

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ÇEVRESEL SU İHTİYACI: FIRTINA DERESİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEREN BOZKURT

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Nusret KARAKAYA

BOLU, AĞUSTOS - 2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ceren BOZKURT tarafından hazırlanan “**ÇEVRESEL SU İHTİYACI: FIRTINA DERESİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 6/08/2021

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Ahmet ÇELEBİ
Sakarya Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Osman GÖRÜR
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin 27/08/2021 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 5 olarak tespit edilmiştir.

.....
CEREN BOZKURT

ÖZET

ÇEVRESEL SU İHTİYACI: FIRTINA DERESİ ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CEREN BOZKURT
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, AĞUSTOS - 2021
LXVII+67

Nehirler, akarsular, sulak alanlar, göller, deltalar gibi akarsu ile bağlantılı sistemlerde sağlıklı su ekosistemlerinin desteklenmesi, sürdürülebilmesi ve çevresel hedeflerin yerine getirilmesi için belirli miktarlarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Akarsudan beklenen ekolojik işlev ve hizmetlerin sürdürülmesi için ihtiyaç duyulan bu miktarın, bilimsel yöntemlerle saptanması çevresel su ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Akarsu ekosistemlerinin gereksinim duyduğu su miktarının farklı bilimsel metotlarla hesaplanarak belirlenmesine olanak tanıyan çevresel su ihtiyacı yaklaşımı genel bir addır ve tek bir yöntemi temsil etmemektedir. Çevresel su ihtiyacı tahmini için çok fazla sayıda metot bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında Fırtına Deresi ve kollarında hidrolojik tahmin yöntemlerinden biri olan GEFC yöntemiyle çevresel su ihtiyacı hesaplamaları aylık olarak yapılmıştır. Fırtına Deresi 28 adet alt havzaya bölünerek her alt havza için bu hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. GEFC metoduna göre; A kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %73,5'i maksimum %82,2'si, B kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %53,5'i maksimum %68,2'si, C kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %38,7'si maksimum %58,2'si, D kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %28,4'ü maksimum %52,3'ü, E kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %22,0'si maksimum %48,6'sı ve F kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %18,3'ü maksimum %46,5'i akarsu yatağında bulunmalıdır. Alt havzalarda bulunması gereken yüzdelerin havza genelindeki ortalamaları ise Sınıf A için %79,27, Sınıf B için %63,94, Sınıf C için %53,17, Sınıf D için %46,44 Sınıf E için %42,08 ve Sınıf F için %39,45'i olmalıdır. Halihazırda havza milli park olarak ilan edilmiştir. Bu nedenle A kalite çevresel yönetim sınıfı hedefiyle yönetilmesi tavsiye edilmektedir. Bu kalite sınıfı için elde edilen sonuçlara göre akarsu boyunca minimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı debisi $0,394 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile R4 alt havzasında, maksimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı debisi ise $35,56 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile R16 alt havzasındadır.

ANAHTAR KELİMELER: Akarsu ekosistemleri, Çevresel hedef, Çevresel su ihtiyacı, GEFC metodu

ABSTRACT

**ENVIRONMENTAL FLOW REQUIREMENT: FIRTINA STREAM CASE
MSC THESIS
CEREN BOZKURT
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)**

**BOLU, AUGUST 2021
LXVII+67**

Certain quantities of water are required to support and maintain healthy aquatic ecosystems such as rivers, streams, wetlands, lakes, and deltas, as well as meet environmental goals. This scientifically determined quantity required to maintain the ecosystem functions and services expected from the stream is defined as the environmental water requirement. The environmental water requirement approach as a generic name encompasses different scientific methods to determine the quantity of water required by stream ecosystems. There are many methods to estimate environmental water demand.

In this thesis, environmental water requirement calculations were made on a monthly basis with the GEFC method, one of the hydrological estimation methods, for Firtina stream and its branches. Firtina stream was divided into 28 sub-basins whose calculations were made separately for each sub-basin. According to the GEFC method, a minimum of 73.5% and a maximum of 82.2% of water potential for A quality environmental management class; a minimum of 53.5% and a maximum of 68.2% of water potential for B quality environmental management class; a minimum of 38.7% and a maximum of 58.2% of water potential for C quality environmental management class; a minimum of 28.4% and a maximum of 52.3% of water potential for D quality environmental management class; and a minimum of 22.0% and a maximum of 48.6% of water potential for E quality environmental management class; and a minimum of 18.3% and a maximum of 46.5% of water potential for F quality environmental management class should be located in the stream bed. The basin-wide averages found in the sub-basins are 79.27% for class A, 63.94% for class B, 53.17% for class C, 46.44% for class D, 42.08% for class E, and 39.45% for class F. Currently, the basin has been declared as a national park. For these reason, it is recommended to manage the stream with the target of A quality environmental management class. According to the results obtained for this quality class, the minimum annual average environmental water demand is 0.394 m³/s in the R4 sub-basin, while the maximum annual average environmental water demand is 35.56 m³/s in the R16 sub-basin.

KEYWORDS: Stream ecosystems, Environmental target, Environmental water requirement, GEFC method

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çevresel Su İhtiyacı.....	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Hidrobiyolojik/ Hidrofiziksel Parametreler.....	3
2.1.1 Su Hızı	3
2.1.2 Su Derinliği	3
2.1.3 Islak Çevre ve Taban Yapısı.....	4
2.2 Su Kalite Parametreleri.....	4
2.2.1 Çözünmüş Oksijen.....	4
2.2.2 Su Sıcaklığı.....	4
2.2.3 pH	5
2.2.4 Besi Maddeleri.....	5
2.3 Doğal Akış Rejimi	6
2.3.1 Ekolojik Öneme Sahip Akış Rejiminin Özellikleri	7
2.3.1.1. Büyüklük ve Frekans	7
2.3.1.2. Zamanlama/Tahmin Edilebilirlik.....	8
2.3.1.3. Süre	8
2.3.1.4. Değişim Oranı.....	9
2.4 Çevresel Su İhtiyacı Tahmin Yöntemleri	9
2.4.1 Hidrolojik Yöntemler	10
2.4.1.1. Tennant (Montana) Yöntemi	10
2.4.1.2. 7Q10 Yöntemi	11
2.4.1.3. Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi	12
2.4.1.4. Baz Akım Yöntemi	13
2.4.1.5 Global Environmental Flow Calculator Yöntemi.....	13
2.4.2. Hidrolik Derecelendirme Yöntemleri	17
2.4.2.1. Islak Çevre Yöntemi	17
2.4.3.Habitat Simülasyon Yöntemleri	19
2.4.3.1. PHABSIM Yöntemi.....	19
2.4.4.Bütüncül Yöntemler	20
2.4.4.1. DRIFT Yöntemi.....	21
2.5 GEFC Metodu Kullanılarak Dünya’da Yapılan Çalışmalar	23

2.6 Türkiye’de Yapılan Çalışmalar.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri.....	28
3.2 Çalışmada Kullanılan Veriler	29
3.3 Yöntem	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
6. KAYNAKLAR.....	45
7. EKLER.....	49



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Akış rejiminin sucul ekosistemlerin bütünlüğü üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri (Poff vd, 1997; Karr, 1991).	7
Şekil 2.2. Bir en kesit ıslak çevresi gösterimi (Yumurtacı ve Karakoyun, 2010)..	17
Şekil 2.3 Boyutsuz ıslak çevre-debi grafiği.	18
Şekil 2.4. PHABSIM model yapısı (Waddle, 2001).	20
Şekil 3.1. Fırtına Deresi havzasının konumu	28
Şekil 3.2. HEC-HMS modeline tanımlanan 28 adet alt havza.....	30
Şekil 3.3 Yatayda kaydırma yaparak çeşitli ÇYS'ler için elde edilen debi süreklilik eğrileri (Smakhtin ve Anputhas, 2006).	32
Şekil 3.4 Elde edilen debi süreklilik eğrileri kullanılarak aylık zaman serisinin üretilmesi için uygulanan veri dönüşüm prosedürü (Smakhtin ve Anputhas, 2006).	33
Şekil 3.5 GEFC metodunda işlem adımları	34
Şekil 4.1 Fırtına Deresi kollarında referans akışlar (m^3/sn).....	35
Şekil 4.2 GEFC metodu ile A kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	36
Şekil 4.3 GEFC metodu ile B kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	37
Şekil 4.4 GEFC metodu ile C kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	38
Şekil 4.5 GEFC metodu ile D kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	39
Şekil 4.6 GEFC metodu ile E kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	40
Şekil 4.7 GEFC metodu ile F kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)	41

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Tennant metodunda farklı nitelik sınıfları için kullanılan yüzdeler (Davis ve Hijri, 2003).	11
Tablo 2.2. Çevresel Yönetim Sınıfları ve bu sınıflara karşılık gelen debi süreklilik eğrisinin kaydırılması için varsayılan limitler (Smakhtin ve Anpuhas, 2006).....	15
Tablo 2.3. Tanımlanan sonuçları üretmek için büyüklük olarak azaltılan veya artırılan akış sınıfları, sonuçları ve rutin olarak tahmin edilen beş ekosistem bileşeni (King vd., 2002).....	22
Tablo 4.1 Çevresel yönetim sınıfları için yıllık ortalama akış yüzdeleri (%)	42

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

ABF	: Aquatic Base Flow
ÇYS	: Çevresel Yönetim Sınıfı
GEFC	: Global Environmental Flow Calculator
HEC-HMS	: The Hydrologic Modeling System
IFIM	: Instream Flow Incremental Method
IWMI	: International Water Management Institute
PHABSIM	: Physical Habitat Simulation System
USFWS	: U.S. Fish and Wildlife Service
ELOHA	: Ecological Limits of Hydrologic Alteration

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını yöneten, çalışma süresince her türlü öneri ve yardımlarıyla çalışmama büyük katkı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Nusret KARAKAYA'ya, yüksek lisansım süresince ve sonrasında da bilgisi, ilgisi ve sevgisiyle her zaman yanımda olan Arş. Gör. Pelin ERTÜRK ARI'ya, iki yıldan uzun süredir beraber çalıştığım Çevre Mühendisliği Bölümü Hidroloji ve Limnoloji Laboratuvarı çalışma ekibine, beni bugünlere getiren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, aldığım kararlarda her zaman yanımda olan anneme, babama ve biricik kardeşlerime, sevgisini ve desteğini her an hissettiğim meslektaşım, dostum, yol arkadaşım Umut ERTEMEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez 116Y447 nolu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Çevresel Su İhtiyacı

Nehirler, akarsular, sulak alanlar, göller, deltalar gibi akarsu ile bağlantılı sistemlerde sağlıklı su ekosistemlerinin desteklenmesi, sürdürülebilmesi ve çevresel hedeflerin yerine getirilmesi için belirli miktarlarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Akarsudan beklenen ekolojik işlev ve hizmetlerin sürdürülmesi için ihtiyaç duyulan bu miktarın, bilimsel yöntemlerle saptanması çevresel su ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır.

Çevresel su ihtiyacı terimi, akarsuyu bazı kabul edilmiş ekolojik koşullarda tutmak için tasarlanmış akış rejimini ifade etmektedir. Doğal hidrolojik rejimin tüm bileşenleri ekolojik öneme sahiptir. Bununla birlikte, bir akarsuda doğal olarak meydana gelen akışların tam spektrumunu korumak, su kaynaklarının planlanması ve su toplama alanında meydana gelen değişiklikler nedeniyle hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle, çevresel su ihtiyacı doğal sistem ile sosyoekonomik sistem arasında sucul ekosistemin sürdürülebilmesi için bir uzlaşma aracı olarak görülmektedir.

Çevresel su ihtiyacı tahmininde bir akarsu veya yeraltı suyu sisteminin çeşitli akış bileşenleri tarafından desteklenen ekosistem fonksiyonlarını anlamak ve tanımlamak hedeflenir. Çünkü akarsuların sahip olduğu akış bir yıl boyunca ve yıllar arasında değişim gösterir. Akış rejimi tipik olarak kurak aylar boyunca düşük akışlar, yağışlı aylarda ise yüksek akışlar ve sellerden oluşur. Ayrıca yer altı su seviyeleri de beslenme (şarj) ve deşarjdaki değişikliklere bağlı olarak yıl boyunca ve yıllar arasında doğal olarak değişebilir (Hirji ve Davis, 2009; Hughes, 2001). Sucul yaşam hem suyun miktarına hem de kalitesine bağlı olsa da akışlardaki değişiklikler çok fazla ekosistem sürecini yönettiği için özel bir öneme sahiptir.

Akarsuların sahip olduğu akış insani amaçlı kullanımlar nedeniyle değişmektedir. Bunlara barajların inşası, akarsulardan su çekilmesi örnek olarak verilebilir. Yanı sıra hidroelektrik üretimi, sulama, depolama, endüstriyel ve kentsel su temini, taşkın kontrolü veya düzenleme için yapılan barajlar gibi su kaynakları altyapısına yapılan yatırımlar ekonomik kalkınma için önemlidir ancak yanlış planlandıkları, tasarlandıkları veya işletildikleri zaman akış hacmi, düzeni ve akış

kalitesi üzerindeki etkileri nedeniyle, aşağı havza ekosistemleri ve toplulukları için sorunlara neden olabilir. Bunların sonucunda meydana gelen değişim hem insanların gereksinimlerini karşılayan bir dizi mal ve hizmetin sağlanamamasını hem de su ve suya bağımlı ekosistemlerin devamlılığını engellemektedir.

Akarsu ekosistemlerinin gereksinim duyduğu su miktarının farklı bilimsel metotlarla hesaplanarak belirlenmesine olanak tanıyan çevresel su ihtiyacı yaklaşımı genel bir addır ve tek bir yöntemi temsil etmemektedir. Çevresel su ihtiyacı tahmini için çok fazla sayıda metot bulunmaktadır. Bu metotlar iklimsel değişiklikler, akarsuyun bulunduğu coğrafya vb. nedenlerle farklılık gösterir ve akarsuların geriye dönük doğal akış rejimlerini, jeomorfolojisini, ekolojisini, yönetimini, politik, sosyoekonomik ve lojistik şartlarını dikkate alır. Bu sebeple çevresel su ihtiyacı tahmini metotları yalnızca hidroloji ve ekolojiye bağlı değildir, sosyoekonomik unsurları da ihtiva etmektedir.

Her akarsu sisteminde farklılık gösteren ekonomik, ekolojik, sosyokültürel yapı nedeniyle çevresel su ihtiyacı hesaplamalarında tek bir doğru yöntem söz konusu değildir. Günümüze kadar bu konuyla ilgili yapılmış pek çok çalışma söz konusudur. Bu çalışmaların birçoğunda kabul görülen minimum akış ve ortalama akışın yerine akış rejimini temsil edebilecek akışların yer aldığı uygulamalar gereklidir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Fırtına Deresi havzası milli park statüsüyle korunan, farklı habitatları barındıran, yüksek biyoçeşitliliğe sahip ülkemizin önemli ekolojik alanlarından biridir. İklim değişikliği dinamikleri altında ortaya çıkabilecek riskleri yönetmek için sucul ekosistemleri korumak ve su kaynaklarının planlaması çalışmalarında kullanılmak üzere sucul ekosistemin ihtiyaç duyduğu su miktarının tahmin edilmesi Fırtına Deresi havzası için gereklidir.

Bu çalışmada hidrolojik metotlardan biri olan GEFC metodu ile Fırtına Deresi'nin 28 alt havzasında çevresel su ihtiyacı her ay için ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Ayrıca çevresel su ihtiyacını tahmin etmek için kullanılan metotlar incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Akarsularda biyolojik topluluğu etkileyen iki önemli parametre vardır. Bu parametreler:

- Hidrobiyolojik/hidrofiziksel parametreler (su hızı, su derinliği, ıslak çevre ve taban yapısı)
- Su kalite parametreleridir (çözülmüş oksijen, pH, sıcaklık, besi maddeleri, organik maddeler vd.).

2.1 Hidrobiyolojik/ Hidrofiziksel Parametreler

2.1.1 Su Hızı

Su hızı sucul ekosistem için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar sucul canlıların su hızı konusunda oldukça seçici olduklarını göstermektedir. Su hızı; akarsuyun taban yapısı, debisi, genişliği, eğimi vb. nedenlerle akarsu boyunca değişiklik göstermektedir ve aynı zamanda akarsu ekosistemindeki canlı toplulukların dağılımını kontrol eden en önemli unsurlardan biridir (Goring ve Biggs, 1996).

Su hızı akarsu taban yapısı biçimlenmesinde, akarsu için önemli olan besin maddeleri ve gazların taşınmasında, sucul ekosistem canlılarından balıkların yumurtlama ve göç koşullarının sürekliliğinin sağlanmasında, sediman taşınımında vb. sebeplerle oldukça önemlidir (Allan, 1995).

2.1.2 Su Derinliği

Sucul ekosistem için önemli bir diğer parametre de su derinliğidir. Sucul canlılar tıpkı su hızı gibi su derinliği hususunda da seçici davranmaktadırlar. Su derinliği akarsu kalitesi ve sağlığını etkileyen, su sıcaklığı ve oksijen taşınımı üzerinde etkili parametrelerdendir. Sucul canlıların yumurtlamaları, gelişimleri, üremeleri ve süreklilikleri üzerine olan önemi nedeniyle su derinliği de dikkate alınması gereken bir parametredir (Karakaya ve Gönenç, 2006).

2.1.3 Islak Çevre ve Taban Yapısı

Islak çevre akarsuyun akışına dik doğrultuda ölçülen, suyla temas halindeki çevre uzunluğudur. Akarsu ekosistemi için önemli bir unsurdur ve ekolojik bilgi ve fiziksel habitatların gereksinimlerinin karşılanması için göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir. Canlıların yaşam alanını temsil ettiği kabul edilmektedir.

Bir diğer önemli parametre ise taban yapısıdır. Akarsu tabanının sucul organizmalar üzerine etkileri oldukça fazladır. Bu etkilere örnek olarak beslenme, yumurtlama ve saklanma için elverişli şartların oluşması sayılabilir. Akarsu yatağı taban yapısının taşlı, çakıllı, kumlu veya killi olması akarsu ekosisteminde bulunan türlerin özelliğini ve egemen türlerin varlığını belirlemektedir. Sucul canlıların tercih ettiği taban yapıları farklılık gösterebilmektedir. Bazıları tabanı çakıllı veya kumlu yerlerde hayatlarını sürdürmeyi ve çoğalmayı (yumurtlamayı) tercih ederken bazıları ise iri kaya parçalarından oluşan yapılarda yaşamayı ve bu alanlar da çoğalmayı (yumurtlamayı) tercih etmektedir (Karakaya ve Gönenç, 2006).

2.2 Su Kalite Parametreleri

2.2.1 Çözünmüş Oksijen

Akarsularda en önemli su kalite parametrelerinden biri çözünmüş oksijendir. Çözünmüş oksijen; yaşamsal faaliyetlerin devamlılığında etkili tüm kimyasal reaksiyonların düzenleyicisidir. Çözünmüş oksijen miktarının belirli bir seviyenin altında olması canlı yaşamının devamlılığı konusunda ciddi tehdit oluşturabilmektedir. Atmosferle etkileşim, fotosentez, su sıcaklığı, organik maddeler ve mineral konsantrasyonu çözünmüş oksijen miktarını etkileyen unsurlardandır (Aras, 2009).

2.2.2 Su Sıcaklığı

Sucul ekosistemlerde su sıcaklığının fiziksel ve kimyasal olayların oluşumu ve gelişiminde önemli etkileri mevcuttur. Sıcaklığın etki ettiği fiziksel parametrelere örnek olarak yoğunluk ve basınç verilebilirken, gazlar ve tuzların sudaki değişimleri kimyasal olaylara örnek olarak verilebilir. Ekosistemin devamlılığı ve canlıların yaşamları açısından oldukça önemli bir parametredir.

Sudaki oksijen miktarını ve buna bağı olarak suyun ve sucul canlıların metabolik faaliyetlerini etkilemektedir (Mutlu vd., 2013).

2.2.3 pH

pH bir çözeltildeki hidrojen iyonu sayısını ifade etmektedir ve suyun kimyasal bileşeninin en önemli parametresidir. Su hidrojen iyonlarının artması ile daha asidik bir yapıya ulaşırken, hidroksit iyonlarının artması ile bazik bir hal alır. Hidroksit ve hidrojen iyonlarının eşitliği suyu nötr yapar. Sudaki mineral ve kimyasal maddelerin çözünmesiyle değişen iyon dengesi nötr halin bozulmasına sebep olur. pH; sucul ekosistemin gelişimi, verimliliği ve sürdürülebilirliğini etkilemektedir (Ölmez ve Saraç, 2009).

