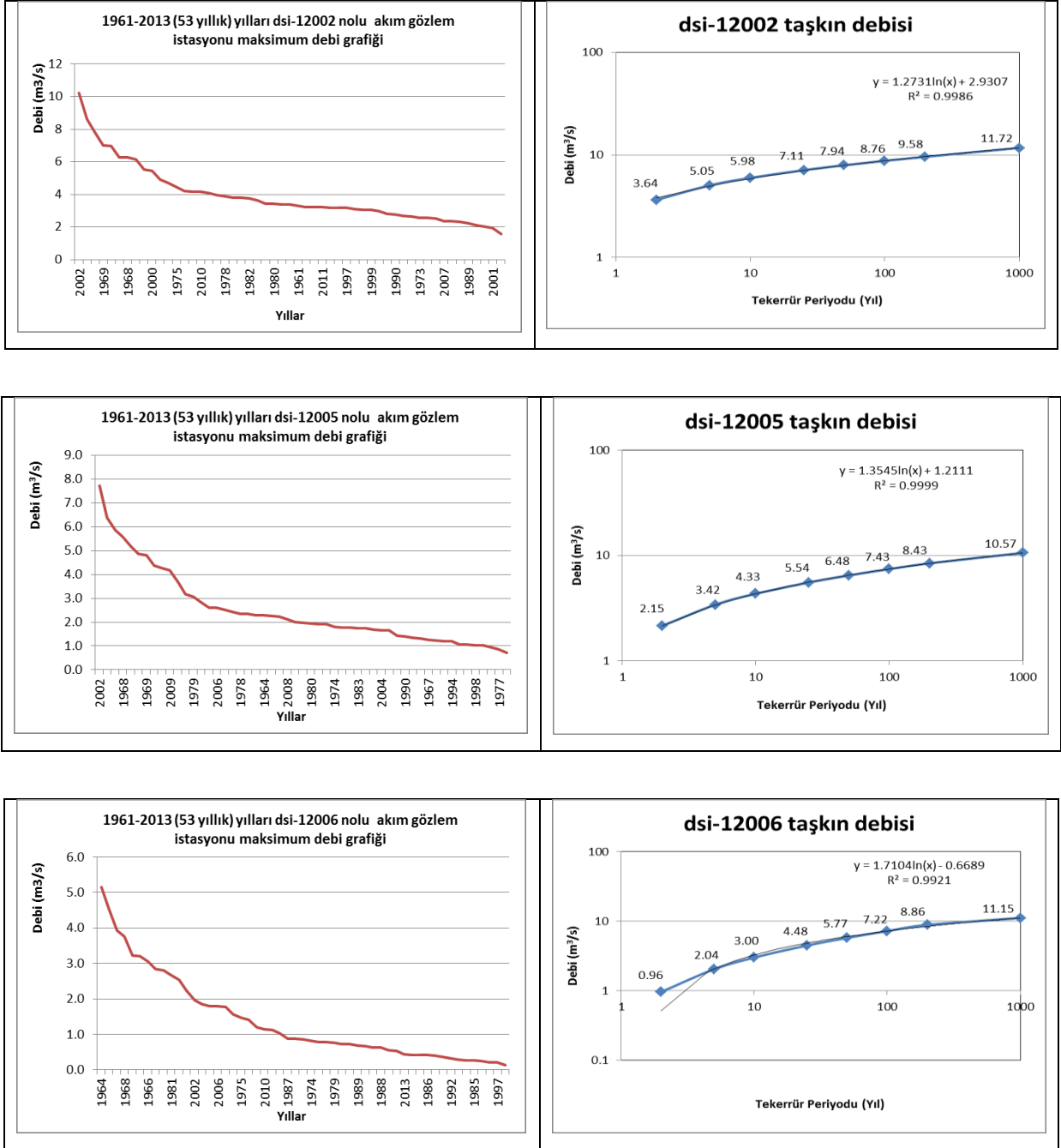
EK-2: AĞI'lerin debi süreklilik eğrileri

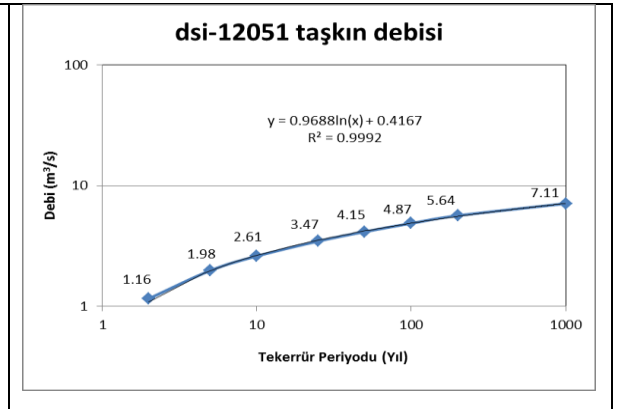
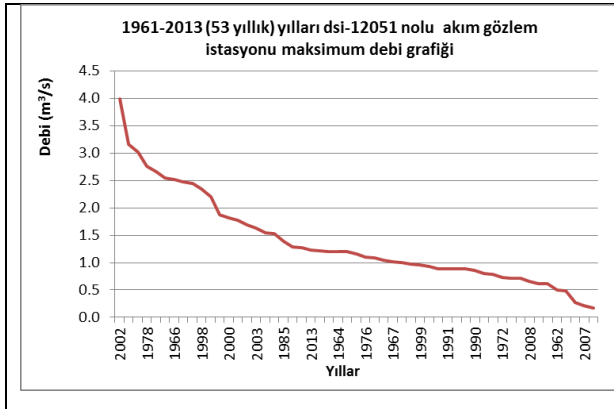
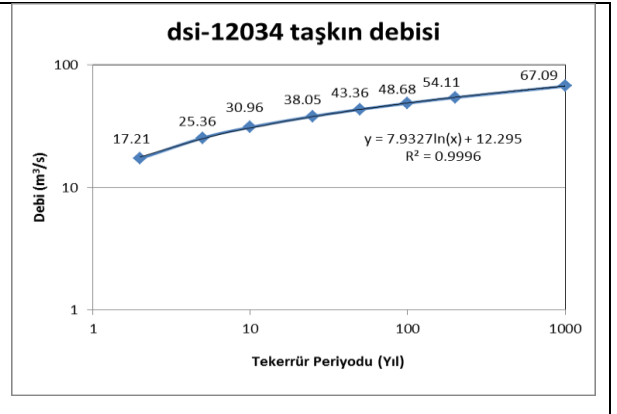
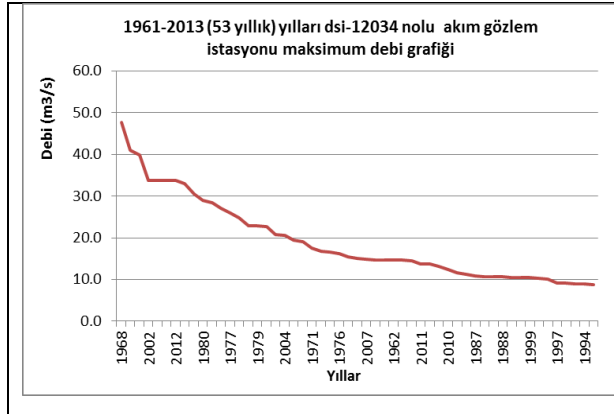
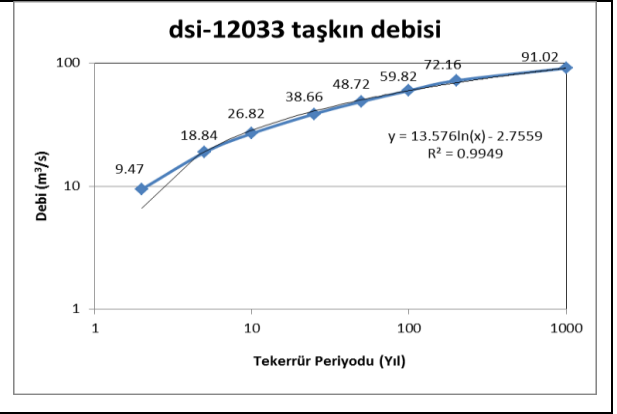
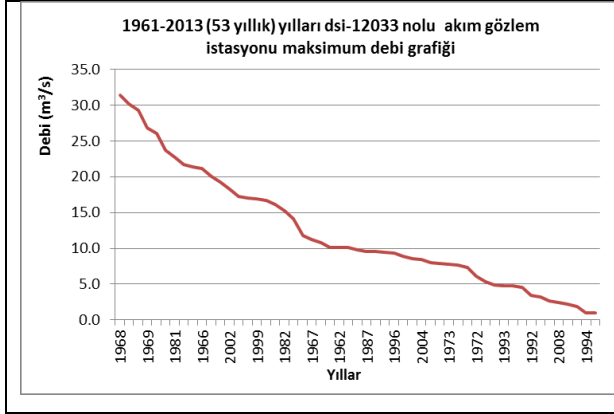