2.2.4 Besi Maddeleri

Sucul ekosistemler için önemli su kalite parametrelerden biri de besi maddeleridir (azot ve fosfor). Belirli seviyelerdeki besi maddeleri sucul ekosistem için gereklidir fakat yüksek konsantrasyonlara ulaşp bu seviyelerin aşıldığı sularda su kalitesi seviyesi düşer. Azot suda nitrit, nitrat veya amonyum bileşikleri şeklinde görülebilir. Nitrit azotu sularda amonyum azotunun yükseltgenmesi sırasında oluşur ve temiz olarak nitelendirilen sularda düşük oranlarda veya hiç görülmezken kirlenmenin artmasıyla belirgin oranlarda görülebilmektedir (Girgin ve Kazancı, 1994). Nitrat azotu da temiz sularda konsantrasyonu düşük bir azot türevidir. Çevresel koşullardaki değişimle (sel, organik kirlenme zamanlarında) miktarı artabilmektedir (Tanyolaç, 2004). Bir diğer azot türevi amonyumdur. Temiz sularda oldukça az miktarda bulunur. Bu miktar genellikle 1 mg/L'nin altındadır. Organik maddelerdeki bozulma, evsel ve endüstriyel su deşarjları, tarımsal faaliyetler gibi nedenlerle amonyum miktarında artış görülür (Egemen ve Sunlu, 1996). Amonyumun yüksek sıcaklık ve pH'a bağı olarak amonyağa dönüşmesi sucul ekosistemdeki canlıların zehirlenmelerine sebep olabilmektedir (Göksu, 2003). Fosfor suda fotosentezle üretim yapan ototrof canlılar için gereklidir. Eksikliği sucul ekosistemdeki canlıların büyümelerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Çeşitli girdilerle artan fosfor miktarı ise sucul ekosistemde ötrofikasyona sebep olur (Atay ve Pulatsü, 2000).

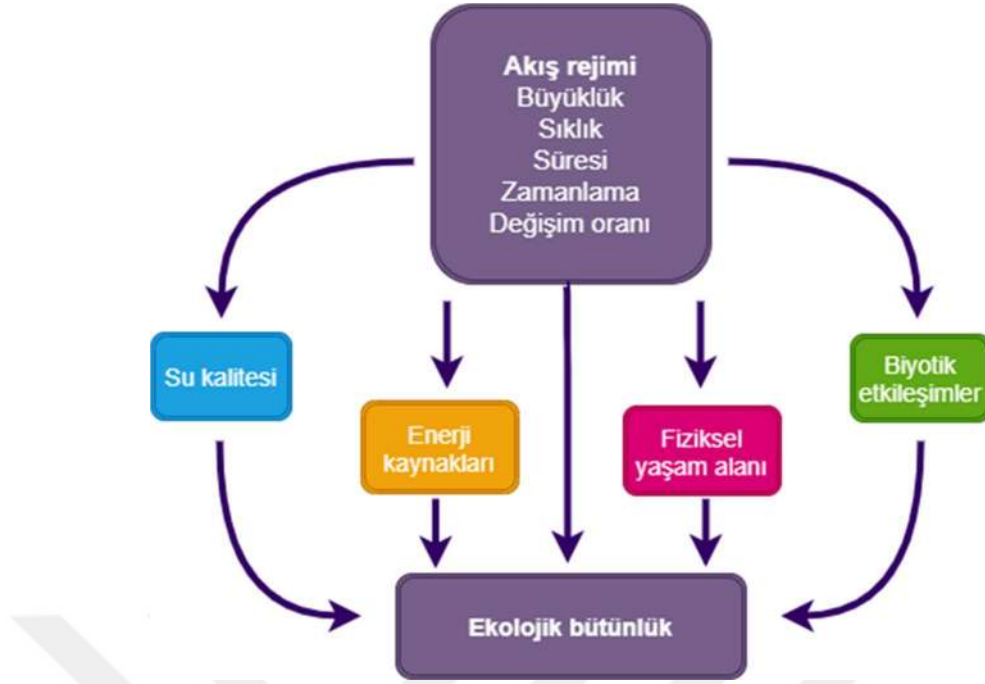
2.3 Doğal Akış Rejimi

Sucul ekosistemlerin doğal yapısını ve fonksiyonunu sürdürmek, dış etkenler sebebiyle meydana gelen değişim sonrası eski haline getirebilmek için, yıl içerisinde ve yıllar arasında farklı hidrolojik rejimlere gereksinim duyulduğu gün geçtikçe daha fazla kabul görmektedir (Richter vd., 2003).

Sucul ekosistemi desteklemek için akarsularda bulunması gereken farklı su miktarları yerine tek bir minimum su miktarının belirlenmesi kabul gören bir yaklaşım değildir. Bir tür için belirlenen minimum su miktarının, eşik değeri oluşturulmuş türler açısından bile gerekli habitat korumasını sağlayamadığı bilinmektedir (Calow ve Petts, 2009). Kabul edilen tek bir debi, sucul ekosistemdeki tüm türlerin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Bazı türlerin gelişmesi için farklı zamanlarda değişken şartlara gereksinim duyulabilir. Makul olan minimum su miktarının, zaman içerisinde oluşan çeşitli değişikliklere cevap verebilecek şekilde yorumlanmasıdır.

Çevresel su ihtiyaçlarını belirlemek için temel olarak “doğal akış rejiminin” (Richter vd., 1996; Poff vd., 1997) kullanılması yönünde bir yönelim vardır (Annear vd, 2002). Bu yaklaşımda akış, akarsuların ve nehirlerin bütünlüğünü, biçimini ve işlevini belirleyen “esas değişken” olarak kabul edilmektedir. Akarsu debisi ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli olan su sıcaklığı, habitat çeşitliliği ve kanal jeomorfolojisi gibi birçok fizikokimyasal husus ile kuvvetli bir şekilde bağlantılıdır (Poff vd., 1997).

Ekosistem işlevlerini sürdürebilmek için ihtiyaç duyulan su miktarı, sıklık, zamanlama, süre, değişim hızı gibi özellikler açısından belirlenebilir (Bkz. Şekil 2.1). Ayrıca ekosistem fonksiyonlarından hidroloji, jeomorfoloji, su kalitesi, biyoloji ve bağlama bilirlilik kategorilerinde dikkate alınması önerilmektedir (Annear vd, 2002).



Şekil 2.1. Akış rejiminin sucul ekosistemlerin bütünlüğü üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri (Poff vd, 1997; Karr, 1991).

2.3.1 Ekolojik Öneme Sahip Akış Rejiminin Özellikleri

2.3.1.1. Büyüklük ve Frekans

Akarsularda akış belirli büyüklüklerde ve sıklıklarda gerçekleşir. Belli büyüklükteki akışlara hangi sıklıkta gereksinim duyulacağı veya ne kadarına tahammül edilebileceğinin ortaklaşa bir çalışmayla tayin edilmeden, ekosistem için gerekli su miktarının belirlenmesi için minimum bir değerin kullanılması önerilmemektedir.

Kurak dönemlerdeki düşük akışlar, belirli türler açısından olumlu veya olumsuz etkilere sebebiyet vermekle birlikte genel ekosistem bütünlüğünün sürdürülmesinde de rol oynamaktadır. Doğal akış rejiminde yer alan düşük akışlardan farklı olarak, uzun süreli düşük akışlar sucul ekosistem açısından bazı olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Bunlara örnek olarak sıcaklıkların artması ve düşük çözünmüş oksijen nedeniyle fizyolojik stres veya ölüm, balık göçlerinin bozulması, kuşlar ve memeliler tarafından artan avlanma verilebilir (Annear vd, 2002).

Akarsulardaki yüksek akışlarında türler üzerinde olumsuz etkileri söz konusu olabilir. Örneğin, yüksek debiler, yumurtaların ve yavruların yer değiştirmesine neden olur ve buna bağlı olarak üreme başarısını sınırlandırabilir. Ancak bu yüksek debiler aynı zamanda da ekolojik proseslerin sürdürülebilirliği için önemlidir (Poff vd, 1997):

- Debinin düşük olduğu dönemlerde dere yatağında bulunan daha iri malzemelerin arasına ince çökelti birikebilir. Bunun sonucunda da birçok omurgasız ve balıklar gibi çökelmeye duyarlı yaşam safhalarına sahip türler olumsuz (yumurtaları ve larvaları) etkilenebilir. Büyük debilerin akarsu yatağında bulunmasıyla bu çökelti temizlenmektedir.
- Kanalin kapasitesini aşan banket üstü de denilebilen akışlar; nehir kıyısında yer alan sulak alan sistemlerinin bazılarının yaşam döngülerinin çeşitli evrelerinde habitat değiştirmeye gereksinim duyması nedeniyle ve sulak alanların korunması, akarsu kanalının dışında bulunan kompleks biyofiziksel habitatlarla olan ilişkilerin kurulması ve biyojeokimyasal prosesleri desteklemek için önemlidir.
- Taşkın yatağından gerekli organik maddenin ve besin elementlerinin elde edilmesi için yüksek debiler önemlidir.
- Taşkın yataklarında periyodik olarak meydana gelen yüksek akışlar bitki topluluklarının büyümesi, çeşitlenmesi için fırsatlar sunmaktadır.

2.3.1.2. Zamanlama/Tahmin Edilebilirlik

Pek çok sucul ekosistem türünün yaşam döngüleri, belirli büyüklüklerdeki akışlardan kaçınmak veya o akışlardan yararlanmak için zamanlanmıştır. Göç ve üreme davranışlarının habitatlara erişim ve habitatın mevcudiyeti ile bağlantılı olması gerektiğinden olayların zamanlaması önemlidir. Çeşitli koşulların zamanlamasında insani kullanım kaynaklı değişiklikler, suda yaşayan türlerde üreme yetmezliğine, strese veya ölüme neden olabilir.

2.3.1.3. Süre

Bir akış olayının veya bir olayla bağlantılı koşulların oluşmasında geçen süreyi ifade eder. Mesela bir taşkın yatağının on yıllık bir selle su altında kaldığı günler ya da bir yıldaki akışın belirli bir değerin altında olduğu gün sayısı

diyebiliriz. Bir başka deyişle de belli koşulların belirli bir süre boyunca var olduğu kümülatif süre miktarını da ifade edebilir.

Meydana gelen akışların süreleri, yaşamsal döngü gereksinimlerinin karşılanıp karşılanmadığını belirleyebilir. Sel veya kuraklık gibi zorlu koşulların sebep olduğu stres ve ölüm oranını etkileyebilir.

2.3.1.4. Değişim Oranı

Değişim oranı, öncelikli olarak barajlardan salınan sular ile ilgili bir kavramdır. Su salımlarında hızlı değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu ani değişimler organizmaların maruz kaldığı stresin derecesini etkileyebilir. Omurgasızların çoğu hızla değişim gösteren habitat şartlarına yanıt verecek ve uyum sağlayacak hareket kabiliyetinden mahrumdur; suyun barajdan bırakıldığı zaman dilimi içinde göç edemezlerse kuraklığa maruz kalabilirler.

Poff vd., (1997) bazı türler için önemli olan hidrolojik rejim özelliklerini (büyüklük, sıklık, zamanlama, süre, değişim oranı) tanımlayan çok sayıda çalışmaya vurgu yaparak, tek bir tür için akışın koşullarını optimize etmek yerine, tüm ekosistem gereksinimlerinin belirlenmesini önermektedir. Sonuç olarak oluşacak ekolojik tepki hidrolojik rejim özelliklerinin doğal rejimden ne kadar farklı olduğuna bağlı olacaktır. Değişim çok büyükse, yerli türlerin yaşam döngüsü ihtiyaçları karşılanmayabilir, bu türlerin yerine istilacı türler gelebilir ve ekosistemdeki enerji akışı değişebilir.

Doğal akış rejiminin önemli ölçüde farklılık gösterebileceği ve bu yaklaşımdan ayrılmanın söz konusu olduğu yoğun insan faaliyetleri esnasında, korunması gereken doğal akış rejiminin özelliklerini belirleyebilmek için ekosistem fonksiyonlarının ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına ihtiyaç vardır.

2.4 Çevresel Su İhtiyacı Tahmin Yöntemleri

Çevresel su ihtiyacı hesaplamalarıyla ilgili literatürde farklı birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler dört temel grupta toplanmaktadır (Karim vd., 1995).

- Hidrolojik Yöntemler
- Hidrolik Derecelendirme Yöntemleri

- Habitat Simülasyon Yöntemleri
- Bütüncül Yöntemler

2.4.1 Hidrolojik Yöntemler

Hidrolojik yöntemlerin diğer yöntemlere göre uygulanması daha basittir. Temelinde adından da anlaşılacağı üzere hidrolojiyi barındıran bu yöntemler “doğal akışın belli bir yüzdesini korumanın çevresel hedefler açısından iş göreceği” hipotezine dayanmaktadır. Bu yöntemde hidrolojik verilerden yararlanılarak çevresel su ihtiyacı tahmin edilmektedir. Hidrolojik yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- Tennant (Montana) yöntemi
- 7Q10 düşük akım yöntemi
- Debi süreklilik eğrisi yöntemi
- Baz akım yöntemi
- GEFC (Global Environmental Flow Calculator) yöntemi

2.4.1.1. Tennant (Montana) Yöntemi

Tennant yöntemi dünyada en çok kullanılan hidrolojik yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha fazla kullanılmasının sebebi uygulamasının kolay, veri ihtiyacının az olmasıdır. Yöntemde yağışlı dönem olarak adlandırılan ve bir su yılının ilk yarısı olan Ekim-Mart ayları arası ile kurak dönem olarak adlandırılan ve bir su yılının ikinci yarısı olan Nisan-Eylül ayları arası dönemler için akarsu yatağında bulunması gereken su miktarları Tablo 2.1’de verilen farklı ekosistem nitelik sınıfları kapsamında aylık ortalama akım yüzdeleri cinsinden verilmiştir. Tennant bu kanıya akarsu ekosistemlerinde yaptığı uzun süreli gözlem ve çalışmalara dayanarak varmıştır. Dolayısı ile Tennant’ın önerisi, gözlem yaptığı akarsu ekosistemleri için uygun bir yaklaşım olabilir ancak bu yöntem farklı çalışmalardaki akarsu ekosistemlerine uygulanırken bu husus dikkate alınarak çalışmalar yapılmalıdır (Davis ve Hijri, 2003).

Tablo 2.1. Tennant metodunda farklı nitelik sınıfları için kullanılan yüzdeler (Davis ve Hijri, 2003).

Ekosistem için Nitelik Sınıfı	Ekim-Mart Döneminde Önerilen (Yıllık Ortalama Akımın Yüzdesi)	Nisan-Eylül Döneminde Önerilen (Yıllık Ortalama Akımın Yüzdesi)
Mükemmel	60–100	60–100
Çok İyi	40	60
İyi	30	50
Orta	20	40
Vasat	10	30
Kötü	10	10
Çok kötü	0–10	0–10

Bu yöntem Amerika'nın orta batısında yer alan 100 akarsudan elde edilen verilerin kullanılmasıyla ve akarsu sağlığının korunması amaçlanarak bulunması gereken minimum akışın tahmin edilmesi için geliştirilmiştir. Belirtilen yıllık akış yüzde oranları balıklar için farklı nitelikteki habitat sınıflarına karşılık gelmektedir. Yöntemin farklı yerlerde kullanımı mümkündür. Ancak daha gerçekçi oranlar her bölge için yeniden hesaplamayı gerektirebilir.

2.4.1.2. 7Q10 Yöntemi

Dünya genelinde kullanım oranı yüksek bir diğer hidrolojik yöntem düşük akım yöntemidir. 7Q10 yönteminde minimum akış her 10 yıldaki kurak dönemlerde olması beklenen en düşük art arda yedi günlük su debilerinin ortalaması ile hesaplanır.

Amerika'nın Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency) tarafından geliştirilen 7Q10 yöntemi atık su deşarjı sonrası alıcı ortamın su kalitesinin düzenlenmesinde, kurak dönemlerde habitat için bulunması gereken su ihtiyacı hesaplamalarında ve sucul yaşamın kritik su ihtiyacının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Pyrice, 2004).

7Q10 yöntemine göre hesaplanan çevresel su ihtiyacı ya da asgari su miktarına yönelik olarak literatürde bazı çekinceler bulunmaktadır. 7Q10 düşük akım yöntemi ile hesaplanan minimum su miktarının akarsu yatağında

bulundurulması durumunda sucul ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceği belirtilmiştir (Caissie vd., 1995). USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service) 7Q10 yöntemi hesaplamalarıyla belirlenecek olan minimum su ihtiyacı miktarının sucul ekosistem için yeterli olmayacağı görüşünü savunmaktadır (Pyrice, 2004).

2.4.1.3. Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi

Literatürde kullanılan hidrolojik yöntemlerden biri de debi süreklilik eğrisi yöntemidir. Debi süreklilik eğrisi yöntemi ile uzun dönem gözlem debileri kullanılarak debi süreklilik eğrisi elde edilir. Debi süreklilik eğrisini elde etmek için akarsu debisinin zaman yüzdeleri hesaplanır. Bunun için uzun dönem debi değerlerinin belirlenmesinden itibaren her bir veri kaydı için aşağıdaki eşitlik kullanılır (Köle, 2014).

$$k = \left(\frac{P}{n+1} \right) * 100 \quad (2.1)$$

Denklemden “k” değeri belirli bir akış değerine muadil olma veya aşılma olasılığını yani % zaman debi değerini ifade etmektedir. “P” ve “n” terimleri boyutsuz değerlerdir ve sırasıyla “P” terimi debi gözlem değerlerinin sıralı halini, “n” terimi toplam debi gözlem sayısını temsil etmektedir. Yukarıdaki eşitlik kullanılarak elde edilen değerler yatay eksene yazılır ve bu değerlere karşılık gelen debi değerleri de düşey eksene yazılarak, debi süreklilik eğrisi elde edilir (Köle, 2014).

Debi süreklilik eğrisi su kaynaklarının planlanmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Kullanım alanlarına örnek olarak ufak çaplı akarsularda hidroelektrik enerjisi temin etme çalışmaları, barajların işletilmesi, kuraklık analizi çalışmaları sayılabilir. Süreklilik eğrileri yıl içindeki veya 5 yıl ve daha uzun süreli gözlemler süresince günlük, aylık veya yıllık olarak çizilebilmektedir (Çimenci, 2011).

2.4.1.4. Baz Akım Yöntemi

Baz akım yönteminde aylık ortalama debilere ihtiyaç duyulmaktadır. Aylık ortalama debilerden, debisi minimum olan ay belirlenerek bu aya ait aylık ortalama debi baz akım yöntemine göre minimum çevresel su ihtiyacı olarak tanımlanır. Bu yöntemin kullanımında balıkların yumurtlama ve kuluçka devri süresince ilave suya ihtiyaç duymayacakları varsayılır (King vd., 1998).

2.4.1.5 Global Environmental Flow Calculator Yöntemi

Küresel çevresel akış hesaplayıcı olarak adlandırılan GEFC hidrolojik çevresel su ihtiyacı tayin yöntemlerindendir. GEFC (Global Environmental Flow Calculator), IWMI ve New Hampshire Üniversitesi Su Sistemleri Analiz Grubu'nun ortaklaşa yaptıkları bir projenin ürünüdür. Simüle edilmiş akış süresi serisinin dahili küresel veritabanını içeren çevresel akışların masaüstü değerlendirmesi için bir yazılım paketidir. Masaüstü hızlı çevresel su ihtiyacı hesabı yapan yazılım visualbasic'te kodlanmıştır.

Çevrimiçi, halka açık ve etkileşimli bir araç olan “Küresel Çevresel Akış Bilgi Sistemi” kullanıcıların bir ülke veya akarsu havzası düzeyinde (ya da tercih edilen herhangi bir alan) alan seçmesini ve istenen alanların tanımlanmasına imkan vermektedir. Çevresel yönetim sınıfları ve çevresel su ihtiyacı, taban akışı (Base Flow) katkısı ve karşılık gelen sürdürülebilir yüzey suyu ve yer altı suyu soyutlamalarının tahminlerini oluşturmaktadır. Bu tahminler daha sonra doğrudan seçilen alandaki gerçek su çekme bilgileriyle karşılaştırılabilir (Smakhtin ve Anputhas, 2006).