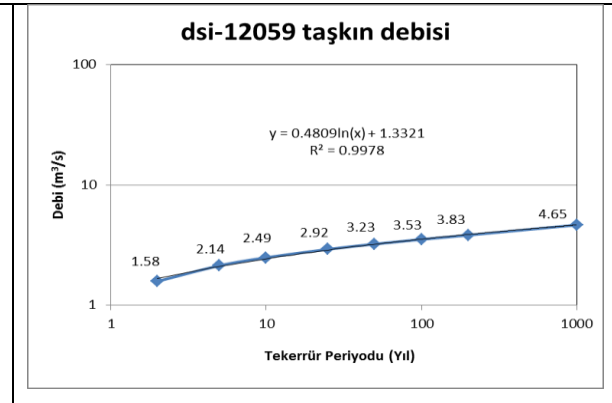
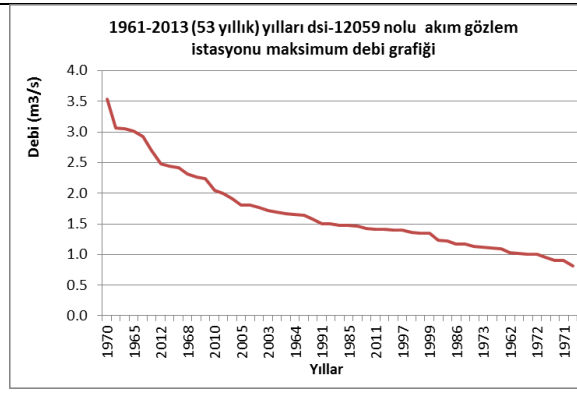
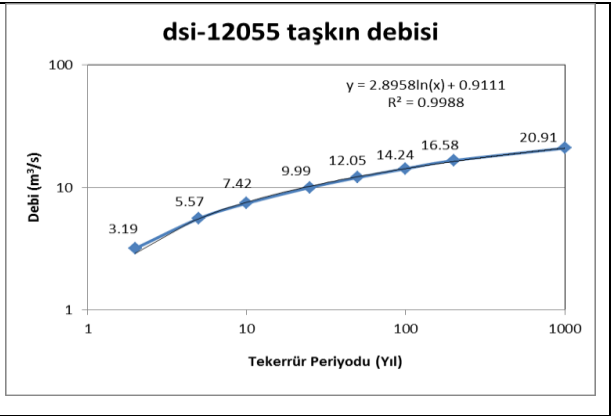
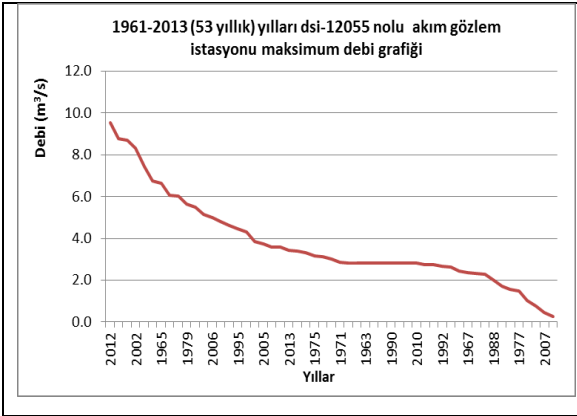
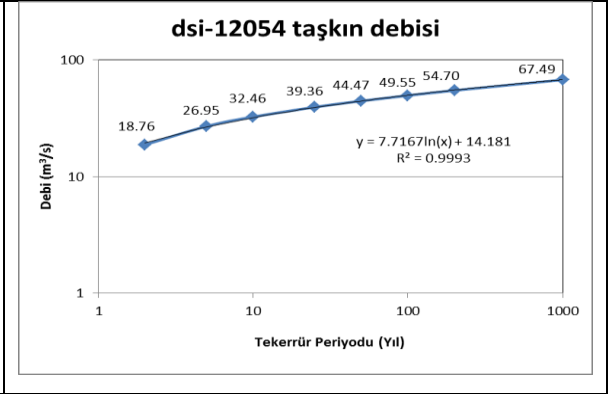
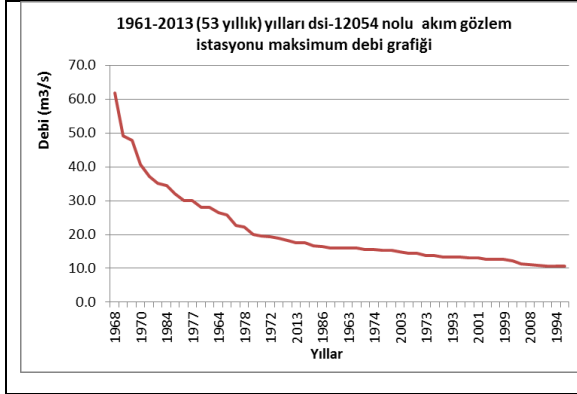


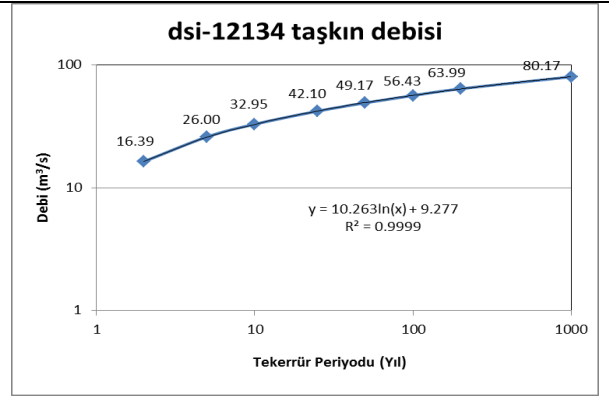
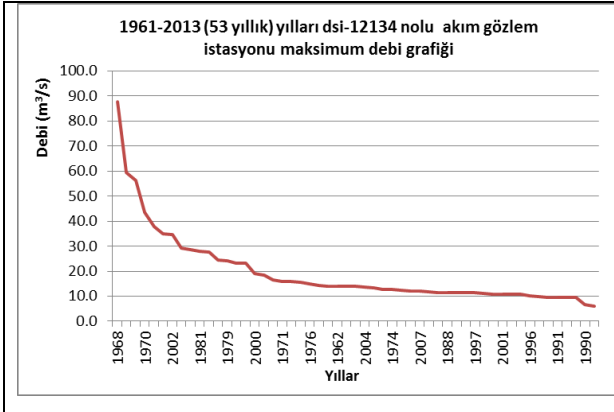
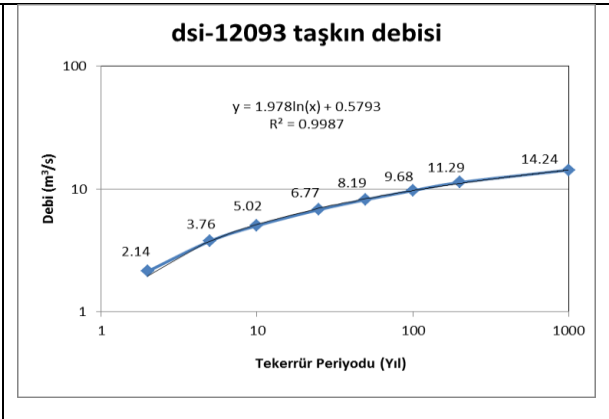
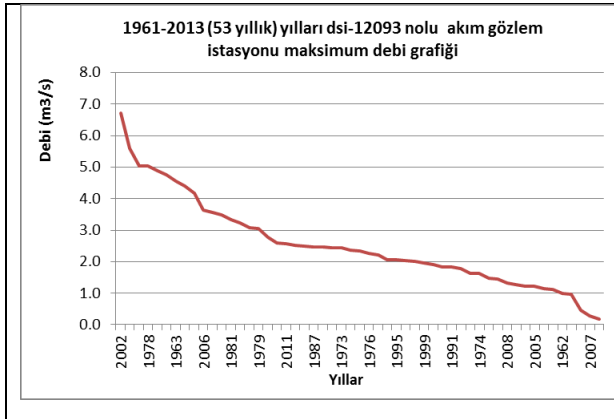
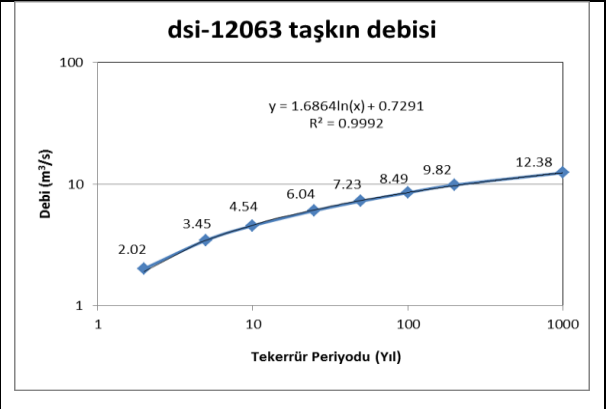
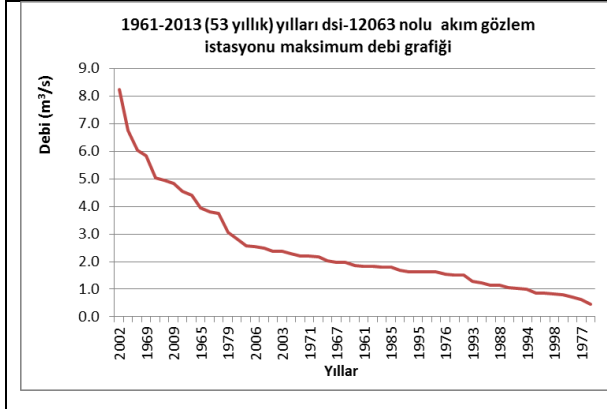


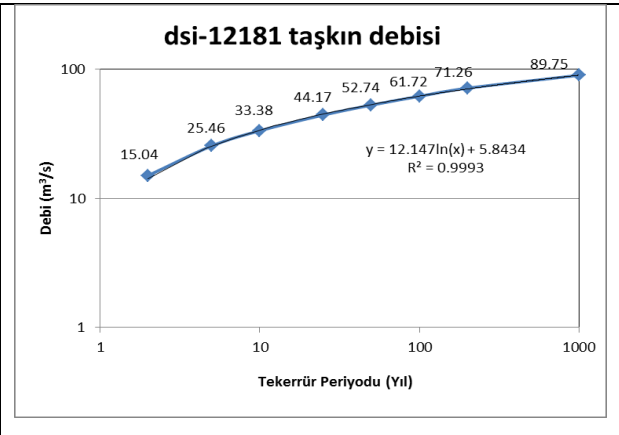
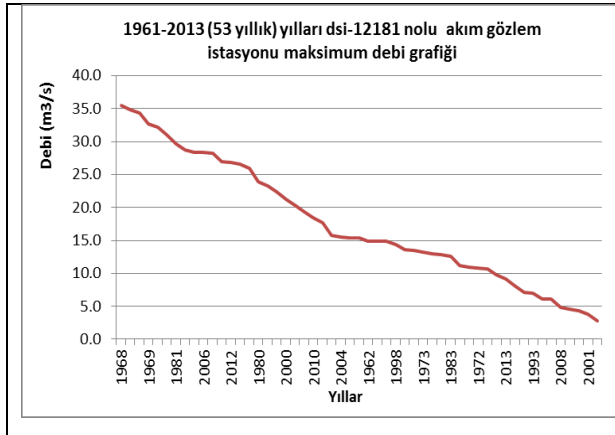
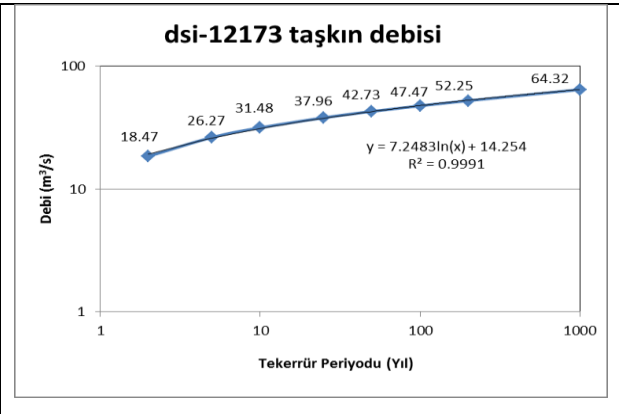