Modelin en büyük avantajı çevresel su ihtiyacı miktarının aylık olarak hesaplanabilmesidir. Böylelikle bütün bir yıl aynı akış rejiminin benimsenmesi yerine aylık farklılıklar temel alınarak farklı akış rejimlerinin gözlenmesi sağlanabilmektedir.

Modelde A'dan F' ye kadar 6 adet Çevresel Yönetim Sınıfı tanımlanmıştır. Yöntemin uygulanması kapsamında çevresel yönetim sınıfları için çevresel su ihtiyacı miktarları hesaplanmaktadır. Modelde yer alan 6 çevresel yönetim sınıfının (A-F) herhangi birinin küresel olduğu varsayılırsa, çevresel su yönetiminin bir senaryosu halini alır ve böyle bir senaryo için çevresel akış miktarı hesaplanabilir.

Ayrıca küresel ölçekte akarsular için en olası çevresel yönetim sınıfını denemek ve belirlemekte mümkündür. Havzanın mevcut durumu ve gelecekteki değişikliklerin dikkate alınmasıyla çevresel su ihtiyacı her bir çevresel yönetim sınıfı için tahmin edilebilir ve çalışılan akarsu için elverişli olan sınıf seçilir. Her bir “Çevresel Yönetim Sınıfı” bir çevresel su ihtiyacı senaryosudur. Çevresel su ihtiyacının belirlenmesinin amacı bir ekosistemin korunması veya gelecekte istenen koşullara yükseltilmesidir.

Çevresel Yönetim Sınıfları ve bu sınıflara karşı gelen debi süreklilik eğrisinin kaydırılması için varsayılan limitler Tablo 2.2’de sunulmaktadır.



Tablo 2.2. Çevresel Yönetim Sınıfları ve bu sınıflara karşılık gelen debi süreklilik eğrisinin kaydırılması için varsayılan limitler (Smakhtin ve Anputhas, 2006).

Çevresel Yönetim Sınıfı	Yüzdelik değerin kaç adım kaydırılacağı	Büyük olasılıkla ekolojik durum	Yönetim perspektifi
A. Doğal	1	Sucul ekosistem ve kıyı habitatlarında küçük ölçekli değişiklikler meydana gelebilir, akarsuyun doğallığını etkileyecek değişiklikler görülmeyecektir.	Su temin projelerine kesinlikle yer verilmemelidir. Korunan alanlar, milli parklar olarak nitelendirilir.
B. Biraz değiştirilmiş	2	Havzada ve akarsu boyunca bazı değişiklikler görülebilir fakat bu değişikliklere rağmen biyoçeşitlilik ve habitat büyük ölçüde korunacaktır.	Su temiyle alakalı mevcutta bulunan ve izin verilen ölçüde planlanan bazı projeler ile değiştirilmiş akarsulardır.
C. Orta derecede değiştirilmiş	3	Bazı hassas türler kaybolabilir. Yabancı türlerin ortaya çıkmasıyla biyotanın habitatları ve dinamikleri bozulmuştur. Ancak temel ekosistem işlevleri işlevini sürdürebilecektir. Bazı hassas türler kaybolur ve / veya azalır. Yabancı türler mevcut.	Sosyoekonomik kalkınmaya duyulan gereksinim nedeniyle (örneğin, barajlar), habitatta değişiklikler ve su kalitesinde düşmeler meydana gelebilmektedir.

D. Büyük ölçüde değiştirilmiş	4	Doğal yaşam alanlarında büyük değişikliklerin meydana gelecektir. Tür zenginliğinde azalma, yabancı türlerin hakimiyeti söz konusu olabilecektir. Sucul ekosistemdeki bozulma açık bir şekilde görülebilir.	Barajlar, havzadan su transferleri vb. sosyoekonomik ihtiyaçlar nedeniyle habitatta belirgin değişiklikler meydana gelecektir, su kalitesi düşecektir.
E. Ciddi derecede değiştirilmiş	5	Habitat çeşitliliği oldukça azalmış ve tür zenginliği büyük ölçüde düşmüştür. Yabancı türler ekosistemi tümüyle istila eder.	Yüksek insan nüfusu yoğunluğu ve büyük oranda su kaynakları kullanımı söz konusudur. Genel olarak, bu durum bir yönetim hedefi olarak kabul edilmemelidir. Akış düzenini eski haline getirmek ve bir akarsuyu daha yüksek bir yönetim kategorisine taşımak için yönetim müdahaleleri gerekir.
F. Kritik olarak değiştirilmiş	6	Sucul ekosistem tamamen kaybedilmiştir. Temel ekosistem işlevlerinin yok edilmesi nedeniyle değişiklikler geri alınamaz düzeye gelmiştir.	Bu durum yönetim açısından kabul edilebilir değildir. Akarsuyun daha yüksek bir yönetim kategorisine taşınması için akış düzenini ve akarsu habitatlarını (hala mümkünse/ uygunsa) yeniden kurmak için yönetim müdahaleleri gerekir.

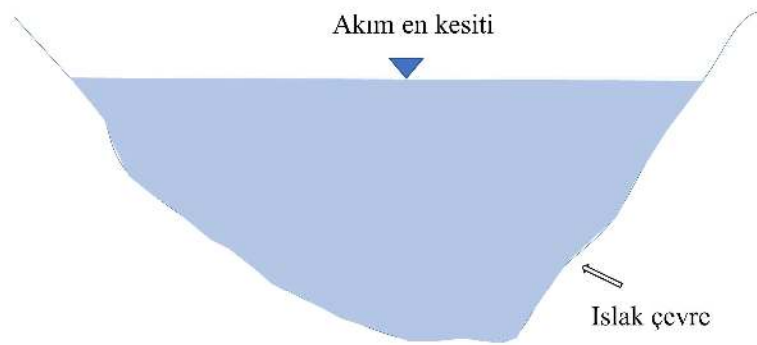
2.4.2. Hidrolik Derecelendirme Yöntemleri

Hidrolik derecelendirme yöntemlerinde sucul ekosistemde meydana gelen değişimlerin ölçümünü yapmak için akarsu yatağından alınan en kesitteki gösterge türler ve ıslak çevre, derinlik, hız gibi hidrolik parametrelerin aralarındaki bağlantılarla ilgili belirli kabuller yapılarak gösterge türün ihtiyaç duyduğu minimum çevresel su ihtiyacı belirlenir. Belirlenen çevresel su ihtiyacının sucul ekosistemin gereksinimini karşılayacağı kabul edilir (Tharme, 2003).

2.4.2.1. Islak Çevre Yöntemi

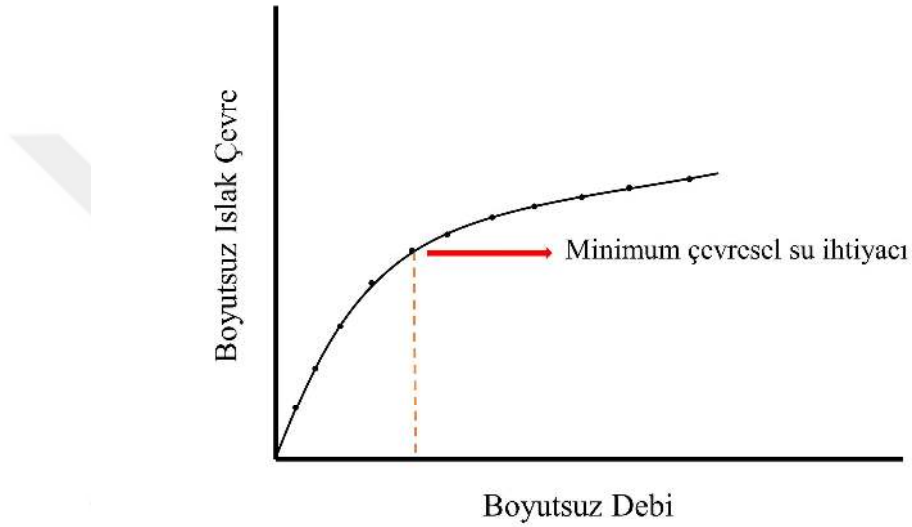
Bu yöntem çoğunlukla su derinliği, ıslak çevre ve hassas biyolojik zaman periyotları göz önünde bulundurularak özellikle balıkların gereksinim duyduğu suyun miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılır. Akarsu yatağının genişlediği su hızının ve su derinliğinin azaldığı kritik kesitlerde akarsu yatağının suyla temas ettiği çevresi arasındaki hidrolik ilişkiye dayanan bir hidrolik derecelendirme yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak, tüm habitatları minimum düzeyde korumak için gerekli olan ıslak çevreye (akarsu enine kesitinin ıslak genişliği) karşılık gelen debi tahmin edilebilir. (McCarthy, 2003).

Şekil 2.2’de alınan bir akarsu en kesitinin ıslak çevresi ile kesitten geçen akış miktarı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Bir en kesit ıslak çevresi gösterimi (Yumurtacı ve Karakoyun, 2010).

Yöntemde ele alınan kesitin eşel en kesit değişkenleri kullanılarak boyutsuz debi ve boyutsuz çevre değerleri hesaplanarak grafiğe (Bkz. Şekil 2.3) aktarılır. Grafikte eğimin bire eşit olduğu noktaya kırılma noktası denilmektedir. Bu yaklaşımda ele alınan kritik kesitte ekosistemin gerek duyduğu yaşam alanı temin edilebiliyor ise akarsu genelindeki kesitlerde de ekosistem için elverişli koşulların temin edilebileceği varsayılır.



Şekil 2.3. Boyutsuz ıslak çevre-debi grafiği.

Şekil 2.3’ deki grafikte de görüldüğü üzere kırılma noktasına karşılık gelen boyutsuz debi değerinin kullanılmasıyla hesaplanan debi değeri minimum çevresel su ihtiyacı olarak kabul edilir. Bu nedenle ekosistemin devamlılığının sağlanabilmesi için asgari değer olarak kabul edilen kırılma noktasına karşılık gelen debinin sistemde bulunması gerekmektedir. Kırılma noktasının altında bulunan debilerdeki farklılıklar ıslak çevrede varyasyonlara ve buna bağlı olarak sucul canlıların yaşam alanlarında önemli değişikliklere neden olur. Buna nazaran kırılma noktasındaki debi değerinin üstündeki debilerde oluşan büyük değişimlerin ıslak çevreye etkisi çok daha azdır. Islak çevre yönteminin geniş ölçüde bir alan çalışmasını gerektirmemesi, kullanım açısından yalın olması ve seri bir hesaplama yapılabilmesi gibi avantajları vardır (Marotz ve Muhlfield, 2000).

2.4.3. Habitat Simülasyon Yöntemleri

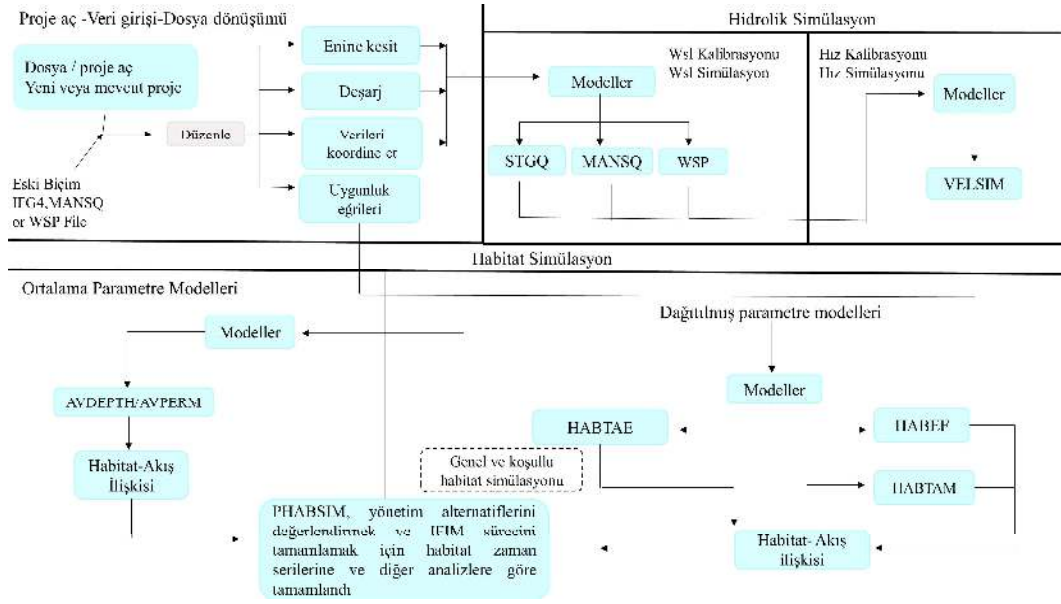
Habitat simülasyon yöntemleri hem biyolojik hem de hidrolik girdileri gerektirir. Hidrolik ve biyolojik bileşenler birbirleriyle ilişkilendirildiğinde, farklı debilerde bir türün özel yaşam evresine uygun olan ıslak alanların belirlenmesi mümkündür. Modelin çıktısı, hidrolik habitat ile debi arasındaki işlevsel ilişkidir ve tipik olarak mikro yaşam alanı ile debiye karşı bir grafik olarak temsil edilir (Annear ve diğerleri, 2002). Kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- IFIM (Instream Flow Incremental Method) yöntemi
- PHABSIM (Physical Habitat Simulation System Model) yöntemi

2.4.3.1. PHABSIM Yöntemi

Fiziksel Habitat Simülasyon yönteminin (PHABSIM) amacı, sucul ekosistemdeki hedef türlerin örneğin bir balık türünün çeşitli yaşam evreleri için akarsu debisi ile bu türün fiziksel habitatı arasındaki ilişkiyi simüle etmektir. PHABSIM modeli, akarsu debisi ile fiziksel habitat arasındaki veya akarsu debisi ile rekreasyon amaçlı akarsu alanı arasındaki ilişkiyi analiz etmek için geliştirilmiştir (Waddle, 2001).

Hidrolik simülasyon, debinin bir fonksiyonu olarak çeşitli derinlik, hız ve kanal indeksi kombinasyonlarına sahip bir alanı tanımlamak için kullanılır. Fiziksel habitat simülasyonu, akarsuyun fiziksel yapısı ve akarsu debisi kullanılarak gerçekleştirilir. Fiziksel habitatın sıcaklık ve su kalitesi ile değiştirilmesi, PHABSIM'de bulunan fiziksel habitat simülasyonundan ayrı olarak analiz edilir. Bir akarsudaki sıcaklık mevsimler, yerel meteorolojik koşullar, akarsu ağı konfigürasyonu ve akış rejimine göre değişir; bu nedenle, habitat üzerindeki sıcaklık etkileri bir akarsu sistemi temelinde analiz edilmelidir. Doğal koşullar altında su kalitesi, iklim ve jeolojiden güçlü bir şekilde etkilenir ve bunun sonucunda su kalitesinde önemli ölçüde doğal farklılıklar oluşur. İnsani faaliyetleri de eklediğimizde, olası su kalitesi imkanları aralığı oldukça geniş hale gelir. Sonuç olarak, su kalitesi de akış sistemi bazında analiz edilmelidir. Bu tür bir analiz, derinlik, hız ve bir kanal indeksine dayalı fiziksel habitat simülasyonuna odaklanan PHABSIM kılavuzunun kapsamı dışındadır. PHABSIM model yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir (Waddle, 2001).



Şekil 2.4. PHABSIM model yapısı (Waddle, 2001).

PHABSIM yönteminin uygulama adımları aşağıda verilmiştir:

1. Kapsam belirleme: habitatla ilgili ihtiyaç duyulan bilgilerin ve çalışma hedeflerinin belirlenmesi, yöntemlerin seçimi,
2. Uzun arazi çalışmaları ve literatür taraması sonucunda hedef türlerin ve uygun mikro ve/veya makro habitat kriterlerinin seçilmesi ve geliştirilmesi,
3. Çalışma alanı seçimi ve bölümlendirmesi,
4. Alan verisi toplama ve kesit yerleştirme,
5. Hidrolik modelleme,
6. Habitat modellemesi,
7. Mikro ve makro habitat zaman serilerinin türetilmesi,
8. Habitat darboğazlarının belirlenmesi,
9. Yönetim alternatiflerinin değerlendirilmesi ve problemlerin çözümüdür.

2.4.4. Bütüncül Yöntemler

Bütüncül yöntemler hidrolojik, hidrolik, habitat simülasyon yöntemlerinin ve uzman bilgisinin birleşimidir ve giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Shafroth vd., 2009). Bütüncül yöntemlerden Yapı Taşı Modeli (BBM), yerel veya havza ölçeğinde çevresel su ihtiyacı gereksinimlerini tahmin etmek için iyi belgelenmiş bir yöntemdir (Hugues ve Rood, 2003). Yapı taşı (BB) yöntemi, doğal akışın ana bileşenlerini korumanın temel olduğu ilkesini desteklemektedir. Akış

blokları, hem normal hem de kurak yıllar için tanımlanan düşük akışları ve yüksek akışları kapsamaktadır. Bir diğer yöntem olan DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation) ise akarsu ekolojisinin çok az anlaşıldığı Güney Afrika'nın yarı kurak bir bölgesinde geliştirilmiş bir modeldir. Lesotho Highlands Su Transfer Projesi (LHWP) kapsamında, ıslak ve kuru mevsimsel düşük akışlar, taşkınların periyodikliği ve akış süresi eğrileri aracılığıyla akış değişkenliğinin söz konusu olduğu ve ekolojiyle ilgili 10 akış kategorisinin kullanıldığı DRIFT modeli geliştirilmiştir (Arthington ve diğerleri, 2003).

Son olarak, ELOHA (Ecological Limits of Hydrologic Alteration) yaklaşımı hem bilimsel hem de sosyal bir yaklaşım içerir. Yöntem, doğal akış rejimi türlerini hidrolojik olarak sınıflandırarak akış değişim oranını hesaplar. Yöntemin ikinci kısmı, çevresel su ihtiyaçlarını belirlemek için eko-hidrolojik ilişkileri kullanır ve uzman bilgisi de son değerlendirmeye dahil edilir. Bütüncül yöntemler, büyük miktarda veri ve zaman gerektirir ve tatlı su ekosistemlerindeki, akış rejimi türlerindeki ve su yönetimi tekniklerindeki farklılıklar nedeniyle ölçeklendirilmesi zordur. Bütüncül yöntemlerin gücü; hidrologların, jeomorfologların, biyologların ve sosyologların tatlı su ekosistemi talepleri ile doğrudan insan suyu gereksinimleri arasındaki en iyi uzlaşmayı bulmak için bir araya gelmelerine ve disiplinler arası bir yönetime bağlıdır (Poff ve diğerleri, 2010).

2.4.4.1. DRIFT Yöntemi

DRIFT akış değişikliklerinin sonuçlarına ilişkin uzman görüşlerine yapı kazandıran birkaç özelliğe sahiptir. Veri toplama ve müteakip görüşler, her biri bir akarsu erişimini temsil eden nehir sahalarında yoğunlaşmıştır. Her saha için günümüzün uzun vadeli günlük akış verileri on akış sınıfına ayrılmıştır ve uzmanlar, akarsu ekosisteminin farklı bileşenleri için her akış sınıfında mevcut durumdan dört seviyeye kadar değişimin sonuçlarını tahmin etmektedir (Bkz. Tablo 2.3). Rutin olarak dikkate alınan ekosistem bileşenleri akarsu jeomorfolojisi, su kalitesi, su ve akarsu kenarı bitkileri, suda yaşayan omurgasızlar ve balıklardır, ancak incelenen akarsuya bağlı olarak memeliler, kuşlar, kurbağalar ve sürüngenler gibi ek bileşenlerde eklenebilmektedir (Brown ve Joubert, 2003; King vd., 2003).

Tablo 2.3. Tanımlanan sonuçları üretmek için büyüklük olarak azaltılan veya artırılan akış sınıfları, sonuçları ve tahmin edilen beş ekosistem bileşeni (King vd., 2002).