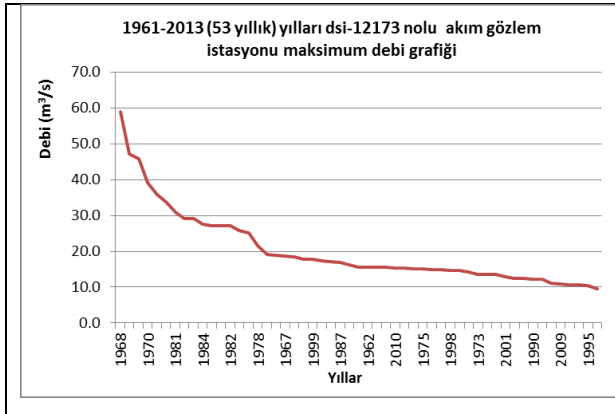
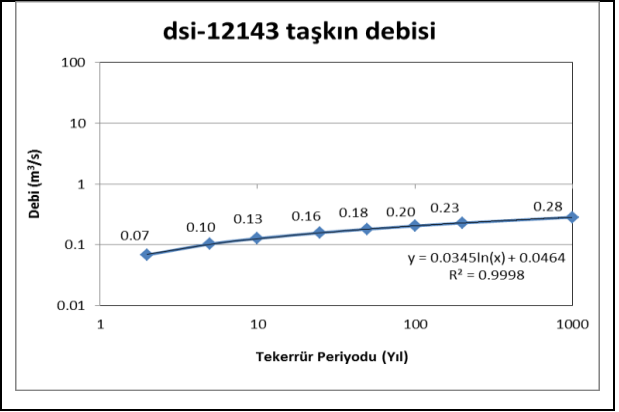
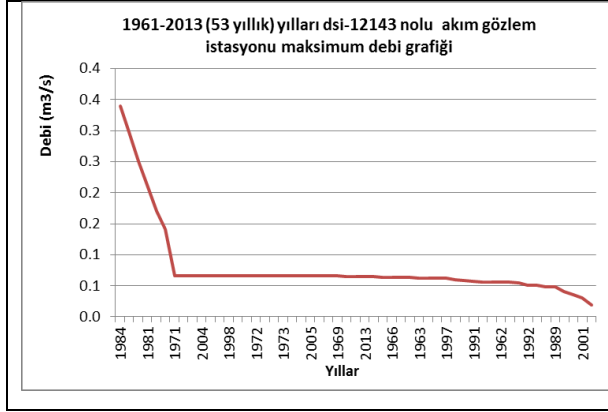
EK-3: AGİ'lerin taşkın büyüklükleri

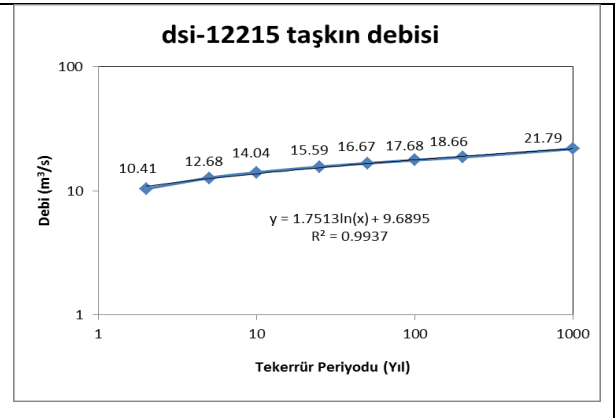
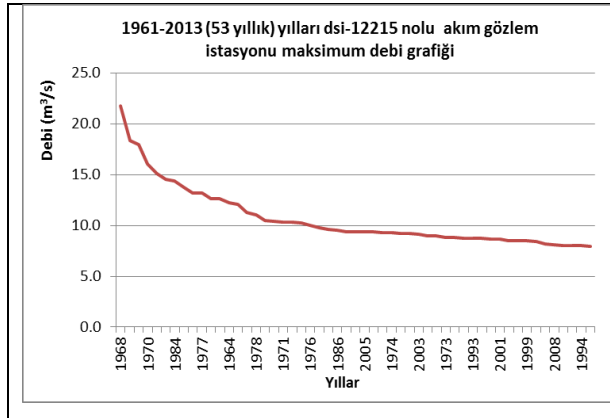
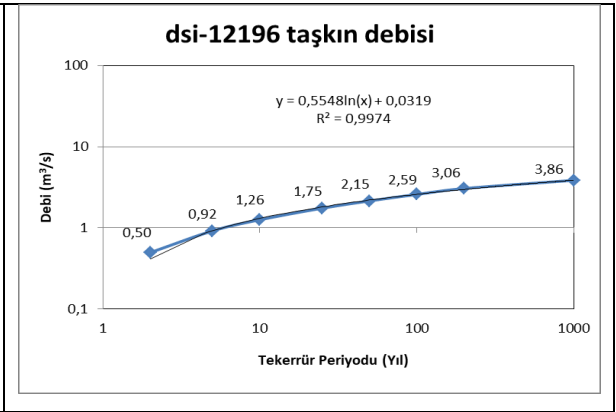