Akış sınıfı	Açıklanan sonuçlar:	Ekosistem bileşeni
Sınıf 1. Kurak mevsim düşük akış (tek değer değil aralık) Sınıf 2. Yağışlı mevsim düşük akış (tek değer değil aralık)	4 seviye artış / azalma	1. Akarsu jeomorfolojisi 2. Su kalitesi 3. Bitkiler 4. Su omurgasızları 5. Balıklar
Sınıf 3. Kurak mevsim düşük akış debisinin üst sınırı Sınıf 4. 2 yıl içinde gözlenen en büyük debinin sekizde biri Sınıf 5. 2 yıl içinde gözlenen en büyük debinin dörtte biri Sınıf 6. 2 yıl içinde gözlenen en büyük debinin yarısı	Yılda 4 değişiklik	
Sınıf 7. 2 yıl içinde gözlenen en büyük debi, Sınıf 8. 5 yıl içinde gözlenen en büyük debi, Sınıf 9. 10 yıl içinde gözlenen en büyük debi, Sınıf 10. 20 yıl içinde gözlenen en büyük debi	Varlık veya yokluk	Nehir kanalının hidroliği de hesaplanır.

Akış değişikliklerinin biyofiziksel sonuçlarının tanımları genellikle jeomorfoloji, ardından su kalitesi ve ardından bitki örtüsü, omurgasızlar, balıklar, kuşlar ve diğer yaban hayatı ile başlayan bir sırayla oluşturulur ve burada her uzman kendi uzmanlık alanından sorumludur. Deęerlendirilen her bir akış değişikliğinin sonuçlarını kaydederken, uzmanlar ekosistem bileşenleri ile ilgili olabilecek her alt bileşeni dikkate alır (King vd., 2002).

2.5 GEFC Metodu Kullanılarak Dünya’da Yapılan Çalışmalar

Joshi ve arkadaşları (2021) Sone nehrindeki Indrapuri barajında 36 yıllık akım verilerini kullanarak GEFC yöntemiyle çevresel su ihtiyacını hesaplamışlardır. Nehrin çevresel yönetim sınıfının “kritik olarak değiştirilmiş” (Sınıf F) durumda olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar su potansiyelinin yalnızca %5,16’sının akışa bırakıldığını belirterek su potansiyelinin %18,9’unun akışa bırakılmasının, nehrin çevresel yönetim sınıfının “orta derecede değiştirilmiş” sınıfa (Sınıf C) yükseltilmesine yardımcı olacağı sonucuna varmışlardır. Ayrıca nehrin çevresel yönetim sınıfını “biraz değiştirilmiş” sınıfta (Sınıf B) tutmak için su potansiyelinin %34,2’sinin nehir yatağına bırakılmasının gerekli olduğu sonucuna varmışlardır.

Teklu ve arkadaşları (2019) Etiyopya’daki Awash nehir havzasında bulunan beş baraj sahasında çevresel su ihtiyacı hesaplamaları yapmışlardır. Dünya çapında kullanılan altı hidroloji tabanlı çevresel su ihtiyacı tahmin yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemler; Masaüstü Rezerv Modeli (DRM), GEFC metodu, Tennant, Tessman, 7Q10 ve Q95 metotlarıdır. Altı yöntemden elde edilen çevresel su ihtiyaçları yıllık ortalamalar ve aylık ortalamalar olarak karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar DRM ve GEFC metodundan elde edilen tahminlerin diğer metotlardan daha güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Suwal ve arkadaşları (2019) Liujiaping-Yumitan kademeli barajları için çevresel su ihtiyacı tahmini çalışmaları yapmışlardır. Hidroelektrik projelerinin, nehir kıyısı ekosistemlerinin korunmasını ihmal ederek insanlığın ekonomik ve sosyal faydalarına odaklandığını ve bu geleneksel yaklaşımın nehir ekosistemlerinin bozulmasına yol açtığını savunmuşlardır. Bu konu üzerine yapılan araştırmalar arttıkça barajların işletiminde doğal akış değişkenliğinin benimsenmesi hız kazanmıştır. Akış değişkenliği, sağlıklı nehir ekosistemleri için

oldukça önemlidir. Bu çalışmada, beş çevresel yönetim sınıfı göz önünde bulundurularak, güç üretimini en üst düzeye çıkarırken çevresel su ihtiyacının eksikliğini en aza indirmek için kademeli barajların çok amaçlı bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Her bir çevre yönetim sınıfına ilişkin çevresel su ihtiyaçları GEFC metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Ahn ve arkadaşları (2018) Kore'deki Geum nehri havzasında iklim değişikliğini, akış hacmini, rezervuar operasyonlarını ve çevresel su ihtiyacını kapsamlı bir şekilde ele alarak çevresel su ihtiyacının değerlendirilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Çevresel su ihtiyacının iklim değişikliği ve hidrolik yapı çalışmaları nedeniyle nehir akışındaki değişikliklerden nasıl etkilendiğini değerlendirmek için çeşitli hidrolojik ve hidrodinamik modellerle birlikte GEFC metodunu kullanmışlardır.

Papadaki ve arkadaşları (2017) Acheloos Nehri'nde çevresel su ihtiyacı tahmin yöntemlerinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmada, 1983-2004 dönemi için SWAT modelinden elde edilen çıktılar kullanılarak, çevresel su ihtiyacını tahmin etmek için GEFC metodu kullanılmıştır. GEFC metodunda yer alan çevresel yönetim sınıfları birer çevresel su ihtiyacı senaryosu olarak kabul edilmiştir.

Salik ve arkadaşları (2016) Pakistan'daki İndus nehrinin ekolojik sağlığını göz önünde bulundurarak farklı iklim değişikliği senaryoları altında İndus Deltası'nın ekolojik koşullarının değerlendirilmesi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Araştırmada GEFC yöntemini kullanarak, iki iklim değişikliği senaryosuna göre İndus deltası için gerekli olan çevresel su ihtiyacını hesaplamışlardır. Ayrıca sucul ekosistemdeki mevcut bozulmanın devam etmesi halinde, gelecekte nehir akışlarındaki değişikliklerden bağımsız olarak mevcut durumu korumanın veya daha yüksek çevresel yönetim sınıfına ulaşmanın zor olacağı sonucuna varmışlardır.

Yasi ve Ashor (2016) İran'daki Urmiye Gölü'nün çarpıcı biçimde küçülmesini, akarsulardan göle gelen akışların azalmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Akarsu debisinin azalmasının gölün yukarısındaki tarım arazilerinin sulanmasından ve gölü besleyen akarsular üzerine inşa edilen barajlardan kaynaklandığını savunmuşlardır. Araştırma bu nehirlerin arasında en büyüğü olan ve yüzey suyunun

%41'ine katkıda bulunan Zarine akarsuyunun debilerini kontrol eden Bukan Barajında yapılmıştır. Akarsuyun ekolojik ihtiyaçları, Bukan Barajı'nın memba ve mansabında olmak üzere üç farklı noktada araştırılmıştır. Çevresel su ihtiyacının hesaplanması GEFC yazılımı kullanılarak yapılmıştır. 1955–2012 dönemindeki ortalama aylık akışlar modele dahil edilerek üç noktanın her birindeki çevresel su ihtiyaçları farklı ekolojik sınıflar (A sınıfından F sınıfına) için araştırılmıştır ve C çevresel yönetim sınıfı önerilmiştir. C Sınıfı, su potansiyelinin %15 ila %35'inin akarsu yatağına bırakılmasını gerektirmektedir. Urmiye Gölü'nü kurtarmak ve çevre gereksinimini sürdürmek için ortalama yıllık akışın (MAF) %17 ila %35'inin nehir yatağına bırakılması sonucuna varmışlardır.

Liu ve arkadaşları (2015) su kıtlığını; su miktarı, su kalitesi ve çevresel su ihtiyacını dikkate alarak değerlendirmek için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri yaklaşımı Çin'deki Huangqihai Nehir Havzası için uygulamışlardır. Nehrin ekosistem sağlığını “iyi” bir seviyede tutmak için (yani yüzme, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği için uygun), su potansiyelinin %26'sının çevresel su ihtiyacını karşılamak için ayrılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Mevcut su tüketimi, havzanın nehir ekosistemlerinin bozulmasına neden olmuştur ve çevresel su ihtiyacı yılın 3 ayında karşılanamamıştır. Bu durumu tersine çevirmek için gelecekteki politikaların, su kullanımını ve kirlilik deşarjını azaltmaya ve sağlıklı nehir ekosistemlerini sürdürmek için çevresel su ihtiyacını karşılamaya yönelik olması gerektiğini savunmuşlardır.

2.6 Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Sosyoekonomik ihtiyaçlar doğrultusunda su kaynaklarına olan talep giderek artmaktadır. Su kullanımı çalışmalarının suyun verimini, doğallığını bozmayacak şekilde gerçekleştirilebilmesi için çevresel su ihtiyacı tahmin çalışmaları Türkiye’de de gündeme gelmiştir.

Türkiye’de çevresel su ihtiyacı çalışmaları 2007 yılında HES çalışmalarıyla başlamıştır. 2007 yılından önceki projelerin ÇED raporlarında canlıların hayatını sürdürebilmesi için bırakılabilecek en düşük miktar ibaresi geçerken 2007 yılından sonra çevresel su ihtiyacı tahmini hidrolojik metotlarından biri olan Tennant metoduyla yapılarak akarsularda ekosistemin devamlılığının sağlanabilmesi için

mansaba bırakılması gereken su miktarları hesaplanmaya başlanmıştır (Okumuş, 2011).

Karakoyun (2014) tez çalışmasında hidroelektrik santral projelerinde nehir yapısını ve ekosistemini bozmayacak aynı zamanda da dolaylı olarak elektrik üretiminde sürekliliğin sağlanabildiği çevresel su ihtiyacı yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada Türkiye'deki Çambaşı Regülatörü ve Hidroelektrik santrali için çevresel su ihtiyacı tahmini hidrolojik yöntemlerden Tennant, Tessmann ve debi süreklilik eğrisi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

Ateş (2013) tez çalışmasında Büyük Menderes Havzasında bulunan 3 akım gözlem istasyonu verilerini kullanarak çevresel su ihtiyacı hesaplamaları yapmıştır. Hidrolojik ve hidrolik yöntemlerden yararlanarak karşılaştırmalı olarak çevresel su ihtiyaçlarını değerlendirmiştir. Tennant yöntemi, Modifiye Tennant yöntemi, Q95 yöntemi, 7Q10 yöntemi ve Islak Çevre yöntemleri çalışmada kullanılmıştır.

Karakaya ve Gönenç (2010) sosyoekonomik ihtiyaçlar doğrultusunda artan su talebi nedeniyle havzalar arası su transferi projelerinin hayata geçirildiğini belirterek, bu projelerin uygulanması sırasında su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesinde konuyu çevresel boyutuyla ele alan bir karar destek sistemi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada Büyükmelen Çayı için çevresel su ihtiyacını hesaplamışlardır. ABF, ıslak çevre ve Tennant metodu kullanılarak hesaplamaları yapmışlardır.

Köle (2014) yılında yapmış olduğu çalışmada Koyunbaba Barajından bırakılması gereken çevresel su ihtiyacı miktarını Tennant, Tennant-II ve debi süreklilik eğrisi yöntemleriyle hesaplamıştır.

Tuna vd. (2009), yapmış oldukları çalışmada Çoruh havzasında 7 adet akım gözlem istasyonu debilerinden yararlanarak debi süreklilik eğrisi yöntemiyle çevresel su ihtiyacı tahmini yapmışlardır.

Kepekçi (2016) yüksek lisans tezinde Doğu Karadeniz havzasında bulunan 5 adet akım gözlem istasyonu verilerini kullanarak HES'lerde sucul ekosistem için bırakılması gereken su miktarını hesaplamıştır. Hesaplamalar Tennant, 7Q10 ve Debi Süreklilik Eğrisi metotları kullanılarak yapılmıştır.

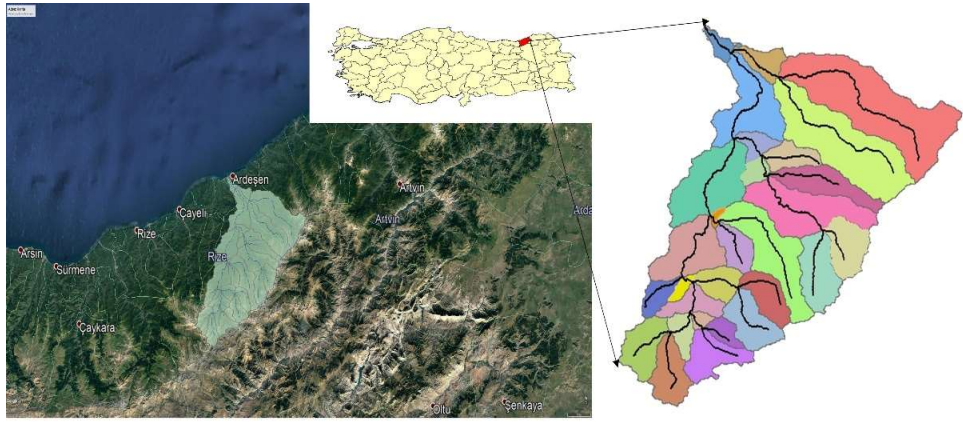
T.C Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Seyhan havzası, Konya kapalı havzası, Akarçay havzası, Küçük Menderes havzası ve Gediz havzası için sektörel su tahsis planları hazırlamıştır. Bu planlarda çevresel su ihtiyacı, çevre sektörünün su ihtiyacı olarak tanımlanmıştır. Çevresel su ihtiyacı; Tennant metodu, ıslak çevre metodu, baz akım metodu, debi süreklilik eğrisi metodu ve GEFC metoduyla tahmin edilmiştir (T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, b.t.).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri

Çalışma sahası Doğu Karadeniz Dağlarının kuzeyinde yer alan Fırtına Deresi havzasıdır. Fırtına Deresi Türkiye'nin ekolojik öneme sahip sayılı havzalarından biridir. Kaçkar Dağları'nın Karadeniz'e bakan yamaçlarındaki derelerin birleşmesi ile meydana gelmiştir. Rize ilinin Ardeşen ve Çamlıhemşin ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Doğu Karadeniz'in en geniş akarsu havzalarından biridir ve 1177.03 km² yüzölçümüne sahiptir. Ardeşen ilçesinin yaklaşık olarak 2 km batısından Karadeniz'e dökülen Fırtına Deresi 68 km uzunluğundadır. Kuzeyden Karadeniz, güneyden ise Kaçkar ve Soğanlı dağlarının su bölümü çizgisi ile sınırlanmıştır. Rize ilinin 45 km doğusunda yer almaktadır ve 40°-20' doğu ve 41°-20' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Deniz kıyısından itibaren yükselen dağlar 40 km kuş uçuşu mesafede 3900 metrelere kadar uzanır (Doğu vd., 2018). Fırtına Deresi havzasının konumu Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Fırtına Deresi havzasının konumu

Fırtına vadisi dalgalı ve tepelik arazilerden meydana gelmektedir. Denizden ilerledikçe 200 m yüksekliğe kadar dalgalı ve hafif tepelik topoğrafya baskın durumdadır. Kıyı düzlüğünün hemen gerisinde yükselti aniden 150-200 metreleri bulmaktadır. Arazi buradan başlayarak gittikçe daralan akarsu vadileri ile derin bir şekilde yarılmıştır. Akarsu vadisindeki ana akarsular ve bu akarsuların orta çığırının sahip olduğu kollar araziye şiddetle ayırarak çok engebeli bir görünüm

almasına neden olmuştur. Kuvvetli ve birbirine uzak olmayan sırtlar, 2000 m yüksekliğe kadar dik yamaçlı “V” profilli vadiler alanın topoğrafik görünüşünü karakterize etmektedir. 2000 m yükselti sonrası U tipi vadilerin egemen olduğu sarp, yalçın, eğimli arazi yapısı baskın durumdadır (Doğu vd., 2018; Güner vd., 1987).

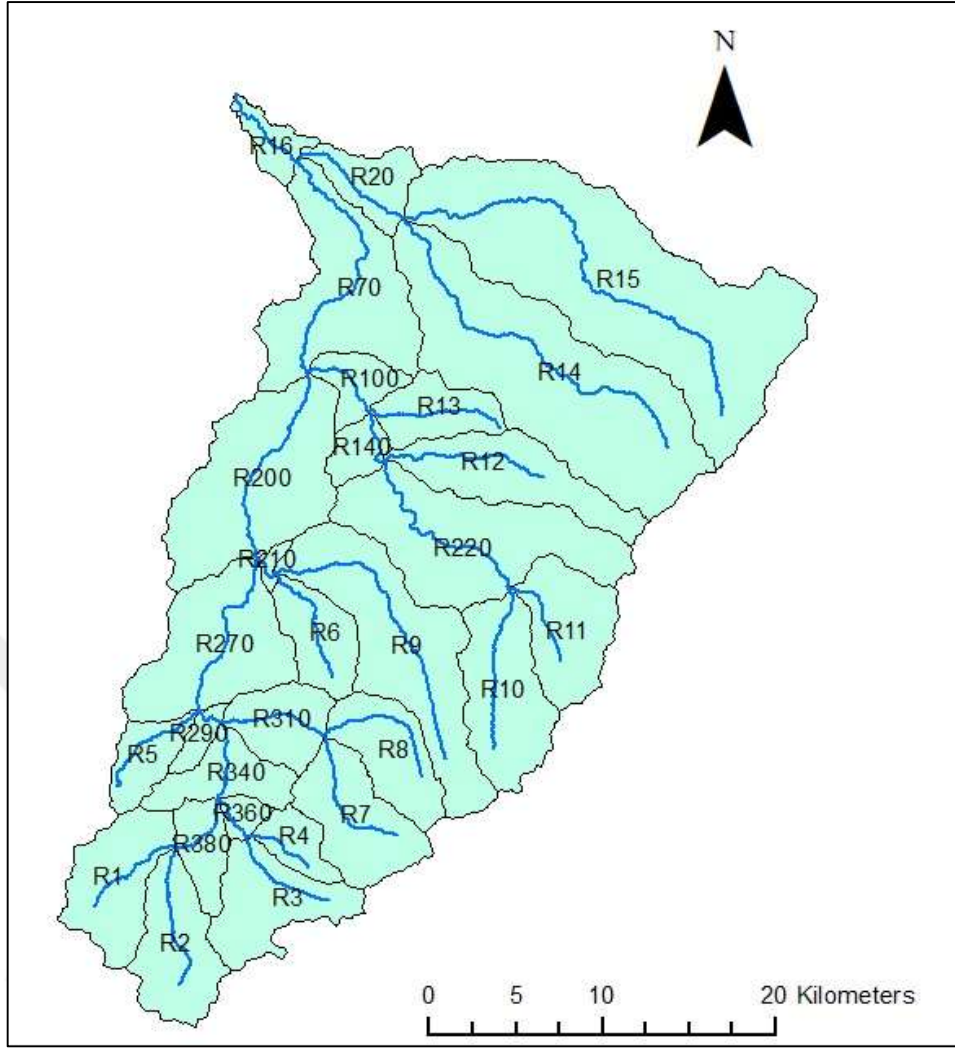
Yüksek, eğimli arazilerin arasında düz alanlar yalnızca vadi boylarında karşımıza çıkmaktadır. Dağların dorukları keskin sırtlar ve sivri tepelerden meydana gelmektedir. Bu kısımlar aşımın fazla olması nedeniyle toprak örtüsünden önemli ölçüde mahrumdur (Tandoğan, 2017).

Havza dağlık bir yapıya sahiptir ve kısa mesafelerde yükselti artmaktadır. Yükselti farklılığı sonucu sıcaklık değerleri de alan içerisinde değişik noktalarda farklı değerlerin gözlenmesine sebep olmaktadır. Havzada %70-80'lere ulaşan nem değeri; yıllık ortalama, yüksek ve düşük sıcaklık değerlerinin birbirine yakın olmasına, aşırı ısınma ve soğumaya mâni olmaktadır. Bunun yanında kış aylarında fön rüzgarları da aşırı soğumayı engelleyen etkilerdendir (Yüksek vd., 2004).

Havzada Karadeniz bölgesinin çok engebeli olması, yükseltilerin önemli yer tutmasından kaynaklı olarak cephe yağışları ve yamaç boyunca yükselen nemli hava kütlelerinin soğuyarak yoğunlaşması sonucu oluşan orografik yağışlar hakimdir. Orografik yağışlar genellikle dağın üst kısımlarında kar, alt kısımlarında ise yağmur halinde düşer. Yağış yıl içerisinde değişiklik göstermektedir. Eylül ayında başlayarak Aralık ayına kadar devam eden çok yağışlı dönem ile Nisan ayında başlayıp Temmuz ayına kadar devam eden az yağışlı dönem olmak üzere iki devre bulunmaktadır (Yüksek vd., 2004).

3.2 Çalışmada Kullanılan Veriler

Tez çalışmasında kullanılan debi verileri; 116Y447'nolu “Akarsular için Ekolojik Akış Tahmin Modeli ve Uygulanması” adlı Tübitak Projesi kapsamında yürütülen HEC-HMS modelleme çalışmalarından elde edilmiştir. Söz konusu çalışmada Fırtına Deresi havzası 28 adet alt havzaya ayrılmış ve hidrolojik modelleme çalışmaları yürütülmüştür (Bkz. Şekil 3.2). Hidrolojik modelleme çalışması 1979-2013 yılları arasında yürütülmüştür. HEC-HMS modelinden elde edilen debi verileri kullanılarak GEFC metodu ile her bir alt havza için çevresel su ihtiyacı çevresel yönetim sınıfları (ÇYS) için hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. HEC-HMS modeline tanımlanan 28 adet alt havza

3.3 Yöntem

Bu çalışma kapsamında çevresel akışın belirlenmesi amacıyla Global Environmental Flow Calculator (GEFC) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması için en az 10 yıllık eksiksiz akım verilerine gereksinim duyulmaktadır.

Yöntemin seçilmesindeki ana neden çevresel su ihtiyacının aylık olarak hesaplanabilmesidir. Bunun avantajı akarsu ekosistemi için yeterli olmayan ve bütün bir yıl boyunca aynı su miktarının benimsenmesi yerine aylık çevresel su ihtiyacı tahminlerinin yapılabilmesidir. Böylelikle akım rejiminde meydana gelen aylık değişiklikler çevresel su ihtiyacına da yansıtılabilmektedir.

GEFC'nin temeli debi süreklilik eğrisine dayanmaktadır. Yöntemde debi süreklilik eğrisi farklı sucul ekosistem koruma sınıfları için oluşturulmuştur. İhtiyaç duyulan çevresel akışın hacmi ve değişim faktörleri yüksek ekosistem koruma sınıflarından, azalan ekosistem koruma sınıflarına göre sırasıyla tayin edilir. Daha sonra basit bir konuma göre interpolasyon işlemi kullanılarak tahmini yapılmış her bir debi süreklilik eğrisi, daimi aylık akım zaman serilerine çevrilir. Buradan anlaşılacağı üzere yöntemde çevresel su ihtiyacı; debi süreklilik eğrileri ve aylık akım zaman serileri olarak iki şekilde bulunmaktadır. Seriler, akarsu için gerekli olan ekolojik şartların sağlanması için bulunması gereken çevresel su ihtiyacını vermektedir (Smakhtin ve Anpuhas, 2006).

Model içinde ilk olarak her alanın temsil edildiği, doğal akım zaman serilerinden meydana gelen debi süreklilik eğrisi oluşturulur. Uygulamada zaman serilerindeki tüm veriler kullanılır. Debi süreklilik eğrisi akım değerleri ve muhtemel tüm oluşma olasılıklarını ihtiva eder. 17 adet sabit yüzdelik değer bulunmaktadır. Bunlar; 0,01, 0,1, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, 99,9 ve 99,99'dur. Bu değerler akımların tüm aralığını kapsamalıdır. Daha sonra akım değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak her yüzdelik değer aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P = 100 * \text{Sıra} / (N + 1) \quad (3.1)$$

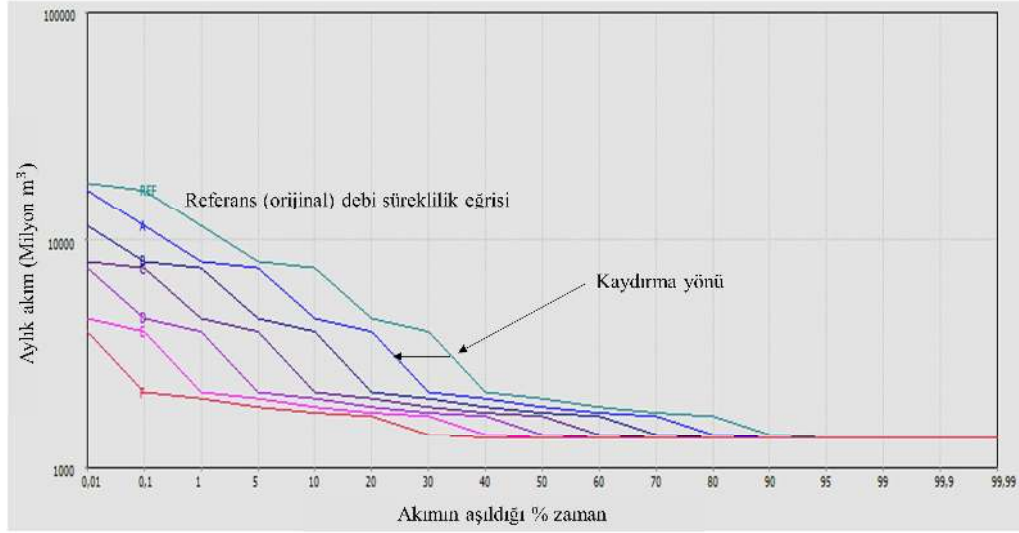
Burada;

N: Veri sayısı

Sıra: Boyutsuz olarak akım gözlem değerlerinin 1 ile N arasında sıralı değerlerini göstermektedir.

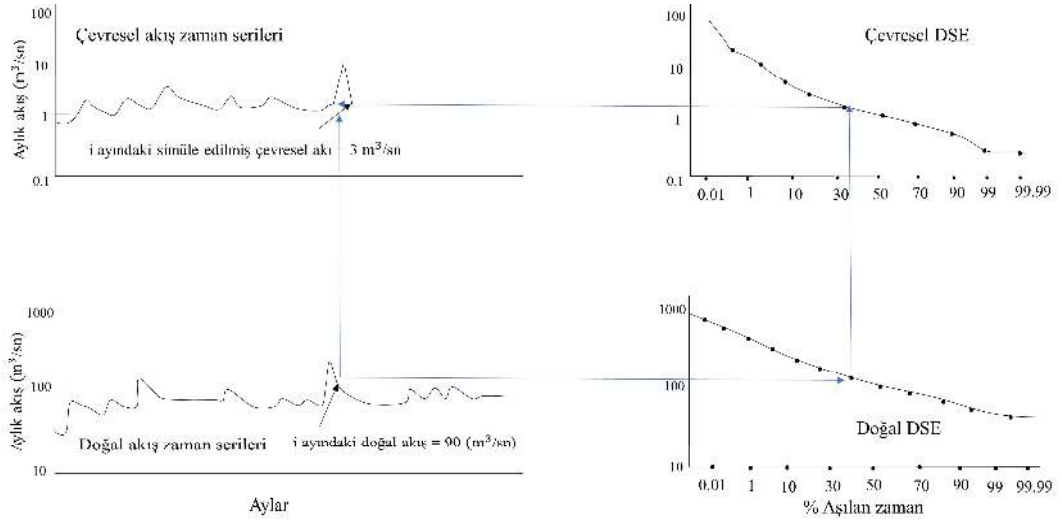
Çevresel yönetim sınıflarının oluşturulması için debi süreklilik eğrisi sola doğru yatay yönde olasılık eksenini boyunca kaydırılır. Model içerisinde 6 adet ÇYS bulunmaktadır ve kaydırma sonucu çevresel yönetim sınıfları için çevresel akışın hesaplanması sağlanır.

Yüzdelik değerlerin çevresel yönetim sınıflarına karşılık gelen kaydırma adımı kadar kaydırılmasıyla P' olarak gösterilen yeni yüzdelik değerler hesaplanır. Böylece debi süreklilik eğrisinde P' yüzdelik akımına karşılık gelen yeni bir Q' debisi oluşturulur. Bir adımlık kaydırma yüzdelik değerler listesindeki bir sonraki yüzdelik değere geçilerek elde edilir (Bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Yatayda kaydırma yaparak çeşitli ÇYS'ler için elde edilen debi süreklilik eğrileri (Smakhtin ve Anputhas, 2006).

Kaydırılmış eğri altındaki kuyruk kısmında yer alan yeni düşük akımlar lineer interpolasyon uygulanarak tayin edilir. Eğri üzerindeki kaydırmalar neticesinde adımların her birinde bir miktar kayıp meydana gelse de genel olarak akımın değişkenliği muhafaza edilir. Oluşan debi süreklilik eğrileri asıl olarak akımların geliş sırasını yansıtmadığı için aylık akım zaman serilerine çevrilmesi gerekmektedir (Bkz. Şekil 3.4).

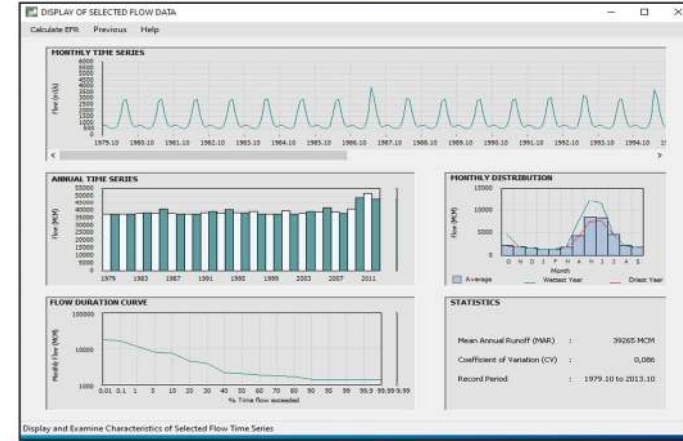
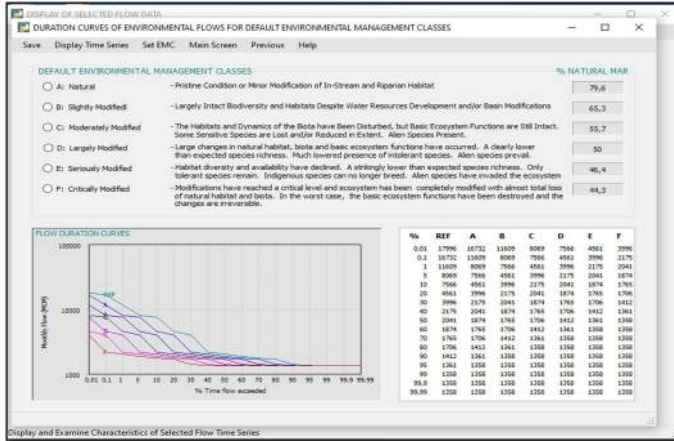
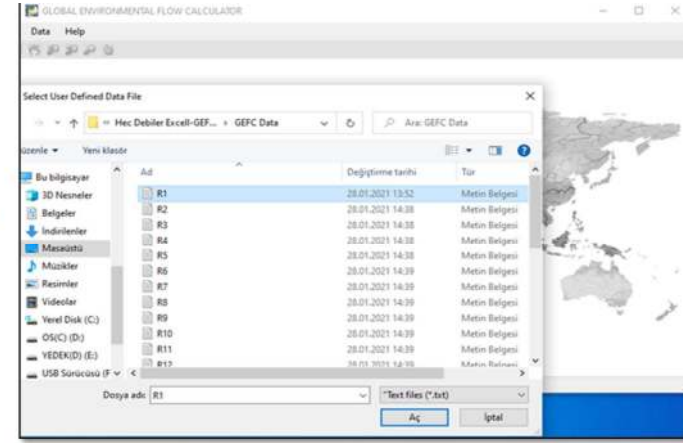


Şekil 3.4 Elde edilen debi süreklilik eğrileri kullanılarak aylık zaman serisinin üretilmesi için uygulanan veri dönüşüm prosedürü (Smakhtin ve Anpuhas, 2006).

Yöntemde takip edilen işlem adımları aşağıda verilmiştir:

1. Veri setinin tanımlanması
2. Veriye ait zaman serileri (aylık ve yıllık), tanımlayıcı istatistikler ve debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi
3. Hedeflenen çevresel yönetim sınıfına göre çevresel su ihtiyacı tahmini

Ayrıca işlem adımları Şekil 3.5’de verilmiştir.



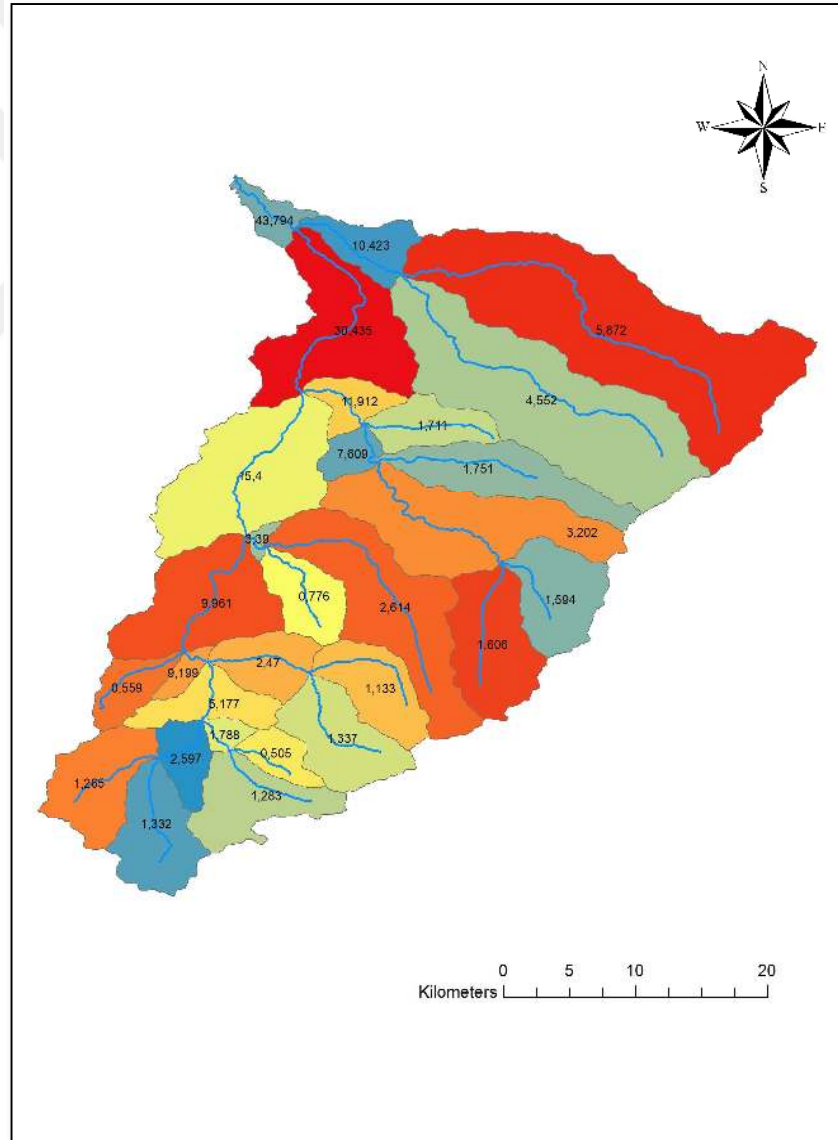
Şekil 3.5 GEFC metodunda işlem adımları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

GEFC metodu ile her bir yönetim sınıfı için hesaplanmış aylık ortalama çevresel su ihtiyacı tahminleri Ek 1’de verilmiştir.

Aylık ortalamalardan yararlanılarak hesaplanmış olan yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı her bir yönetim sınıfı için Şekil 4.1 ile Şekil 4.7 arasında sunulmuştur.

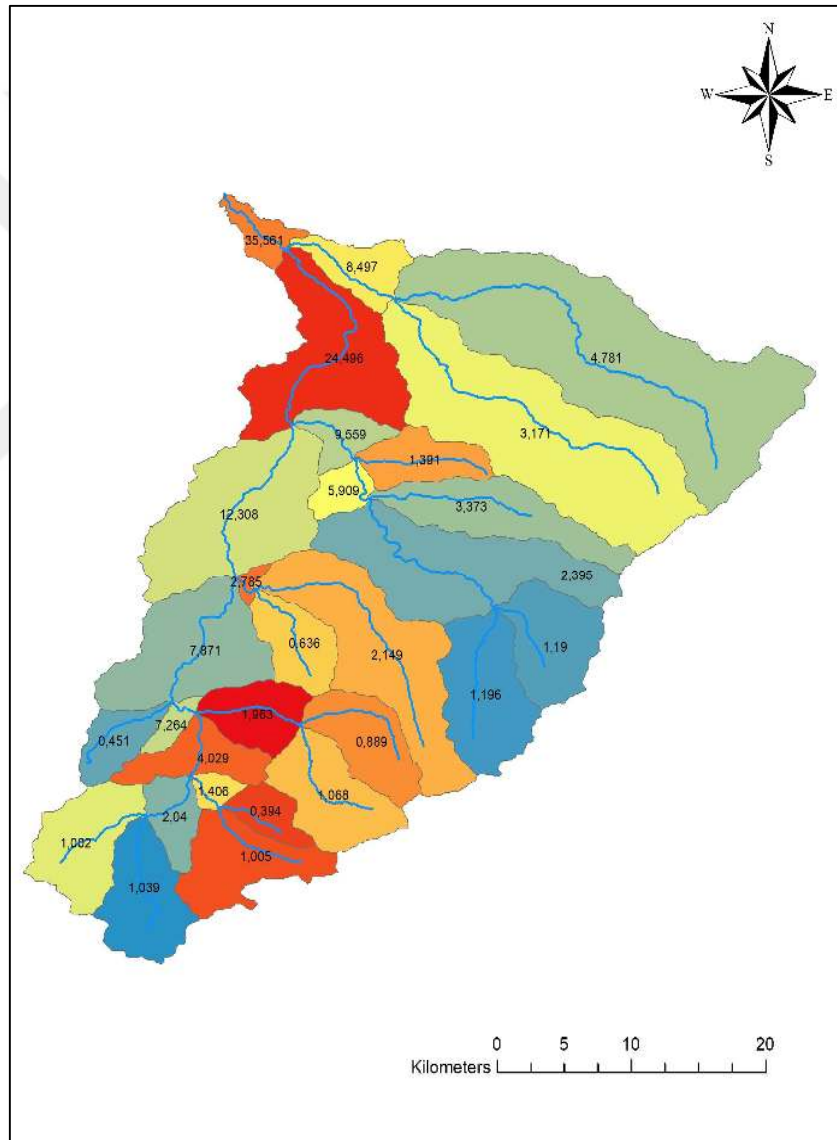
Metota tanımlanan referans akışlar, halihazırda akarsuda bulunan akışları temsil etmektedir. Alt havzalardaki yıllık ortalama doğal akış değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fırtına Deresi kollarında referans akışlar (m³/sn)

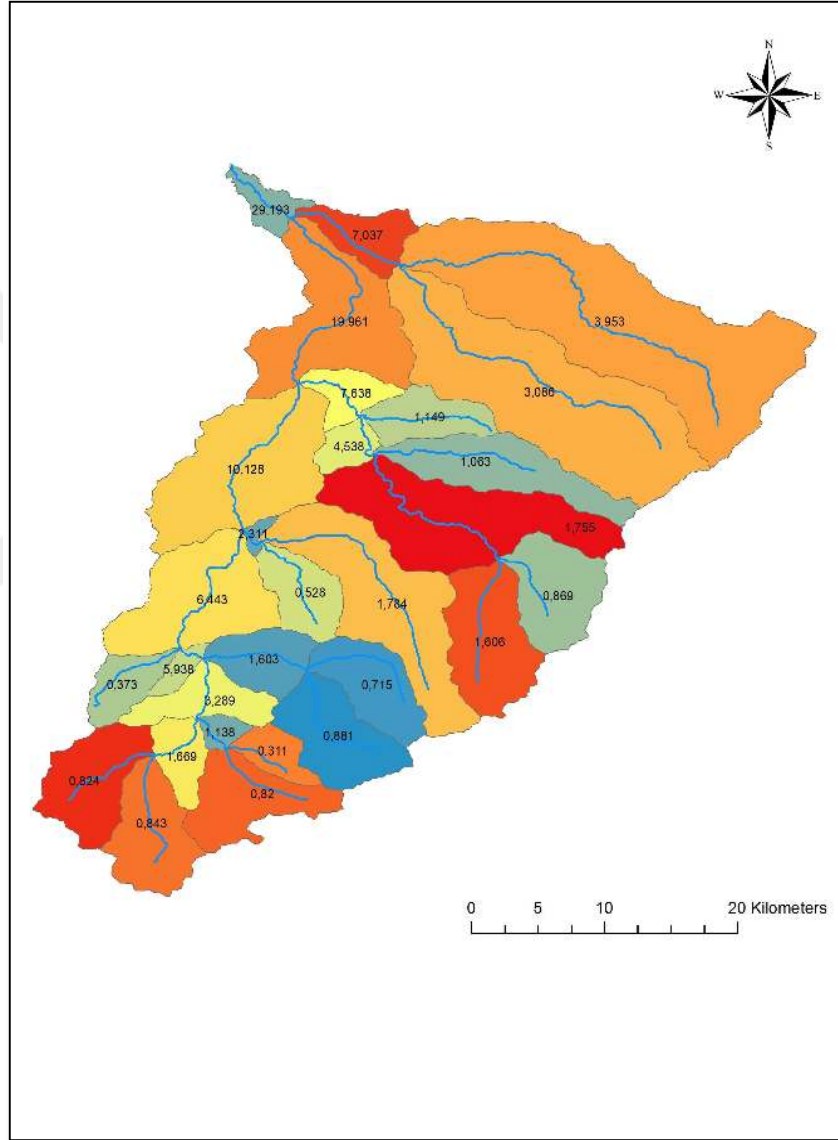
Fırtına Deresi alt havzalarında A çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 4.2’de sunulmuştur. ÇYS’nin A sınıfı olması hedeflendiğinde su temin projelerine havzada kesinlikle yer verilmemelidir.

Ekolojik öneme sahip korunan alanlar ve milli parklar için bu çevresel yönetim sınıfı tercih edilmektedir. Bu yönetim sınıfının hedeflenmesi durumunda sucul ekosistem ve kıyı habitatlarında küçük ölçekli değişiklikler kabul edilebilir fakat nehrin doğallığını etkileyecek önemli değişiklikler söz konusu olamaz.



Şekil 4.2. GEFC metodu ile A kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

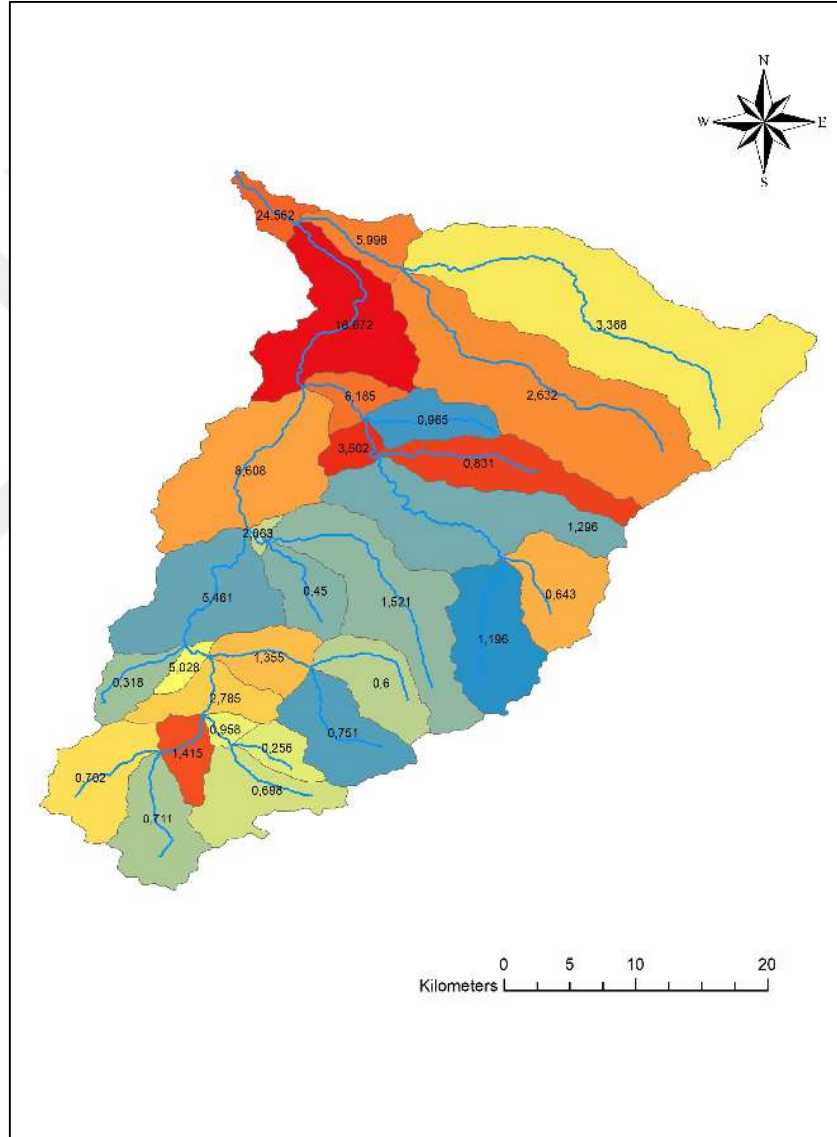
Fırtına Deresi alt havzalarında B çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı Şekil 4.3’de sunulmuştur. ÇYS’nin B sınıfı olması hedeflendiğinde, havzada ve nehir yatağı boyunca bazı değişiklikler meydana gelebilir fakat bu değişikliklere rağmen akarsudaki biyoçeşitlilik ve habitat büyük oranda korunmaktadır. Su teminiyle ilgili halihazırdaki ve planlanan projeler ÇYS’nin izin verdiği ölçüde hayata geçirilebilir.



Şekil 4.3. GEFC metodu ile B kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

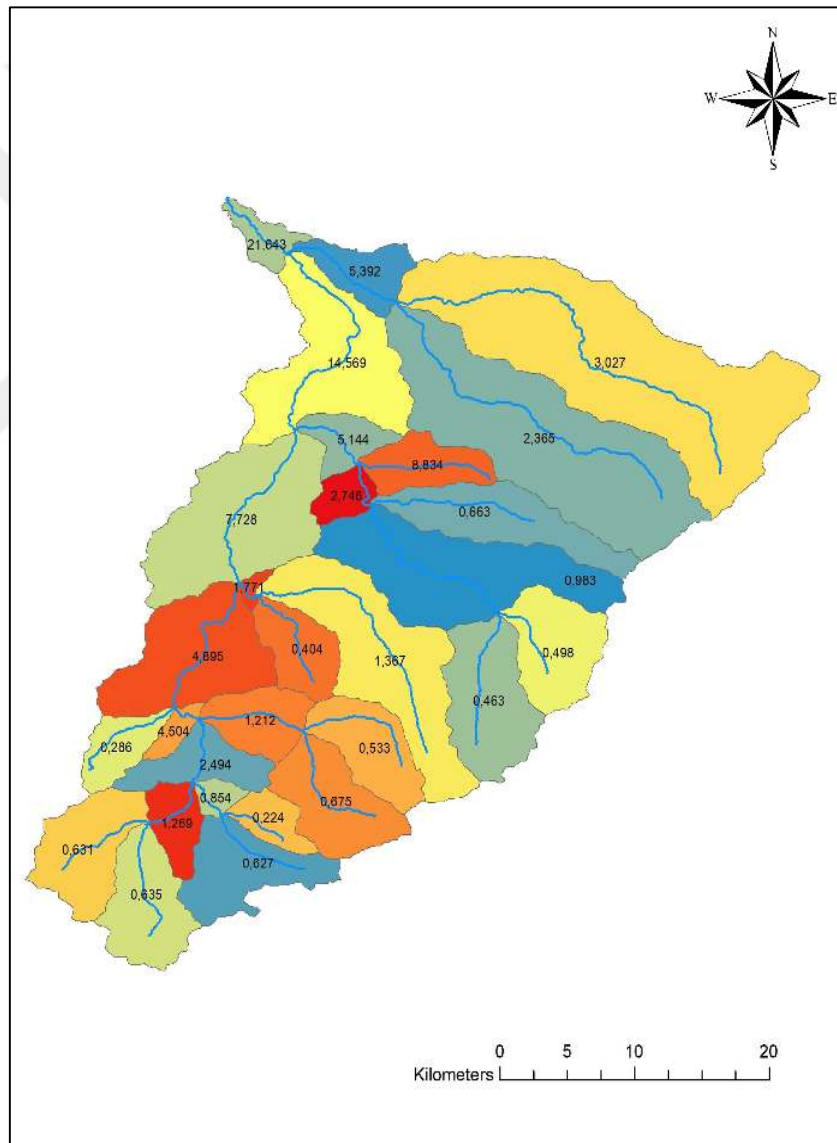
Fırtına Deresi alt havzalarında C çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 4.4’de sunulmuştur. Akarsu için sosyoekonomik

kalkınmaya duyulan gereksinim gibi nedenlerle (örneğin barajlar) ÇYS'nin C sınıfı olması hedeflendiğinde, habitatta değişiklikler ve su kalitesinde düşme meydana gelebilmektedir. Bunun yanı sıra nehir yatağında yabancı türler ortaya çıkabilir ve bazı hassas türler kaybolabilir. Bu değişiklikler sonucunda biyotanın habitatları, dinamikleri bozulabilir ve sadece temel ekosistem işlevleri işleyişini sürdürebilecektir.



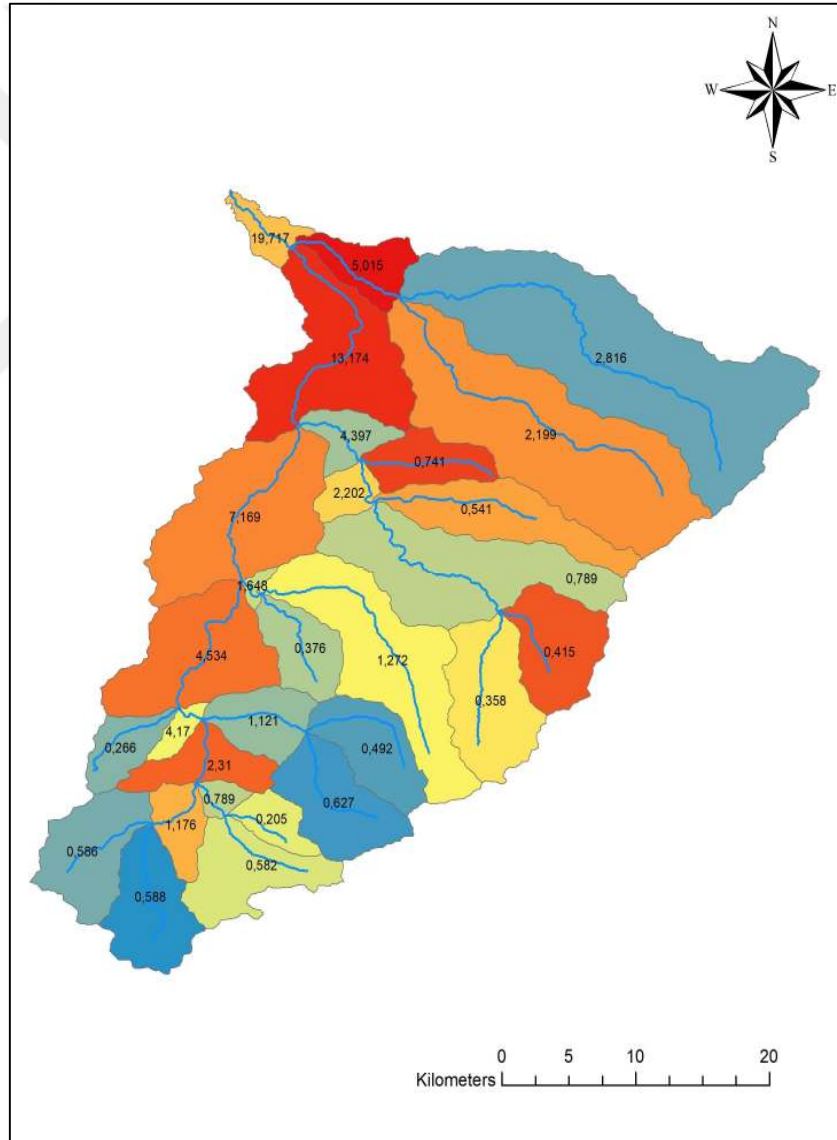
Şekil 4.4. GEFC metodu ile C kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

Fırtına Deresi alt havzalarında D çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 4.5’de sunulmuştur. ÇYS’nin D sınıfı olması halinde akarsuda büyük ölçüde değişiklikler meydana gelecektir. Barajlar, havzadan su transferleri vb. sosyoekonomik ihtiyaçlar nedeniyle habitatın büyük bir değişime uğradığı, su kalitesinin düştüğü akarsular bu sınıfta yer almaktadır. D sınıfının hedeflendiği akarsularda doğal yaşam alanlarında büyük değişikliklerin meydana gelmesi beklenmektedir. Tür zenginliğinde azalma, yabancı türlerin hakimiyeti söz konusu olabilmektedir. Sucul ekosistemdeki bozulma açık bir şekilde görülebilir.



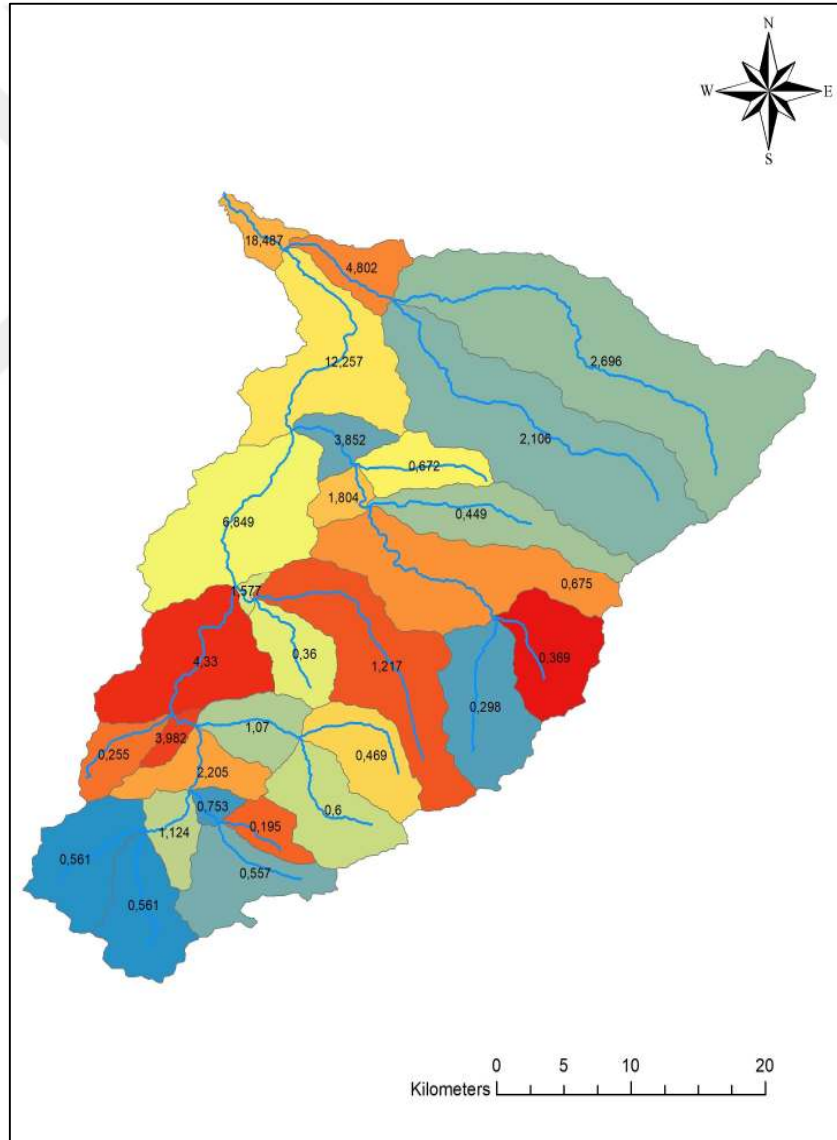
Şekil 4.5. GEFC metodu ile D kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

Fırtına Deresi alt havzalarında E çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 4.6’da sunulmuştur. ÇYS’nin E sınıfı olması hedeflendiğinde, akarsuda ciddi değişiklikler meydana gelebilmektedir. Yüksek nüfus yoğunluğu, büyük oranda su kaynakları kullanımı ile habitat çeşitliliği oldukça azalmış ve tür zenginliği büyük ölçüde düşmüş akarsulardır. Yabancı türler ekosistemi tümüyle istila eder. Tüm bunlar göz önüne alındığında bu sınıf bir yönetim hedefi olarak kabul edilmemelidir ve akış düzenini eski haline getirebilecek yönetim müdahaleleri gerekmektedir. Daha yüksek yönetim sınıfları hedeflenmelidir.



Şekil 4.6. GEFC metodu ile E kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

Fırtına Deresi alt havzalarında F çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 4.7’de sunulmuştur. ÇYS’nin F sınıfı olması hedeflendiğinde, sucul ekosistem tümüyle değiştirilmiş olacaktır. Bu sınıfın kabul edilmesi durumunda tüm sucul ekosistemin tamamen kaybedilmesi söz konusudur. Temel ekosistem işlevlerinin yok edilmesi nedeniyle değişiklikler geri alınamaz düzeye gelebilmektedir. Bu bir su kaynağının yönetimi açısından kabul edilebilir bir durum değildir. Akarsuyun daha yüksek seviyede bir yönetim sınıfına taşınması için ciddi yönetim müdahaleleri ile akış düzeni ve akarsu habitatları yeniden kurulmalıdır.



Şekil 4.7. GEFC metodu ile F kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m³/sn)

GEFC metodu ile yönetim sınıflarına göre çevresel su ihtiyacı debilerinin yanı sıra akarsuda bulunması gereken ortalama yıllık akış yüzdeleri de hesaplanabilmektedir. Alt havzalar için hesaplanmış olan yıllık ortalama akış yüzdeleri her bir çevresel yönetim sınıfı için Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çevresel yönetim sınıfları için yıllık ortalama akış yüzdeleri (%)

Fırtına Deresi Alt Havzaları	Sınıf A	Sınıf B	Sınıf C	Sınıf D	Sınıf E	Sınıf F
R1	79.6	65.3	55.7	50.0	46.4	44.3
R2	78.7	63.8	53.8	48.0	44.4	42.3
R3	78.9	64.4	54.7	49.1	45.6	43.6
R4	76.4	60.1	49.6	43.3	39.5	37.5
R5	80.6	66.7	56.9	51.1	47.5	45.5
R6	82.0	68.0	58.0	52.1	48.4	46.3
R7	80.0	65.9	56.2	50.5	46.9	44.8
R8	78.3	62.9	52.8	46.9	43.2	41.1
R9	82.1	68.2	58.2	52.3	48.6	46.5
R10	81.4	66.8	56.3	49.6	45.1	42.3
R11	73.7	53.8	39.9	30.9	25.7	22.7
R12	77.4	59.9	46.8	37.3	30.4	25.3
R13	81.8	67.6	56.8	49.0	43.5	39.5
R14	82.0	68.0	58.1	52.2	48.5	46.4
R16	73.5	53.5	38.7	28.4	22.0	18.3
R15	81.6	67.5	57.5	51.7	48.0	45.9
R20	81.8	67.7	57.7	51.9	48.2	46.1
R70	80.8	65.8	55.0	48.0	43.4	40.3
R100	79.6	63.6	51.5	42.8	36.6	32.0
R140	77.1	59.3	45.8	35.9	28.8	23.5
R200	80.4	66.1	56.2	50.4	46.7	44.6
R210	82.2	68.2	58.2	52.3	48.6	46.5
R220	73.9	54.1	40.0	30.3	24.3	20.7
R270	79.5	65.0	55.1	49.3	45.7	43.6
R290	79.4	64.8	54.9	49.1	45.4	43.3
R310	79.6	64.8	54.9	49.0	45.3	43.2
R340	79.1	64.5	54.6	48.9	45.2	43.1
R360	78.3	63.3	53.3	47.4	43.8	41.7
R380	79.2	64.7	54.9	49.1	45.5	43.4

Tablo 4.1’de de görüldüğü gibi Fırtına Deresi alt havzalarında bulunması gereken yıllık ortalama akış yüzdeleri her bir ÇYS için değişkenlik göstermektedir.

Havza genelinde çevresel yönetim sınıflarına göre yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı, su potansiyelinin Sınıf A için %79,27, Sınıf B için %63,94, Sınıf C için %53,17, Sınıf D için %46,44 Sınıf E için %42,08 ve Sınıf F için %39,45’i olmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sucul ekosistemlerin korunması için çevresel su ihtiyacının göz önüne alınarak su kaynaklarının planlanması zorunluluk haline gelmiştir.

Bu çalışmada GEFC (Global Environmental Flow Calculator) metodu kullanılarak Fırtına Deresi havzasında çevresel su ihtiyacı hesaplamaları 28 alt havzanın mansabı için yapılmıştır. Alt havza içerisinde yer alan akarsu kolu boyunca istenilen kesitte çevresel su ihtiyacı tahminleri gerek duyulması halinde yapılmalıdır.

Fırtına Deresi sucul ekosistem açısından büyük öneme sahip, koruma değeri yüksek olan bir akarsuyumuzdur. Halihazırda havza milli park olarak ilan edilmiştir. Bu nedenlerle A kalite çevresel yönetim sınıfı hedefiyle yönetilmesi tavsiye edilmektedir. Bu çerçevede Fırtına Deresinin doğal halinin korunması gerekmektedir ve su kullanımıyla ilgili projelere izin verilmemelidir.

Çevresel su ihtiyacı hesaplamalarında çoğunlukla tercih edilen tek bir akış değeri yerine her bir alt havza için ayrı ayrı çevresel su ihtiyaçları hesaplamaları bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Hedeflenen çevresel yönetim sınıfı, akarsudaki doğal akışın belirli bir yüzdesinin çevresel su ihtiyacı olarak bırakılmasını öngörmektedir. Mevcut durum ve gelişmeler göz önüne alınarak havza ve akarsuya uygun çevresel yönetim sınıfı belirlenmeli ve çevresel su ihtiyacı hesaplamaları sonucu elde edilen miktar akarsu yatağına bırakılmalıdır. A kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %73,5'i maksimum %82,2'si, B kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %53,5'i maksimum %68,2'si, C kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %38,7'si maksimum %58,2'si, D kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %28,4'ü maksimum %52,3'ü, E kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %22,0'si maksimum %48,6'sı ve F kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %18,3'ü maksimum %46,5'i akarsu yatağında bulunmalıdır.

Minimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı R4 alt havzasında $0,394 \text{ m}^3/\text{sn}$, maksimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı ise R16 alt havzasında $35,56 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak A kalite ÇYS için hesaplanmıştır.

Çevresel su ihtiyacı hesaplamalarında birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan yöntemin yanı sıra özellikle Fırtına Deresi gibi ekolojik önemi yüksek havzalarda, hidrolojik temelli çevresel su ihtiyacı hesaplama metotları dışında ekosistemin yapı ve fonksiyonunu esas alan hesaplama yöntemlerinin kullanılması (Habitat Simülasyon Yöntemleri gibi) önerilmektedir.

GEFC (Global Environmental Flow Calculator) metodu hidrolojik bir yöntemdir. Diğer hidrolojik çevresel su ihtiyacı yöntemleriyle hesaplamalar yapılarak kıyaslamalar yapılabilir. Ayrıca gelecekteki iklim dinamiklerinin çevresel su ihtiyacı miktarlarında nasıl bir değişikliğe neden olacağı araştırılmalıdır.



6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

- Ahn, J. M., Kwon, H. G., Yang, D. S., & Kim, Y. S. (2018). Assessing environmental flows of coordinated operation of dams and weirs in the Geum River basin under climate change scenarios. *Science of The Total Environment*, 643, 912-925.
- Allan, J. D. (1995). *Stream Ecology. Structure and function of running waters-* Chapman and Hall, New York, 1-388.
- Annear, T., Chisholm, I., Beecher, H., Locke, A., Aarrestad, P., Burkardt, N., ... & Wentworth, R. (2002). *Instream flows for riverine resource stewardship*.
- Aras, E. (2009). *Hidrolik yapılar üzerinde gerçekleşen havalanmanın nehirlerdeki çözünmüş oksijen dengesi ve atık su arıtma sistemlerinin optimizasyonu üzerine etkileri* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arthington, A. H., Rall, J. L., Kennard, M. J., & Pusey, B. J. (2003). Environmental flow requirements of fish in Lesotho rivers using the DRIFT methodology. *River Research and Applications*, 19(5-6), 641-666.
- Atay, D., & Pulatsü, S. (2000). Su kirlenmesi ve kontrolü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1513.
- Ateş, H. (2013). *Akarsularda Çevresel Akışın Önemi ve Büyük Menderes Havzası Örneği*, (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Brown, C. A., & Joubert, A. (2003). Using multicriteria analysis to develop environmental flow scenarios for rivers targeted for water resource management. *Water Sa*, 29(4), 365-374.
- Caissie, D., & El-Jabi, N. (1995). Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22(2), 235-246.
- Calow, P. P., & Petts, G. E. (Eds.). (2009). *The rivers handbook: hydrological and ecological principles*. John Wiley & Sons.
- Çimenci, V. (2011). *Küçük hidroelektrik santraller ve dere yatağında bırakılması gereken can suyu miktarı* (Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Davis, R., & Hirji, R. (2003). Water resources and environment technical note c1, environmental flows: concepts and methods. *The World Bank, Washington*.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., & Gürgen, G. (2018). Kaçkar Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 36(1-2).
- Egemen, Ö., & Sunlu, U. (1996) Su Kalitesi Ders Kitabı. *Ege Üniversitesi Yayınevi, İzmir*, 153s.
- Girgin, S., & Kazancı, G. (1994). Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi I Ankara Çayı'nda Su Kalitesinin Fiziko Kimyasal ve Biyolojik Yöntemlerle Belirlenmesi.
- Göksu, M. Z. L. (2003). *Su kirliliği (ders kitabı)*. Nobel Kitabevi.
- Goring, D. G., & Biggs, B. J. F. (1996). The effect of velocity and turbulence on the growth of periphyton in a cobble-bed stream: The 5-stone experiment. In *2nd IAHR International Symposium on Habitat Hydraulics: A239-A250*.
- Güner, A., Vural, M., & Sorkun, K. (1987). Rize Florası. *Vejetasyonu ve Yöre Ballarının Polen Analizi, TÜBİTAK Matematik, Fiziki ve Biyolojik Bilimler Araştırma Gurubu, Proje No: TBAG-650, Ankara*.

- Hirji, R., & Davis, R. (2009). Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: findings and recommendations. *World Bank Publications*.
- Hughes, D. A. (2001). Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African rivers. *Journal of hydrology*, 241(1-2), 140-151.
- Hugues, F. M. R. and Rood, S. B. (2003). Allocation of river flows for restoration of floodplain forest ecosystems: A review of approaches and their applicability in europe, *Environ. Manage.*, 32, 12–33.
- Joshi, K. D., Jha, D. N., Alam, A., Srivastava, S. K., Kumar, V., & Sharma, A. P. (2014). Environmental flow requirements of river Sone: impacts of low discharge on fisheries. *Current Science*, 478-488.
- Karakaya, N., & Gönenç, İ. E. (2010). Türkiye'de havzalar arası su transferi için bir karar destek sistemi önerisi. *İTÜDERGİSİ/e*, 16(1-3).
- Karakoyun, Y. (2014). *Hidroelektrik Santrallerde Çevresel Akış Miktarının Belirlenmesi ve Çambaşı Hes Örneği* (Yükseklisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Karakoyun, Y., & Yumurtacı, Z. Hidroelektrik Santral Projelerinde Çevresel Akis Miktarının ve Çevresel Etkinin Değerlendirmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 1-16.
- Karim, K., Gubbels, M. E., & Goulter, I. C. (1995). Review of Determination of Instream Flow Requirements with Special Application to Australia 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 31(6), 1063-1077.
- Karr, J. R. (1991). Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological applications*, 1(1), 66-84.
- Kepekçi, M. M. (2016). *Akarsularda bırakılması gereken çevresel akış miktarı hesap yöntemleri ve Doğu Karadeniz örneği* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- King, J., & Louw, D. (1998). Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1(2), 109-124.
- King, J., Brown, C., & Sabet, H. (2003). A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River research and applications*, 19(5-6), 619-639.
- Köle, M. M. (2014). Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılması gereken çevresel akış miktarının değerlendirilmesi (Environmental Flow Assessment for Downstream of Koyunbaba Dam). *Coğrafi Bilimler Dergisi/Turkish Journal of Geographical Sciences*, 12(2), 149-159.
- Liu, J., Liu, Q., & Yang, H. (2016). Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological indicators*, 60, 434-441.
- Marotz, B., & Muhlfeld, C. (2000). Evaluation of minimum flow requirements in the South Fork Flathead river downstream of Hungry Horse dam. *Montana*, 19-19.
- McCarthy, J. H. (2003). Wetted Perimeter Assessment, Shoal Harbour River, Shoal Harbour, Clarendville, Newfoundland. *AMEC Earth & Environmental Limited, St Jogh'n's, NL*.
- Mutlu, E., Yanık, T., & Demir, T. (2013). Horohon Deresi (Hafik-Sivas) Su Kalitesi Özelliklerinin Aylık Değişimleri/Horohon Stream (Hafik-Sivas) Water Quality Characteristics and Monthly Variations. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 25(2), 45-57.
- Okumuş, E. (2011). Nehir Ekosistemlerinde Çevresel Akışın Belirlenmesi. *Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü Yayınları*.

- Ölmez, M., & Saraç, D. (2009). Su Ürünleri İçin Ph'nın Önemi. *Ziraat Mühendisliği*, (353), 12-17.
- Papadaki, C., Soulis, K., Ntoanidis, L., Zogaris, S., Dercas, N., & Dimitriou, E. (2017). Comparative assessment of environmental flow estimation methods in a Mediterranean mountain river. *Environmental Management*, 60(2), 280-292.
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., ... & Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater biology*, 55(1), 147-170.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestagard, B.D. Richter, R.E. Sparks, and J.C. Stromberg. (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Pyrice, R. (2004). Hydrological Low Flow Indicators and Their Uses. *Watershed Science Centre (WSC), Ontario*.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation biology*, 10(4), 1163-1174.
- Richter, B. D., Mathews, R., Harrison, D. L., & Wigington, R. (2003). Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological applications*, 13(1), 206-224.
- Salik, K. M., Hashmi, M. Z. U. R., & Ishfaq, S. (2016). Environmental flow requirements and impacts of climate change-induced river flow changes on ecology of the Indus Delta, Pakistan. *Regional Studies in Marine Science*, 7, 185-195.
- Shafroth, P. B., Wilcox, A. C., Lytle, D. A., Hickey, J. T., Andersen, D. C., Beauchamp, V. B., ... & Warner, A. (2010). Ecosystem effects of environmental flows: modelling and experimental floods in a dryland river. *Freshwater Biology*, 55(1), 68-85.
- Smakhtin, V. U., & Anputhas, M. (2006). *An assessment of EF requirements of Indian river basins*. Research Report 107, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Suwal, N., Huang, X., Kuriqi, A., Chen, Y., Pandey, K. P., & Bhattarai, K. P. (2020). Optimisation of cascade reservoir operation considering environmental flows for different environmental management classes. *Renewable Energy*, 158, 453-464.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su İşleri Genel Müdürlüğü. (b.t). *Su kaynakları tahsis planları*. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?Sayfald=10>
- Tandoğan, A. (2017). Çayeli ve Pazar İlçelerinin Ekonomik Yapısı. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 29(1-4).
- Tanyolaç, J. (2004). Limnoloji (3. baskı). *Ankara: Hatipoğlu Yayınevi*, 237.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River research and applications*, 19(5-6), 397-441.
- Tuna, H., Malkoç, F., & Yılmaz, Ö. *Çoruh havzasında SPI ile kuraklık analizi ve çevresel etkileri*.
- Waddle, T. (2001). *PHABSIM for Windows user's manual and exercises* (No. 2001-340). US Geological Survey.
- Yasi, M., & Ashori, M. (2017). Environmental flow contributions from in-basin rivers and dams for saving Urmia Lake. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 41(1), 55-64.
- Yin, X. A., & Yang, Z. F. (2011). Development of a coupled reservoir operation and water diversion model: Balancing human and environmental flow requirements. *Ecological Modelling*, 222(2), 224-231.

Yüksek, T., Kalay, H. Z., & Yüksek, F. (2004). Pazar deresi havzasında arazi kullanım problemleri. *SDU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(3), 121-127.



7. EKLER

EK 1

Tablo Ek.1 Fırtına Deresi alt havzalarının çevresel yönetim sınıflarına göre aylık çevresel su ihtiyacı sonuçları (m³/sn).

Alt Havzalar	Aylar	Referans	Sınıf A	Sınıf B	Sınıf C	Sınıf D	Sınıf E	Sınıf F
R1	Ekim	0,800	0,745	0,681	0,648	0,567	0,522	0,512
	Kasım	0,806	0,757	0,721	0,647	0,580	0,565	0,562
	Aralık	0,637	0,542	0,511	0,507	0,507	0,507	0,507
	Ocak	0,525	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524
	Şubat	0,528	0,513	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507
	Mart	0,724	0,678	0,627	0,546	0,528	0,524	0,524
	Nisan	1,608	0,960	0,793	0,711	0,668	0,634	0,550
	Mayıs	3,134	2,361	1,747	1,252	0,935	0,751	0,693
	Haziran	3,169	2,189	1,694	1,131	0,892	0,770	0,702
	Temmuz	1,703	1,311	0,810	0,746	0,690	0,654	0,608
	Ağustos	0,840	0,792	0,731	0,687	0,656	0,563	0,528
	Eylül	0,674	0,626	0,537	0,514	0,511	0,510	0,507
R2	Ekim	0,870	0,764	0,692	0,648	0,575	0,535	0,514
	Kasım	0,822	0,759	0,720	0,630	0,582	0,567	0,562
	Aralık	0,636	0,542	0,511	0,507	0,507	0,507	0,507
	Ocak	0,525	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524
	Şubat	0,528	0,513	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507
	Mart	0,742	0,692	0,631	0,566	0,542	0,528	0,524
	Nisan	1,649	1,062	0,792	0,729	0,678	0,633	0,562
	Mayıs	3,388	2,474	1,868	1,242	0,935	0,754	0,696
	Haziran	3,412	2,417	1,761	1,222	0,928	0,789	0,709
	Temmuz	1,846	1,315	0,882	0,778	0,721	0,656	0,596
	Ağustos	0,847	0,777	0,726	0,676	0,625	0,542	0,525
	Eylül	0,697	0,633	0,548	0,524	0,517	0,512	0,508
R3	Ekim	0,792	0,724	0,674	0,643	0,563	0,519	0,506
	Kasım	0,804	0,752	0,716	0,642	0,575	0,561	0,558
	Aralık	0,632	0,538	0,507	0,504	0,504	0,504	0,504
	Ocak	0,521	0,521	0,521	0,521	0,521	0,521	0,521
	Şubat	0,524	0,509	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504
	Mart	0,719	0,673	0,622	0,542	0,524	0,521	0,521
	Nisan	1,600	0,971	0,795	0,708	0,665	0,630	0,548
	Mayıs	3,205	2,259	1,660	1,157	0,893	0,736	0,680
	Haziran	3,308	2,373	1,769	1,214	0,922	0,774	0,705
	Temmuz	1,755	1,305	0,813	0,741	0,686	0,650	0,603
	Ağustos	0,835	0,785	0,725	0,681	0,649	0,556	0,524
	Eylül	0,668	0,622	0,532	0,510	0,508	0,507	0,504

R4	Ekim	0,348	0,290	0,256	0,225	0,203	0,186	0,179
	Kasım	0,293	0,266	0,250	0,217	0,202	0,195	0,193
	Aralık	0,221	0,188	0,176	0,175	0,175	0,175	0,175
	Ocak	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181
	Şubat	0,183	0,177	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
	Mart	0,277	0,251	0,225	0,203	0,194	0,185	0,181
	Nisan	0,768	0,547	0,349	0,288	0,250	0,228	0,211
	Mayıs	1,437	1,090	0,796	0,548	0,368	0,282	0,250
	Haziran	1,207	0,872	0,598	0,396	0,321	0,267	0,242
	Temmuz	0,596	0,370	0,285	0,256	0,233	0,222	0,191
	Ağustos	0,295	0,272	0,246	0,232	0,205	0,185	0,181
	Eylül	0,250	0,228	0,191	0,182	0,180	0,178	0,176
R5	Ekim	0,372	0,339	0,310	0,295	0,259	0,239	0,234
	Kasım	0,363	0,341	0,327	0,295	0,264	0,257	0,256
	Aralık	0,289	0,247	0,232	0,231	0,231	0,231	0,231
	Ocak	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
	Şubat	0,240	0,234	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231
	Mart	0,328	0,307	0,285	0,248	0,241	0,240	0,239
	Nisan	0,694	0,416	0,350	0,318	0,300	0,286	0,247
	Mayıs	1,330	0,946	0,743	0,505	0,412	0,330	0,309
	Haziran	1,390	1,080	0,813	0,575	0,413	0,356	0,321
	Temmuz	0,773	0,617	0,375	0,339	0,312	0,297	0,280
	Ağustos	0,380	0,357	0,328	0,310	0,297	0,255	0,240
	Eylül	0,305	0,284	0,244	0,234	0,233	0,232	0,231
R6	Ekim	0,500	0,465	0,434	0,415	0,369	0,335	0,327
	Kasım	0,511	0,481	0,460	0,419	0,369	0,361	0,361
	Aralık	0,409	0,348	0,328	0,326	0,326	0,326	0,326
	Ocak	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
	Şubat	0,338	0,330	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327
	Mart	0,456	0,428	0,397	0,345	0,337	0,337	0,337
	Nisan	0,944	0,574	0,485	0,446	0,421	0,404	0,347
	Mayıs	1,794	1,310	1,047	0,718	0,589	0,471	0,435
	Haziran	1,857	1,461	1,110	0,777	0,568	0,491	0,449
	Temmuz	1,072	0,877	0,535	0,478	0,441	0,418	0,397
	Ağustos	0,535	0,504	0,464	0,437	0,420	0,363	0,340
	Eylül	0,419	0,397	0,342	0,328	0,327	0,327	0,327
R7	Ekim	0,895	0,806	0,735	0,695	0,609	0,564	0,551
	Kasım	0,862	0,809	0,770	0,691	0,620	0,605	0,603
	Aralık	0,681	0,579	0,547	0,544	0,544	0,544	0,544
	Ocak	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562
	Şubat	0,564	0,549	0,544	0,544	0,544	0,544	0,544
	Mart	0,774	0,726	0,670	0,584	0,567	0,563	0,562
	Nisan	1,670	0,997	0,836	0,757	0,712	0,675	0,583
	Mayıs	3,242	2,426	1,786	1,284	0,966	0,790	0,734
	Haziran	3,348	2,404	1,892	1,265	0,988	0,835	0,757

	Temmuz	1,826	1,446	0,881	0,801	0,740	0,701	0,656
	Ağustos	0,898	0,846	0,780	0,734	0,699	0,599	0,565
	Eylül	0,721	0,669	0,573	0,551	0,548	0,547	0,544
R8	Ekim	0,723	0,660	0,578	0,545	0,480	0,447	0,432
	Kasım	0,681	0,634	0,601	0,527	0,484	0,474	0,470
	Aralık	0,532	0,451	0,427	0,424	0,424	0,424	0,424
	Ocak	0,439	0,438	0,438	0,438	0,438	0,438	0,438
	Şubat	0,446	0,433	0,428	0,426	0,424	0,424	0,424
	Mart	0,623	0,582	0,534	0,476	0,458	0,445	0,439
	Nisan	1,640	1,156	0,754	0,645	0,584	0,542	0,496
	Mayıs	3,137	2,376	1,734	1,247	0,864	0,664	0,594
	Haziran	2,690	1,825	1,379	0,859	0,722	0,625	0,577
	Temmuz	1,421	0,942	0,652	0,614	0,569	0,538	0,472
	Ağustos	0,701	0,651	0,610	0,566	0,527	0,454	0,439
	Eylül	0,567	0,521	0,447	0,430	0,427	0,426	0,424
R9	Ekim	1,664	1,569	1,462	1,402	1,247	1,130	1,106
	Kasım	1,728	1,626	1,556	1,418	1,248	1,222	1,222
	Aralık	1,381	1,178	1,110	1,104	1,104	1,104	1,104
	Ocak	1,141	1,141	1,141	1,141	1,141	1,141	1,141
	Şubat	1,145	1,115	1,104	1,104	1,104	1,104	1,104
	Mart	1,553	1,460	1,362	1,175	1,142	1,141	1,141
	Nisan	3,228	1,972	1,655	1,519	1,432	1,372	1,178
	Mayıs	6,159	4,296	3,416	2,308	1,923	1,582	1,465
	Haziran	6,432	5,327	4,019	2,858	2,029	1,699	1,547
	Temmuz	3,692	3,027	1,838	1,633	1,500	1,422	1,348
	Ağustos	1,819	1,726	1,586	1,488	1,431	1,239	1,151
	Eylül	1,424	1,348	1,154	1,107	1,104	1,104	1,104
R10	Ekim	1,115	0,717	0,453	0,324	0,273	0,250	0,244
	Kasım	0,680	0,453	0,341	0,292	0,274	0,269	0,269
	Aralık	0,319	0,266	0,248	0,244	0,243	0,243	0,243
	Ocak	0,256	0,253	0,252	0,251	0,251	0,251	0,251
	Şubat	0,253	0,246	0,243	0,243	0,243	0,243	0,243
	Mart	0,538	0,378	0,297	0,267	0,254	0,251	0,251
	Nisan	2,145	1,515	1,010	0,653	0,441	0,328	0,272
	Mayıs	4,711	3,732	2,844	2,067	1,423	0,924	0,582
	Haziran	3,642	2,781	2,019	1,388	0,913	0,600	0,414
	Temmuz	2,971	2,190	1,514	0,984	0,608	0,389	0,299
	Ağustos	1,727	1,198	0,790	0,516	0,362	0,293	0,265
	Eylül	0,940	0,631	0,425	0,316	0,269	0,251	0,244
R11	Ekim	1,250	0,850	0,621	0,480	0,393	0,341	0,318
	Kasım	0,823	0,616	0,486	0,405	0,363	0,350	0,348
	Aralık	0,413	0,349	0,323	0,315	0,314	0,314	0,314
	Ocak	0,332	0,329	0,326	0,325	0,325	0,325	0,325
	Şubat	0,337	0,320	0,315	0,314	0,314	0,314	0,314
	Mart	0,643	0,499	0,412	0,362	0,336	0,326	0,325

	Nisan	2,297	1,498	0,977	0,693	0,525	0,419	0,354
	Mayıs	4,687	3,831	2,866	1,927	1,239	0,835	0,609
	Haziran	4,041	2,987	2,012	1,328	0,890	0,643	0,495
	Temmuz	2,642	1,785	1,150	0,786	0,580	0,455	0,377
	Ağustos	0,850	0,626	0,477	0,399	0,359	0,338	0,329
	Eylül	0,810	0,594	0,462	0,386	0,342	0,322	0,316
R12	Ekim	1,669	1,284	1,017	0,832	0,675	0,536	0,425
	Kasım	1,372	1,089	0,872	0,704	0,571	0,457	0,375
	Aralık	0,974	0,787	0,614	0,486	0,396	0,326	0,287
	Ocak	0,714	0,567	0,470	0,386	0,319	0,291	0,272
	Şubat	0,909	0,729	0,579	0,466	0,380	0,320	0,283
	Mart	1,423	1,140	0,919	0,744	0,598	0,469	0,377
	Nisan	2,659	1,988	1,495	1,178	0,964	0,781	0,604
	Mayıs	4,263	3,358	2,540	1,877	1,427	1,132	0,918
	Haziran	4,033	3,146	2,351	1,755	1,350	1,082	0,879
	Temmuz	1,704	1,333	1,028	0,806	0,643	0,524	0,429
	Ağustos	0,564	0,466	0,383	0,325	0,288	0,270	0,261
	Eylül	0,734	0,592	0,492	0,409	0,342	0,300	0,277
R13	Ekim	1,568	1,297	1,103	0,951	0,824	0,735	0,662
	Kasım	1,399	1,192	1,030	0,903	0,803	0,705	0,639
	Aralık	0,986	0,861	0,761	0,682	0,594	0,538	0,514
	Ocak	0,766	0,671	0,625	0,586	0,550	0,531	0,529
	Şubat	0,869	0,751	0,674	0,606	0,565	0,533	0,515
	Mart	1,402	1,191	1,024	0,883	0,782	0,701	0,636
	Nisan	2,627	1,900	1,523	1,273	1,079	0,934	0,822
	Mayıs	3,972	3,256	2,542	1,932	1,520	1,260	1,073
	Haziran	3,514	2,647	2,004	1,584	1,313	1,116	0,965
	Temmuz	1,624	1,329	1,124	0,968	0,848	0,757	0,665
	Ağustos	0,871	0,780	0,679	0,584	0,553	0,538	0,529
	Eylül	0,930	0,813	0,698	0,630	0,584	0,550	0,520
R14	Ekim	3,014	2,723	2,546	2,432	2,155	1,986	1,918
	Kasım	3,064	2,838	2,713	2,439	2,198	2,142	2,118
	Aralık	2,390	2,038	1,920	1,909	1,909	1,909	1,909
	Ocak	1,973	1,973	1,973	1,973	1,973	1,973	1,973
	Şubat	1,981	1,929	1,909	1,909	1,909	1,909	1,909
	Mart	2,698	2,530	2,351	2,049	1,977	1,973	1,973
	Nisan	5,605	3,413	2,863	2,629	2,478	2,374	2,038
	Mayıs	10,757	7,443	5,793	4,035	3,269	2,771	2,530
	Haziran	11,091	9,203	7,073	4,900	3,568	2,904	2,680
	Temmuz	6,409	5,236	3,181	2,825	2,596	2,460	2,333
	Ağustos	3,148	2,930	2,692	2,547	2,424	2,074	1,979
	Eylül	2,493	2,349	2,016	1,932	1,924	1,918	1,910
R15	Ekim	3,695	3,458	3,230	3,099	2,738	2,497	2,447
	Kasım	3,903	3,633	3,470	3,154	2,802	2,734	2,710
	Aralık	3,059	2,609	2,458	2,444	2,444	2,444	2,444

	Ocak	2,526	2,526	2,526	2,526	2,526	2,526	2,526
	Şubat	2,536	2,469	2,444	2,444	2,444	2,444	2,444
	Mart	3,439	3,233	3,016	2,603	2,527	2,526	2,526
	Nisan	7,240	4,425	3,698	3,372	3,177	3,042	2,617
	Mayıs	14,136	10,646	8,124	5,668	4,361	3,576	3,285
	Haziran	14,570	10,940	8,379	5,755	4,382	3,686	3,383
	Temmuz	8,172	6,643	4,037	3,608	3,317	3,146	2,977
	Ağustos	4,028	3,807	3,497	3,289	3,158	2,724	2,545
	Eylül	3,155	2,986	2,556	2,450	2,444	2,444	2,444
R16	Ekim	31,254	27,161	24,723	22,559	20,588	18,485	17,109
	Kasım	29,701	26,973	24,468	22,167	20,191	18,801	17,999
	Aralık	22,610	20,260	18,161	16,903	16,141	15,834	15,754
	Ocak	18,229	17,134	16,572	16,335	16,250	16,194	16,138
	Şubat	18,916	17,404	16,440	15,954	15,788	15,719	15,665
	Mart	26,980	24,645	22,421	20,314	18,560	17,336	16,694
	Nisan	56,583	39,429	29,364	26,185	24,038	21,966	19,542
	Mayıs	104,729	83,456	65,137	46,066	34,552	27,851	24,911
	Haziran	104,211	77,192	58,970	41,810	32,627	27,708	24,844
	Temmuz	59,819	45,893	30,865	26,944	24,768	22,703	20,426
	Ağustos	28,943	26,512	24,329	22,020	19,785	18,050	17,042
	Eylül	23,268	20,767	18,943	17,532	16,619	16,131	15,870
R20	Ekim	6,709	6,186	5,786	5,535	4,888	4,505	4,369
	Kasım	6,967	6,466	6,179	5,578	5,001	4,871	4,827
	Aralık	5,449	4,647	4,378	4,354	4,354	4,354	4,354
	Ocak	4,499	4,499	4,499	4,499	4,499	4,499	4,499
	Şubat	4,517	4,398	4,354	4,354	4,354	4,354	4,354
	Mart	6,137	5,761	5,356	4,649	4,504	4,499	4,499
	Nisan	12,844	7,779	6,527	5,993	5,649	5,413	4,647
	Mayıs	24,893	18,465	14,131	9,977	7,675	6,422	5,833
	Haziran	25,661	19,754	15,218	10,370	7,904	6,512	6,044
	Temmuz	14,581	11,937	7,251	6,440	5,918	5,608	5,319
	Ağustos	7,176	6,732	6,181	5,831	5,581	4,786	4,522
	Eylül	5,647	5,342	4,582	4,398	4,376	4,357	4,354
R70	Ekim	22,839	18,820	16,811	15,358	13,965	12,518	11,458
	Kasım	20,652	18,402	16,659	15,097	13,647	12,507	11,766
	Aralık	15,447	13,882	12,471	11,329	10,556	10,218	10,123
	Ocak	12,345	11,365	10,808	10,544	10,446	10,406	10,374
	Şubat	13,208	11,929	10,991	10,422	10,206	10,117	10,071
	Mart	19,410	17,360	15,762	14,316	12,922	11,799	11,040
	Nisan	41,179	29,777	21,292	18,324	16,651	15,258	13,669
	Mayıs	74,563	60,297	46,369	32,979	24,324	19,347	17,160
	Haziran	71,044	52,188	39,356	27,847	22,014	18,725	16,786
	Temmuz	39,736	28,711	20,686	18,106	16,492	15,099	13,506
	Ağustos	18,851	17,007	15,410	13,915	12,545	11,499	10,854
	Eylül	15,943	14,216	12,921	11,826	11,060	10,589	10,273

R100	Ekim	10,636	8,461	6,940	5,799	4,930	4,240	3,639
	Kasım	8,606	7,182	6,022	5,116	4,356	3,752	3,321
	Aralık	6,038	5,127	4,351	3,661	3,118	2,806	2,671
	Ocak	4,590	3,911	3,409	3,085	2,885	2,755	2,700
	Şubat	5,404	4,606	3,911	3,364	2,991	2,762	2,658
	Mart	8,629	7,146	5,993	5,103	4,349	3,716	3,214
	Nisan	17,501	13,095	10,068	8,133	6,753	5,728	4,867
	Mayıs	29,164	23,996	18,560	13,865	10,592	8,435	6,967
	Haziran	25,444	19,655	14,782	11,292	8,965	7,356	6,204
	Temmuz	14,457	11,096	8,763	7,195	6,020	5,117	4,320
	Ağustos	6,446	5,409	4,590	3,878	3,442	3,068	2,869
	Eylül	6,027	5,028	4,263	3,728	3,322	3,034	2,794
R140	Ekim	6,822	5,239	4,082	3,256	2,610	2,070	1,612
	Kasım	5,141	4,052	3,194	2,522	1,979	1,572	1,306
	Aralık	3,458	2,743	2,106	1,611	1,261	1,076	1,000
	Ocak	2,510	1,951	1,561	1,279	1,133	1,052	1,012
	Şubat	3,134	2,470	1,926	1,505	1,230	1,072	1,003
	Mart	5,365	4,241	3,363	2,683	2,095	1,615	1,300
	Nisan	11,248	8,408	6,322	4,900	3,903	3,117	2,427
	Mayıs	19,205	15,311	11,669	8,676	6,508	5,023	3,991
	Haziran	17,010	13,083	9,830	7,387	5,650	4,439	3,551
	Temmuz	10,117	7,713	5,862	4,548	3,588	2,857	2,222
	Ağustos	3,851	2,999	2,383	1,884	1,535	1,288	1,127
	Eylül	3,449	2,692	2,154	1,773	1,465	1,240	1,094
R200	Ekim	10,224	9,312	8,456	7,970	7,038	6,476	6,264
	Kasım	9,942	9,289	8,780	7,791	7,067	6,918	6,863
	Aralık	7,774	6,615	6,232	6,193	6,191	6,191	6,190
	Ocak	6,405	6,399	6,397	6,397	6,397	6,396	6,396
	Şubat	6,448	6,260	6,194	6,191	6,191	6,190	6,190
	Mart	8,922	8,328	7,648	6,756	6,491	6,428	6,401
	Nisan	19,820	12,061	9,710	8,855	8,202	7,751	6,743
	Mayıs	37,926	29,500	22,384	15,701	11,572	9,367	8,554
	Haziran	37,947	26,336	20,210	13,659	10,916	9,386	8,568
	Temmuz	20,910	16,384	9,939	9,151	8,577	7,970	7,407
	Ağustos	10,252	9,564	8,993	8,319	7,845	6,729	6,424
	Eylül	8,225	7,655	6,595	6,310	6,248	6,222	6,195
R210	Ekim	2,164	2,036	1,899	1,819	1,618	1,470	1,433
	Kasım	2,239	2,107	2,016	1,837	1,617	1,584	1,584
	Aralık	1,790	1,526	1,438	1,430	1,430	1,430	1,430
	Ocak	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478
	Şubat	1,483	1,445	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
	Mart	2,012	1,892	1,764	1,522	1,479	1,478	1,478
	Nisan	4,191	2,556	2,145	1,969	1,856	1,778	1,526
	Mayıs	7,997	5,569	4,450	2,999	2,505	2,052	1,900
	Haziran	8,334	6,904	5,187	3,697	2,615	2,199	2,003

	Temmuz	4,787	3,923	2,383	2,116	1,944	1,843	1,747
	Ağustos	2,360	2,232	2,050	1,927	1,851	1,599	1,490
	Eylül	1,847	1,747	1,495	1,434	1,430	1,430	1,430
R220	Ekim	2,164	2,036	1,899	1,819	1,618	1,470	1,433
	Kasım	2,239	2,107	2,016	1,837	1,617	1,584	1,584
	Aralık	1,790	1,526	1,438	1,430	1,430	1,430	1,430
	Ocak	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478	1,478
	Şubat	1,483	1,445	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
	Mart	2,012	1,892	1,764	1,522	1,479	1,478	1,478
	Nisan	4,191	2,556	2,145	1,969	1,856	1,778	1,526
	Mayıs	7,997	5,569	4,450	2,999	2,505	2,052	1,900
	Haziran	8,334	6,904	5,187	3,697	2,615	2,199	2,003
	Temmuz	4,787	3,923	2,383	2,116	1,944	1,843	1,747
	Ağustos	2,360	2,232	2,050	1,927	1,851	1,599	1,490
	Eylül	1,847	1,747	1,495	1,434	1,430	1,430	1,430
R270	Ekim	6,715	6,093	5,424	5,070	4,492	4,143	3,991
	Kasım	6,309	5,870	5,555	4,902	4,473	4,373	4,336
	Aralık	4,922	4,183	3,940	3,914	3,911	3,911	3,910
	Ocak	4,049	4,043	4,041	4,041	4,040	4,040	4,040
	Şubat	4,084	3,958	3,914	3,911	3,911	3,910	3,910
	Mart	5,695	5,289	4,842	4,299	4,109	4,062	4,044
	Nisan	12,988	8,207	6,332	5,736	5,233	4,922	4,322
	Mayıs	25,014	19,076	14,454	10,053	7,406	5,943	5,418
	Haziran	24,709	16,781	12,756	8,593	6,904	5,927	5,410
	Temmuz	13,283	10,070	6,215	5,764	5,386	5,030	4,612
	Ağustos	6,493	6,031	5,661	5,247	4,924	4,219	4,056
	Eylül	5,272	4,848	4,177	3,999	3,952	3,931	3,913
R290	Ekim	6,204	5,605	4,986	4,660	4,124	3,809	3,670
	Kasım	5,809	5,398	5,109	4,503	4,114	4,021	3,987
	Aralık	4,527	3,846	3,624	3,599	3,597	3,596	3,596
	Ocak	3,724	3,718	3,716	3,716	3,716	3,715	3,715
	Şubat	3,756	3,640	3,600	3,597	3,596	3,596	3,596
	Mart	5,248	4,869	4,456	3,960	3,781	3,736	3,719
	Nisan	12,039	7,722	5,845	5,308	4,825	4,532	3,992
	Mayıs	23,205	17,657	13,387	9,284	6,827	5,469	4,984
	Haziran	22,825	15,524	11,773	7,911	6,358	5,451	4,975
	Temmuz	12,227	9,180	5,706	5,296	4,946	4,623	4,224
	Ağustos	5,973	5,548	5,208	4,827	4,529	3,879	3,730
	Eylül	4,856	4,460	3,843	3,679	3,639	3,616	3,599
R310	Ekim	1,619	1,502	1,324	1,248	1,099	1,017	0,985
	Kasım	1,543	1,450	1,371	1,213	1,103	1,081	1,072
	Aralık	1,212	1,032	0,974	0,968	0,968	0,968	0,968
	Ocak	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Şubat	1,010	0,978	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968
	Mart	1,397	1,307	1,203	1,063	1,019	1,004	1,000

	Nisan	3,310	2,127	1,577	1,395	1,298	1,216	1,079
	Mayıs	6,379	4,944	3,691	2,663	1,881	1,478	1,347
	Haziran	6,038	4,089	3,196	2,052	1,692	1,460	1,328
	Temmuz	3,246	2,441	1,506	1,415	1,320	1,236	1,123
	Ağustos	1,599	1,495	1,403	1,299	1,224	1,048	1,004
	Eylül	1,288	1,191	1,022	0,981	0,976	0,972	0,968
R340	Ekim	3,426	3,096	2,751	2,577	2,272	2,101	2,030
	Kasım	3,209	2,985	2,827	2,486	2,275	2,225	2,208
	Aralık	2,504	2,131	2,006	1,992	1,992	1,991	1,991
	Ocak	2,061	2,059	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058
	Şubat	2,074	2,015	1,993	1,992	1,991	1,991	1,991
	Mart	2,899	2,700	2,468	2,199	2,094	2,068	2,059
	Nisan	6,620	4,118	3,200	2,883	2,663	2,504	2,198
	Mayıs	12,903	9,611	7,340	4,984	3,715	2,995	2,749
	Haziran	12,871	8,965	6,615	4,593	3,580	3,056	2,773
	Temmuz	6,834	5,119	3,189	2,938	2,746	2,565	2,350
	Ağustos	3,312	3,081	2,895	2,681	2,523	2,159	2,066
	Eylül	2,691	2,472	2,131	2,037	2,016	2,002	1,993
R360	Ekim	1,176	1,059	0,935	0,874	0,770	0,716	0,692
	Kasım	1,098	1,015	0,962	0,840	0,775	0,759	0,753
	Aralık	0,854	0,726	0,684	0,680	0,680	0,680	0,680
	Ocak	0,703	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702	0,702
	Şubat	0,707	0,687	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680
	Mart	0,996	0,930	0,848	0,763	0,719	0,705	0,702
	Nisan	2,369	1,582	1,117	1,006	0,920	0,859	0,769
	Mayıs	4,642	3,440	2,611	1,764	1,293	1,027	0,941
	Haziran	4,515	3,172	2,321	1,581	1,232	1,046	0,945
	Temmuz	2,351	1,659	1,083	1,000	0,928	0,871	0,783
	Ağustos	1,130	1,059	0,990	0,915	0,861	0,736	0,704
	Eylül	0,919	0,844	0,727	0,695	0,688	0,683	0,680
R380	Ekim	1,749	1,576	1,403	1,312	1,159	1,072	1,035
	Kasım	1,629	1,519	1,439	1,264	1,159	1,134	1,125
	Aralık	1,273	1,085	1,022	1,015	1,015	1,015	1,015
	Ocak	1,050	1,049	1,049	1,049	1,049	1,049	1,049
	Şubat	1,056	1,026	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
	Mart	1,467	1,373	1,255	1,117	1,066	1,053	1,049
	Nisan	3,297	2,003	1,590	1,453	1,348	1,270	1,108
	Mayıs	6,523	4,815	3,657	2,496	1,873	1,510	1,398
	Haziran	6,581	4,552	3,415	2,356	1,835	1,573	1,415
	Temmuz	3,481	2,657	1,629	1,500	1,403	1,308	1,206
	Ağustos	1,687	1,568	1,472	1,364	1,281	1,098	1,053
	Eylül	1,372	1,260	1,086	1,041	1,028	1,021	1,016