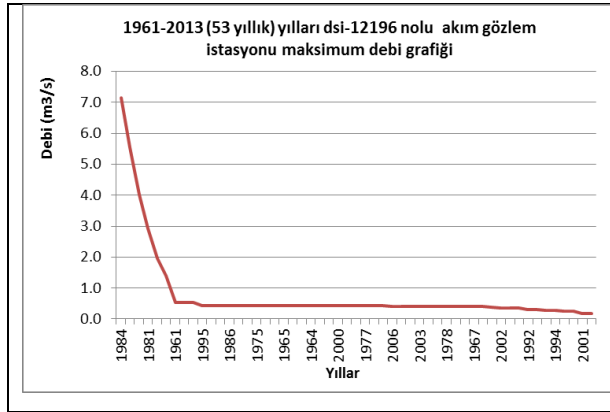
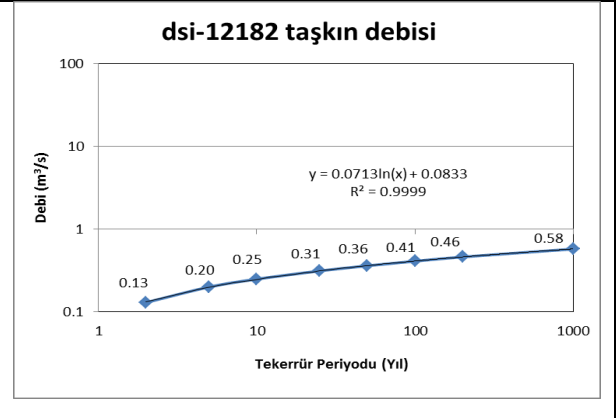
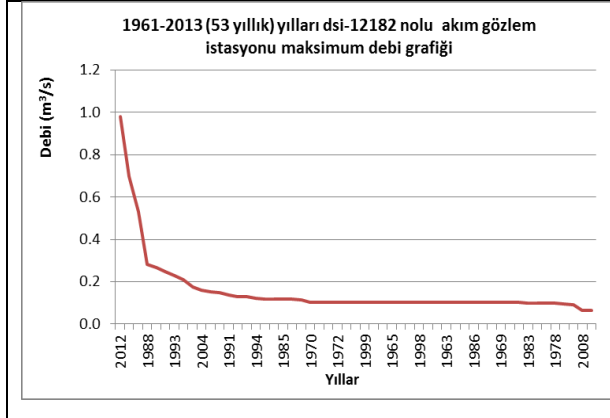


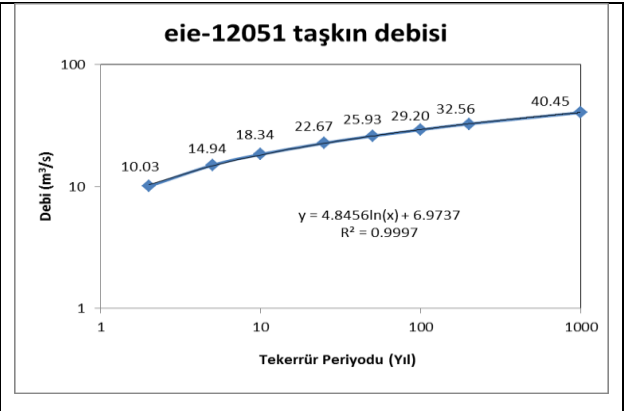
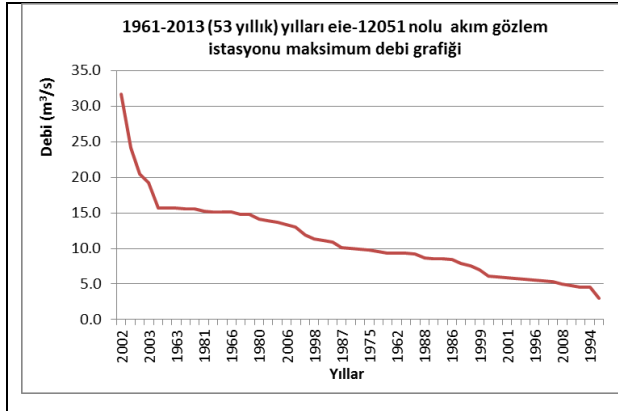












ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yıldırım BAYAZIT
Doğum Yeri ve Tarihi : BALIKESİR /14.03.1988



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (2011)
Yüksek Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2013)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Projeler : Barajlarda Aşınma Sorunlarının Araştırılması ve İyileştirilmesi–Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Projesi: 1506F500, Araştırmacı (2015-2017).
: Hidroelektrik Enerji Üretimi için Baraj Yeri Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması ve Uygulanabilirliği –Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Projesi: 1609F626, Araştırmacı (2016-2017).
: Seyitgazi Ovası ve Yukarı Sakarya Havzasının Sürdürülebilir Ekolojik Yönetimi. Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Projesi: 1101F018, Bursiyer (2011-2012).

İletişim

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü : İnşaat Mühendisliği
Tel : 0228 2141769
E-Posta Adresi : yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr