

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ'NDE YAĞIŞIN AKIM
VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökçe USTA**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Program : Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

HAZİRAN 2011

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ'NDE YAĞIŞIN AKIM
VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökçe USTA
(501071514)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. H.Gonca COŞKUN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emin SAVCI (İTÜ)
Prof. Dr. Ercan KAHYA (İTÜ)
Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Öncelikle yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam sırasında yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam, danışmanım Prof. Dr. Necati Ağırlioğlu'na danışmanım olma fırsatını verdiği için teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, hoşgörülü kişiliği ile örnek aldığım değerli hocam, eş danışmanım Prof. Dr. H. Gonca Coşkun'a her zaman yanımda olduğunu için teşekkür ederim.

Birlikte gerçekleştirdiğimiz proje çalışmaları ve tez çalışması sırasında her aşamada destek sağlayan, yanımda olan, yüreklendiren ve dostluğunu esirgemeyen, Ar. Gör. Dr. Ebru Eriş'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma 106M043 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen araştırma projesinin bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Burs desteği için TÜBİTAK'a teşekkürler.

İyi ve kötü zamanlarda yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Son olarak manevi ve maddi yanımda olan sevgilerini her daim hissettiğim babam annem ve ablama teşekkür etmek isterim.

Mayıs 2011

Gökçe Usta

Jeodezi ve Fotogrametri

Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1. Debi-Süreklilik Eğrisi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	3
2.2. Akımın Haritalanması ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	7
2.3. Yağış-Akım İlişkisini Belirlemeye Yönelik Yapılmış Çalışmalar.....	8
3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER.....	9
3.1. Çalışma Alanı.....	9
3.2. Meteorolojik Veriler.....	10
3.3. Hidrolojik Veriler.....	11
3.4. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).....	12
4. YÖNTEM.....	15
4.1. Debi- Süreklilik Eğrileri.....	15
4.2. Debi süreklilik eğrisinde zaman biriminin seçilmesi.....	16
4.3. Kayıt süresinin debi süreklilik eğrisi.....	17
4.4. Debi süreklilik eğrisinin kullanıldığı yerler.....	17
4.5. Akım Haritası.....	19
4.5.1 Kriging.....	19
4.5.2 Haritalandırma.....	22
4.6. Regresyon Analizi.....	22
5. UYGULAMA.....	23
5.1. Debi- Süreklilik Eğrileri ve Akım Değerleri.....	23
5.2. Akım Haritasının Çıkartılması.....	27
5.3. YGİlere Ait Havzaların Çıkartılması ve Akım Değerlerinin Bulunması.....	28
5.4. Yağış-Akım İlişkisinin Belirlenmesi.....	30
6. SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	47

KISALTMALAR

AGİ	:	Akım Gözlem İstasyon
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	:	Devlet Su İşleri
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
SYM	:	Sayısal Yükseklik Modeli
SRTM	:	Shuttle Radar Topographic Mission
UTM	:	Universal Tranverse Mercator
YGİ	:	Yağış Gözlem İstasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Çalışmada kullanılan yağış gözlem istasyonları (YGI)'nin özellikleri.	10
Çizelge 3.2: Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları (AGİ)nin özellikleri.	12
Çizelge 5.1: Aylık akım yüksekliği haritalarına ait çapraz doğrulama sonuçları.	28
Çizelge 5.2: Ortalama akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri.	33
Çizelge 5.3: %50 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri.	34
Çizelge 5.4: %95 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri.	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Çalışma bölgesi ve çalışmada kullanılan yağış gözlem istasyonları	9
Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları	11
Şekil 3.3 : Akış yönü ve birikiminin elde edilmesi, akım ağı ve havzalar (Chinnayakanahalli ve diğ., 2006).	13
Şekil 3.4 : Boşluk doldurmadan önce ve sonraki profil görünümü (Ur1-1).....	14
Şekil 3.5 : Akış yönünün bulunması (a) yükseklikler, (b) akış yönü kodları, (c) akış yönü grid değerleri, (d) akış yönü sembolik temsili(Ur1-2).....	14
Şekil 4.1 : Debi gidiş çizgisinden debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi.....	15
Şekil 4.2 : Debi süreklilik eğrisinden zamanın belli yüzdelerinde aşılan debilerin okunması.....	18
Şekil 5.1 : Örnek debi-süreklilik eğrileri	24
Şekil 5.2 : 37 AGİ için Ekim - Mart ayları arasında %50, %95 aşılma olasılıkları ve ortalama akımlar.....	25
Şekil 5.3 : 37 AGİ için Nisan-Eylül ayları arasında %50, %95 aşılma olasılıkları ve ortalama debileri.....	26
Şekil 5.4 : Ekim ayı için ortalama, %50 ve 95 olasılıklı akım değerlerinden bölge için çkarılmış örnek akım haritaları	29
Şekil 5.5 : YGİlere ait drenaj havzaları ve ağırlık merkezi noktaları.....	29
Şekil 5.6 : Ortalama aylık akım (Q_{ort}) için yağış-akım ilişkileri.....	30
Şekil 5.7 : %50 olasılıklı aylık akım (Q_{50}) için yağış-akım ilişkileri	31
Şekil 5.8 : %95 olasılıklı aylık akım (Q_{95}) için yağış-akım ilişkileri	32
Şekil 5.9 : Ortalama akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı	35
Şekil 5.10: %50 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı	36
Şekil 5.11: %95 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı	37
Şekil 5.12: Farklı akım yükseklikleri ile kurulan denklemlere ait R^2 ve SH değerleri	38
Şekil 5.13: Ortalama akım yüksekliği için validasyon sonuçları.....	38
Şekil 5.14: %50 olasılıklı akım yüksekliği için validasyon sonuçları.....	39
Şekil 5.15: %95 olasılıklı akım yüksekliği için validasyon sonuçları.....	39

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ'NDE YAĞIŞIN AKIM VERİLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Dünya'da hızla artan kentleşme ve nüfusa bağlı olarak su talebi de hızla artmaktadır. Bununla beraber suyun etkin kullanımını sağlamak amacıyla su kaynaklarının planlanması da önemli bir hale gelmiştir. Su Kaynakları ile ilgili yapılan çalışmalarda en önemli unsur gerek ölçüm, gerekse modelleme teknikleri kullanılarak hidrolojik süreçlerin doğru belirlenmesidir. Bununla birlikte dağlık bölgelerde hidrometeorolojik istasyonların sayısı az ve/veya homojen dağılmamış durumdadır. Bu nedenle; yağış, akış, buharlaşma vb. hidrolojik süreçlerin tahmini zorlaşmaktadır.

Çalışma bölgesi olan Doğu Karadeniz Bölgesi de topografik özellikleri nedeniyle nispeten az yağış ve akım gözlem istasyonuna sahip olup, yağış istasyonlarının büyük bir kısmı düşük kotlarda ve dere kenarlarında konumlandırılmıştır. Yağışın hidrolojik çevrimi etkileyen en önemli parametre olduğu düşünülürse, bölge için yağışın doğru olarak tahmin edilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yağışın, akım verileri kullanılarak tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla, öncelikle akım istasyonlarına ait debi süreklilik eğrileri çizilmiş, ortalama, %50 ve %95 olasılığına ait aylık akım değerleri çıkartılmış ve akım haritaları üretilmiştir. Yağış gözlem istasyonları, akım gözlem istasyonları gibi düşünülerek çıkartılan yağış gözlem havzalarına ait %50, %95 olasılıklı ve ortalama akım değerleri önceden üretilmiş olan akım haritalarından belirlenmiştir. Belirlenen akım değerleri ile bu yağış gözlem istasyonlarında ölçülmüş yağış verileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kurulan bu ilişkilerden, yağış ölçümü olmayan noktalardaki yağışın akım değerlerinden tahmin edilebileceği görülmüştür.

DETERMINATION OF PRECIPITATION FROM RUNOFF DATA IN THE EASTERN BLACK SEA REGION

SUMMARY

Depending on the rapidly increasing world population and urbanization, water demand is also rapidly increasing. However, in order to ensure the efficient use of water, water resource planning has become an important subject. The most important factor in studies related to the water resources is, using both of measurement and modeling techniques to determine the right hydrologic processes. On the other hand, the number of hydro-meteorological stations in mountainous areas is less and / or not spread homogeneously. Therefore, the hydrological processes such as rainfall, flow, evaporation and so on are difficult to estimate.

The Black Sea region where is the study area in the eastern, have relatively a few rainfall and flow monitoring stations due to the topographic features and large portion of rainfall stations are located at low altitudes and valley floor. Precipitation is considered to be the most important parameter affecting the hydrological cycle so, rainfall must be estimated correctly. Therefore, in this study, rainfall in the Eastern Black Sea Region is planned to be estimated by using runoff data.

With this purpose, first flow duration curves of flow stations are drawn, monthly flows with 50% and 95% possibilities and mean flow values are extracted and flow maps were issued. Precipitation observation stations are considered as flow observation stations and 50%, 95% probability and the average current values of basins belong the observation of precipitation, extracted from the current maps were previously produced. Relationship between the determined runoff data and measured rainfall data from precipitation observation stations were analyzed. These relationships show that, in the points that don't have rainfall measurement, rainfall might be expected from runoff values.

1. GİRİŞ

Bir canlının hayatını sürdürebilmesi için gerekli en önemli maddelerden biri olan su, yalnız yaşamsal öneme sahip olmayıp aynı zamanda sanayi ve tarımdaki gelişmeler ile artan nüfusun talebine cevap verebilmek adına sosyal ve ekonomik öneme de sahip olmaktadır. Bu bağlamda su kaynakları ile ilgili çalışmalar, hem var olan hem de ileride yaşanması olası sorunların çözümleri için farklı yöntemler içermektedir. Bu yöntemlerden elde edilecek sonuçların doğruluğu ise kullanılan verilerin yeterli ve doğru olmasına bağlıdır. Su kaynaklarının incelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda yaşanan en önemli sıkıntı, özellikle homojen olarak dağılmamış veya yeterli sayıda tesis edilememiş gözlem istasyonları nedeniyle yeterli verinin elde edilememesidir. Özellikle tez çalışma alanı olan Doğu Karadeniz Bölgesi, dağlık bir topoğrafyaya sahip olduğu ve orografik yağış özelliği gösterdiği için, daha çok vadilerde bulunan istasyonlardan elde edilen yağış verileri yeterli ve temsili olmayıp bilinmeyen noktalardaki yağışın tahmininde çeşitli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye'nin en fazla yağış alan Doğu Karadeniz Bölgesi'ne ait yağış-akım ilişkisini tersine kurarak yağış ölçümü olmayan noktalardaki yağışı bulmaktır. TÜBİTAK 106M043 no.lu proje kapsamında ve bu kapsamda yapılmış tezlerde (Algancı, 2008; Güler; 2008; Beşiktaş, 2010; Karayusufoğlu, 2010; Eriş, 2011) Doğu Karadeniz Bölgesi ya da bir kısmı için yağışın dağılımıyla ilgili birtakım çalışmalar yapılmış, bu bölgede yağış istasyonlarının yetersiz olduğu ve bölgeyi tam olarak temsil edemediği sonucuna varılmıştı. Bu nedenle çalışma bölgesinde yağış ölçümü olmayan noktalarda yağışı tahmin edebilmek amacıyla akım verileri kullanılmış, bu amaç doğrultusunda önce akım istasyonlarına ait debi süreklilik eğrileri çizilmiş, ortalama, % 50 ve % 95 aşılma olasılığına ait aylık akım değerleri çıkartılmış ve akım haritaları üretilmiştir. Yağış Gözlem İstasyonları (YGI), Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) gibi düşünülerek çıkartılan YGI havzalarına ait %50, %95 olasılıklı ve ortalama akım değerleri daha önceden üretilmiş olan akım haritalarından belirlenmiştir. YGI ölçüm noktalarında belirlenen akım değerleri ile

bu noktalardaki Yağış Gözlem İstasyonlarında ölçülmüş nokta yağış verileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde debi-süreklilik, akımın haritalandırılması ve yağış-akım ilişkilerine ait literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, çalışma alanı ve kullanılan veriler tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, debi-süreklilik, haritalandırmada kullanılacak geoistatistiksel bir yöntem olan Kriging ve regresyon analizi ile ilgili bilgiler verilmiş ve beşinci bölümde uygulamalar anlatılmıştır. Son bölüm ise çalışmanın sonuçlar kısmını içermektedir. Tüm çalışma boyunca Arcview ve ArcGIS gibi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları etkin bir şekilde kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Debi-Süreklilik Eğrisi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Debi-süreklilik eğrisine ilişkin yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Burada debi-süreklilik eğrisini kullanan, debi-süreklilik eğrisini modelleyen ya da bu eğrilerden hareketle çeşitli olasılıklara karşılık gelen akımların tahminine yönelik yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

ABD’de Illinois Eyaleti için Singh (1971), debi-süreklilik eğrisi (DSE) yöntemini kullanmıştır.

Dingman (1978), New Hampshire’da ölçüm olmayan havzalardaki debi süreklilik eğrilerini belirlemek üzere regresyon denklemleri geliştirmiştir. Bunun için havza alanı ve havza yüksekliği parametrelerini kullanmıştır.

Quimpo ve diğ., 1983 yılında debi süreklilik ve havza karakteristiğini kullanarak Filipinler’de ölçümsüz hidroelektrik enerji potansiyeline sahip bölgelerdeki su durumunu hesaplamıştır. Bu çalışmada günlük debi süreklilik çizgilerinin (2.1) ve (2.2) bağıntılarında gösterildiği gibi bir fonksiyon yapısına sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

$$Q=a \exp(-Bd) \quad (2.1)$$

$$Q=aD-b \quad (2.2)$$

Mimikou ve Kaemaki, 1985 yılında basit bir katlı regresyon kullanarak aylık debi süreklilik karakteristiğini yıllık alan ortalama yağışı, drenaj alanı, hipsometrik çökme ve akarsu uzunluğu cinslerinden parametrelendirmişlerdir. Bu yazarlar, Yunanistan’ın kuzey bölgesindeki çalışmada Quimpo ve diğ.’nin sonuçlarına ilave olarak (2.3), (2.4), (2.5) eşitliklerinde verilen üç bağıntıyı daha denemişlerdir.

$$Q=a-b \ln D$$

$$(2.3)$$

$$Q=a-Bd+cD^2 \quad (2.4)$$

$$Q=a-Bd+cD^2-dD^3 \quad (2.5)$$

Böylece, her istasyonda en iyi uyan modelin $Q=a-Bd+cD^2-dD^3$ bağıntısı ile ifade edilen kübik model olduğunu belirlemişlerdir.

Fennessey ve Vogel (1990), Massachusetts eyaleti için günlük debi süreklilik eğrilerinin (DSE) aşılma olasılığı %50 ile %100 arasındaki kısmında geçerli, iki parametrelili lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanmışlardır ve bu fonksiyonun parametrelerini regresyon modelleri ile elde etmişlerdir.

Leboutillier ve Waylen (1993), DSE tahmini için alternatif bir istatistikî yaklaşımı tanımlamışlardır.

Vogel ve Fennessey (1994) yıllık DSE'leri kullanarak DSE tahmininde güvenli aralıkların nasıl seçileceğini göstermişlerdir.

Hughes ve Smakhtin (1996), bir nehir ölçüm istasyonundaki eksik verilerin belirlenmesi için yakındaki diğer havzaların ölçüm istasyonlarından elde edilmiş DSE'leri kullanmışlardır.

Yu ve Yang (1996), Güney Tayvan'da sentetik bölgesel debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kümeleme analizi yöntemini kullanmışlardır.

Cıgızoğlu (1997), çalışmasında debi süreklilik eğrisinin elde edilmesinde kullanılan matematiksel modelleri değerlendirmiştir. Çalışmada, debi süreklilik eğrisini etkileyen bileşenler belirlenmiş ve bu bileşenlerin debi süreklilik eğrisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada stasyoneri (yıllık) ve periyodik (aylık ve günlük) akımların debi süreklilik eğrileri ayrı ayrı incelenmiştir. Debi süreklilik eğrisinin akım modelleri ile ilgisi incelenmiş ve bir akım modeli verildiğinde süreklilik eğrisini elde etmek için algoritmalar gösterilmiştir. Uygulama olarak da Türkiye'deki bazı nehir akım ölçüm istasyonları için çeşitli metotlar kullanılarak debi süreklilik eğrileri elde edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda akım ölçümü olmayan veya yetersiz kesitlerde debi süreklilik eğrisinin tahmini konusunda yardımcı olacak grafik ve tablolar elde edilmiştir.

Singh ve diğ. (2001), yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın Himalya bölgesinde akım gözlem istasyonu olmayan küçük su işleri ve yetersiz miktardaki verileri dikkate alarak bu havzalar için debi süreklilik eğrilerinin modellenmesini yapmışlardır. Çalışmada 1200 örnekleme alanı kullanılmıştır ve her bir bölgenin hidrometeorolojik açıdan homojen olduğu kabul edilmiştir. Model, boyutsuz akım serileri mevcut ölçüm istasyonları olan havzalardan, ölçüm istasyonu olmayan havzalara normal, lognormal ve üssel dönüşümlerle taşınarak kurulmuştur.

Yu ve diğ. (2002), Tayvan'daki Cho-Shuei Creek bölgesinde yaptıkları çalışmada debi süreklilik eğrisini elde etmek için polinom ve alan-indeks yöntemlerini kullanmışlardır. Debi süreklilik eğrileri elde edilirken, alan-indeks yönteminde değişken olarak sadece drenaj alanı kullanılırken; polinom yönteminde ise, hava yüksekliği ve drenaj alanı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda polinom yönteminin alan-indeks yöntemine göre daha iyi netice verdiği ifade edilmiştir.

Croker ve diğ. (2003), Portekiz'in bir kısmında akım ölçümü olmayan havzalar için debi süreklilik eğrisinin tahminine yönelik bölgesel bir model oluşturmayı amaçlamışlardır. Bunun için, 67 adet havzadan elde edilmiş verileri kullanmışlardır. Akımın kurumadığı döneme ait debi süreklilik eğrisinin tahmininde kullanılan model ile akarsuyun kurak olduğu zaman yüzdesini tahmin eden bir modeli birleştirmek için toplam olasılık teorisini kullanmışlardır.

Cole ve diğ. (2003), yaptıkları çalışmada akım verilerinin güvenilir olarak kullanılabilmesi için kullanıcıların bağımsız bir kalite göstergesine ihtiyaç duyduklarını belirtmişler ve veri kalite göstergesi olarak uzun dönem debi süreklilik eğrilerinin kullanımını tavsiye etmişlerdir. Bu yöntem, akım verilerindeki düzensizlikler konusunda kullanıcıya yol göstermekte olup, hatanın yerini ve şeklini vermektedir. Bu yöntem Kuzey İrlanda'ya ait verilere uygulanmıştır.

Yanık (2004), yaptığı çalışmada bölgesel ölçekte hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde, akım ölçümü olmayan veya eksik olan yerlerde proje debisinin belirlenmesi için hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme analizi kullanarak bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Kümeleme analiziyle oluşturulan homojen bölgelere ait sınırların, veri olarak kullanılan özgül debi değerlerinin standart hale getirilip getirilmemesine, özgül debi-süreklilik eğrisinin kullanılan aralığına ve kümeleme analiz yöntemine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Nehir içi santraller için debi süreklilik eğrisinin aşılma olasılığı %30-%100 olan aralığının kullanılmasının uygun olması sebebiyle bu aralıktaki veriler standart hale getirilerek kümeleme analiziyle bölgesel debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir.

Castellari ve diğ. (2004), Doğu İtalya'daki geniş bir bölge için yaptıkları çalışmada, günlük akımlardan elde edilmiş debi süreklilik eğrilerinin çeşitli bölgesel

modellerini geliştirmişler ve modellerin verimliliğini test etmişlerdir. Ayrıca burada bölgesel yaklaşımların güvenilirliğini de değerlendirmişlerdir.

Krasovskaia ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada ölçümü olmayan havzaların debi süreklilik eğrisi tahmini için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada, Costa Rica'nın günlük akım kayıtları kullanılmıştır. Tahmin hataları, %85'den daha uzun bir zaman yüzdesi için bağlı olarak (yaklaşık %30) yüksek iken, %20'den küçük zaman yüzdelinde (yaklaşık %10) ve debi süreklilik eğrisinin merkez bölümlerinde (yaklaşık %8) küçülmektedir. Ölçümlerden ve model tahminlerinden oluşturulan debi süreklilik eğrileri arasındaki farklar küçük çıkmış, buna rağmen debi süreklilik eğrisinin merkez kısımlarında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bari ve Shafiu İslam (2006), çalışmalarında bir takvim yılına ait debi süreklilik eğrisini elde edebilmek için stokastik bir yaklaşım uygulamışlardır. Stokastik debi süreklilik eğrisinin teorik gelişimine ve ortalama günlük debinin dağılımına uygun olasılık dağılımını araştırmışlardır. Bu model, Bangladeş'in dört nehrine uygulanmıştır.

Mohamoud (2008), A.B.D.'de Mid-Atlantic bölgesinde akım ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik eğrisi ve akım tahmini ile ilgili çalışmasında üç yaklaşım geliştirip, bunları birbirleriyle kıyaslamıştır. Bu yaklaşımlar, çoklu regresyon analizi, iklim ve bölgenin fiziki ve coğrafi yapısı ile ilgili değerlendirme ve bölgesel debi süreklilik eğrisi modelidir. Bu bölgede seçilen 29 adet havzada çalışma yapılmıştır ve çalışma sonucunda debi süreklilik eğrisine dayalı yöntemin akım ölçümü olmayan havzalardaki akım tahmini hakkında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Risley ve diğ. (2008), 466 akım gözlem istasyonundan elde edilen günlük ortalama debi kayıtları ile istasyonlardaki meteorolojik ve fiziksel havza karakteristiklerini hesaplamış ve bunlara bağlı olarak ölçülmemiş bölgelerde akım tahmini için regresyon eşitlikleri geliştirmişlerdir. Oregon'a ait on bölgede, %5, 10, 25, 50 ve 95 aşılma olasılıklarına karşılık gelen akım ve düşük akım frekans istatistikleri (10 yıl ve 2 yıl içerisinde en düşük akımlı 7 günler) tahmini için toplam 910 adet yıllık ve aylık regresyon eşitliği oluşturulmuştur. Bu eşitliklerle akım verilerinin olmadığı yakın bölgelerde doğal akım değerleri tahmin edilmiştir.

Ayaz (2009), Doğu Karadeniz havzalarından biri olan Solaklı Havzası'nı aylık ve yıllık debi süreklilik eğrilerini normalleştirme yöntemiyle incelemiştir. Bu çalışmada

yıllık modelin kullanılabilir olduğu, aylık modelin ise veri eksikliği nedeniyle uygun bir sonuç vermediği görülmüştür. Yine Solaklı Havzası için Beşiktaş (2010) debi-süreklilik eğrilerinden bulunan, çeşitli aşılma olasılıklarına karşı gelen debiler için havza ortalama alan yağışı, ortalama yüksekliği, eğimi vb. değişkenleri kullanan regresyon denklemleri kurmuştur. Ülken (2010); Ayaz (2009)'ın çalışmasını geliştirerek, debi-süreklilik eğrileri için yalnızca normal dağılımı kullanmak yerine her bir debi-süreklilik için uygun olan dağılımı bularak debi tahmininde bulunmuştur.

Viola ve diğ. (2010), Sicilya'da debi süreklilik eğrileri tahmin etmek için üç parametrelilik bölgesel bir model sunmaktadır. Bu modeller, biri akımların sıfır olduğu diğer ikisinin akımların sıfırdan farklı olduğu yağışlı dönemlerdeki süreklilik eğrilerini özgülleştirmek amacı ile 53 Sicilya havzası için geliştirilmiştir. Modele CBS tabanlı SIRI aracılığı ile de ulaşılabilmektedir.

2.2. Akımın Haritalanması İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yağışın akımla olan ilişkisini bulmak amacıyla çıkartılan akım yüksekliği haritalarında ağırlık merkezi tabanlı bir yöntem uygulanmıştır. Akım yüksekliğinin havza ağırlık merkezine yerleştirilip akımın alandaki değişiminin bulunmasına dair çalışmalar Rochelle ve diğ. (1989), Krug ve diğ. (1990) ve Bishop ve Church (1992) tarafından yapılmıştır. Huang ve Yang (1998) farklı aşılma olasılıklarına karşı gelen akım değerlerinden akım yüksekliklerine geçerek bu değerleri havza ağırlık merkezine yerleştirmiş ve daha sonra Kriging yöntemiyle bu değerleri çalışma alanı üzerinde interpolate etmişlerdir.

Sauquet ve diğ. (2000) ise akımın haritalandırılmasında Kriging yerine ayrıştırma ve kovaryans yöntemlerini kullanmıştır. Sauquet (2006), bu çalışmayı geliştirerek, geoistatistiksel yöntemlerle deneysel ilişkileri birleştirmiş ve bu yöntemi Fransa'daki su kaynaklarını değerlendirmek için kullanmıştır. Geliştirilen yaklaşım, ordinary kriging and residual kriging gibi geoistatistik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Skoien ve diğ. (2006) akım ölçümü yetersiz olan havzalarda akımın tahmini için Top-krigingi (topolojik kriging) geliştirmişlerdir.

2.3. Yağış-Akım İlişkisini Belirlemeye Yönelik Yapılmış Çalışmalar

Literatürde yağış-akım modellemesine yönelik pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür, bu çalışmaların tümü yağış gözlem istasyonlarının çalışma bölgesini doğru temsil ettiği varsayımına dayanmaktadır. Ancak bu tezin de konusu olan tersine kurulan yağış-akım modellemesi; yağış gözlem istasyonlarının az ve bölge yağış özelliklerini temsil edememesinden kaynaklanır.

Özellikle orografik yağışın görüldüğü, yüksek kotlarda limitli sayıda yağış gözlem istasyonu olan bölgelerde yağışın düzeltilmesi için su dengesi ve dolayısıyla akımın kullanıldığı ve tersine bir ilişkinin kurulduğu çalışmalar bulunmaktadır (Fekete ve diğ., 2000; Adam ve diğ., 2006, Xia, 2008).

Yağış-akım ilişkisiyle ilgili çok sayıda çalışma varken tersine yağış-akım ilişkisiyle ilgili az sayıda çalışma mevcuttur. Valery ve diğ. (2009), çalışmalarında hidrolojik çevrimin "tersten" incelenmesinin mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. Yağış verilerinin eksik olduğu dağlık bölgelerde akım ölçümlerini kullanarak eksik yağış verilerini tamamlamışlardır. Çalışmalarını 31 İsviçre, 94 İsveç havzasında gerçekleştirmişlerdir. Budyko's, Ol'dekop's ve Turc-Le Moine's uzun dönem su dengesi formüllerini kullanmışlardır. Bölgesel yağışı düzeltmek için iki parametrelili bir model oluşturmuşlardır. İlk parametre (α) YGİ tarafından tutulan kar miktarının düzeltilmesi, ikinci parametre (β) yağış-yükseklik ilişkisi içindir.

3.2. Meteorolojik Veriler

Çalışmada 19'u kıyı kesiminde olmak üzere toplam 28 adet yağış gözlem istasyonuna (YGİ) ait ortalama yıllık yağış verileri kullanılmıştır. Şekil 3.1'de dağılımları görülen yağış istasyonları genelde vadi içlerinde, yerleşim bölgelerine yakın kesimlere konumlandırılmışlardır. İstasyonlar ile ilgili bilgiler ve konumları Çizelge 3.1'de görülmektedir. Çalışmada kullanılan en yüksekteki istasyon 1700 m ile Tamdere iken en alçaktaki istasyon 9 m ile Of'tur.

Çizelge 3.1: Çalışmada kullanılan yağış gözlem istasyonları (YGİ)'nin özellikleri

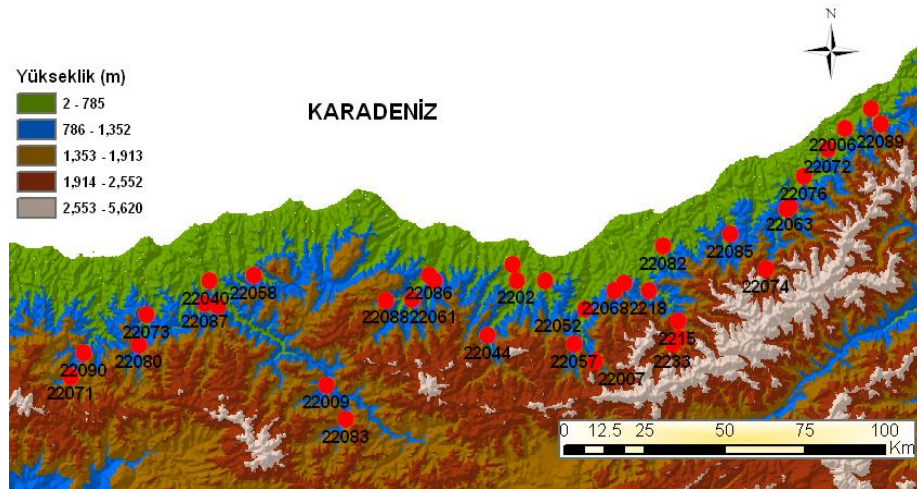
ISTASYON NO	ISTASYON ADI	İSLETME	YUKSEKLİK
17034	Giresun	DMİ	38
1472	Arakli	DMİ	10
1801	Caykara	DMİ	264
1787	Dagbasi	DMİ	1450
1015	Findkli	DMİ	100
1299	Gorele	DMİ	20
17088	Gumushane	DMİ	1219
1480	Kaptanpasa	DMİ	525
22-011	Kayaici	DSİ	1050
818	Kemalpasa	DMİ	75
22-016	Koknar	DSİ	1218
1626	Macka	DMİ	300
22-013	Meydan	DSİ	1100
1475	Of	DMİ	9
17628	Pazar	DMİ	79
22-020	Sinir	DSİ	750
22-018	Sofulu	DSİ	600
1473	Surmene	DMİ	12
1623	Tonya	DMİ	900
17037	Trabzon	DMİ	30
1962	Uzungol	DMİ	1110
1302	Vakfikebir	DMİ	25
1156	Ardesen	DMİ	10
2448	Kale	DMİ	1520
1803	Ikizdere	DMİ	800
22-003	Sivrikaya	DSİ	1650
22-009	Hemsin	DSİ	500
22-001	Tamdere	DSİ	1700

Çalışmada kullanılan yağış verileri 1960-2005 yıllarını kapsamakla beraber eksik veriler de mevcuttur. Eksik verileri tamamlamak için komşu istasyonlardan yararlanarak regresyon denklemleri kurulmuştur. Verilerin homojenliği Çift Toplam Kütle Eğrisi metodu ve trendi ise Mann-Kendall trend testi ile belirlenmiştir. Homojen olmayan ya da trend gösteren istasyonlarda, veri homojenleştirildikten ve trend çıkartıldıktan sonraki değerler; gözlenen orijinal değerlerden en fazla %20 oranında farklı çıktığı için tüm istasyonlarda gözlem değerleri doğrudan kullanılmıştır (Eriş, 2011).

3.3. Hidrolojik Veriler

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yağış-akım ilişkisini incelemek amacıyla ortalama yıllık akım gözlemi yapılan 37 AGİ kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait karakteristik özellikler Tablo 3.2 de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Şekil 3.2 de görülen akım gözlem istasyonlarına ait kayıtlar 1944-2006 yılları arasında olup kayıt uzunluğu 10 yıl ile 49 yıl arasında değişmektedir. (Çizelge 3.2). Eksik veriler komşu istasyonlardaki verilerden regresyon denklemleriyle tamamlanmıştır. Akımlar herhangi bir baraj veya su yapısından etkilenmemiştir. Yağış verilerinin analizine benzer veri homojenliği Çift Toplam Kütle Eğrisi yöntemiyle kontrol edilmiş, Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır. Homojen olmayan ya da trend gösteren istasyonlarda, veri homojenleştirildikten ve trend çıkartıldıktan sonraki değerler; gözlenen orijinal değerlerden en fazla %20 oranında farklı çıktığı için tüm istasyonlarda gözlem değerleri doğrudan kullanılmıştır (Eriş, 2011).



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları

Çizelge 3.2: Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları (AGİ)'nin özellikleri

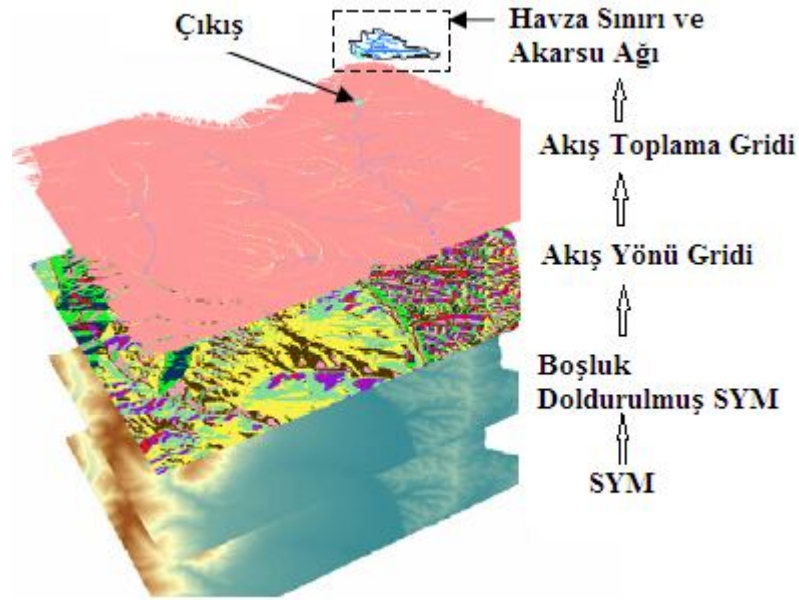
NO	İSTASYON NO	İSTASYON ADI	ALAN (km ²)	YÜKSEKLİK (m)	DERE ADI	İŞLETME
1	2202	Agnas	635.7	78	Kara	EİE
2	22006	Koprubasi	156	60	Abuçağlayan	DSİ
3	22007	Serah	154.7	1170	Haldizen	DSİ
4	22009	Torul	1900.4	925	Harsit	DSİ
5	22013	Suttasi	124.9	188	Kavraz	DSİ
6	2215	Derekoy	445.2	942	Camlidere	EİE
7	2218	Simsirli	834.9	308	Iyidere	EİE
8	2233	Toskoy	223.1	1296	Toskoy	EİE
9	22034	Findikli	258.6	258.6	Yanbolu	DSİ
10	22040	Eymur	3132.8	120	Harsit	DSİ
11	22044	Aytas	421.2	510	Kara	DSİ
12	22049	Baskoy	186.2	75	Kapistre	DSİ
13	22052	Ulucami	576.8	260	Solaklı	DSİ
14	22053	Ortakoy	173.6	150	Surmene	DSİ
15	22057	Alcakkopru	243	700	Ogene	DSİ
16	22058	CucenKopru	162.7	240	Gorele	DSİ
17	22059	Ciftdere	121.5	250	Galyan	DSİ
18	22061	Ortakoy	261	380	Altın	DSİ
19	22062	Konaklar	496.7	300	Hemsin	DSİ
20	22063	Mikronkopru	239.2	370	Halo	DSİ
21	22066	Cevizlik	115.9	400	Maki	DSİ
22	22068	Yenikoy	171.6	470	Baltaci	DSİ
23	22071	Ikisu	292.7	990	Aksu	DSİ
24	22072	Arili	92.15	150	Arili	DSİ
25	22073	Tuglacik	397.9	400	Yagli	DSİ
26	22074	Cat	277.6	1250	Hemsin	DSİ
27	22076	Kemerkopru	302.2	230	Durak	DSİ
28	22078	Toskoy	284.3	1210	Toskoy	DSİ
29	22080	Sinirkoy	296.9	650	Yagli	DSİ
30	22082	Komurculer	83.3	250	Salarha	DSİ
31	22083	Gumuskaya	410.8	1110	Kodil	DSİ
32	22085	Kaptanpasa	231.2	480	Senoz	DSİ
33	22086	Ogutlu	728.4	160	Degirmendere	DSİ
34	22087	Hasanseyh	256.8	370	Gelevera	DSİ
35	22088	Ormanustu	150	770	Macka	DSİ
36	22089	Kucukkoy	66.37	310	Balli	DSİ
37	22090	Alancik	470.2	700	Aksu	DSİ

3.4. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Teknolojinin gelişmesiyle her alanda olduğu gibi CBS alanında da hızlı gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle kişisel bilgisayarların ve yazılımların hızla gelişmesi CBS ile

yapılan analizlerin daha basit bir şekilde, yüksek doğrulukta, hızlı ve ucuz gerçekleşmesini sağlamaktadır. CBS yazılım paketleri ile akarsu ağı ve havza sınırının yanı sıra havza alanı, eğim ve bakı gibi havza parametrelerinin tahmininde SYM sıklıkla kullanılmakta, engebeli arazilerde, 90 m SRTM veri setleri ile akarsu ağları ve havzalar kolayca ve doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir (Hancock et. al. 2006).

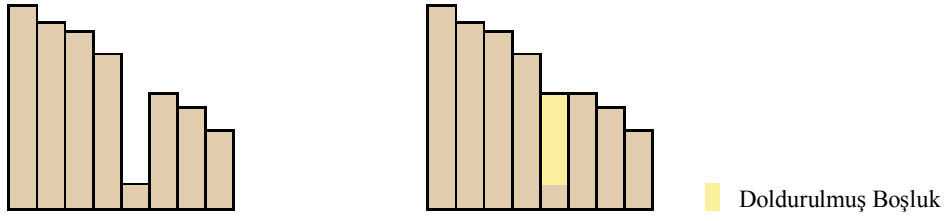
Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (DEM), 90m x 90m çözünürlüğe sahip Shuttle Radar Topoğrafik Misyonu (SRTM) verisinden grid formatta ve Universal Transverse Mercator (UTM) koordinat sistemi ile oluşturulmuştur.



Şekil 3.3: Akış yönü ve birikiminin elde edilmesi, akım ağı ve havzalar (Chinnayakanahalli ve diğ., 2006)

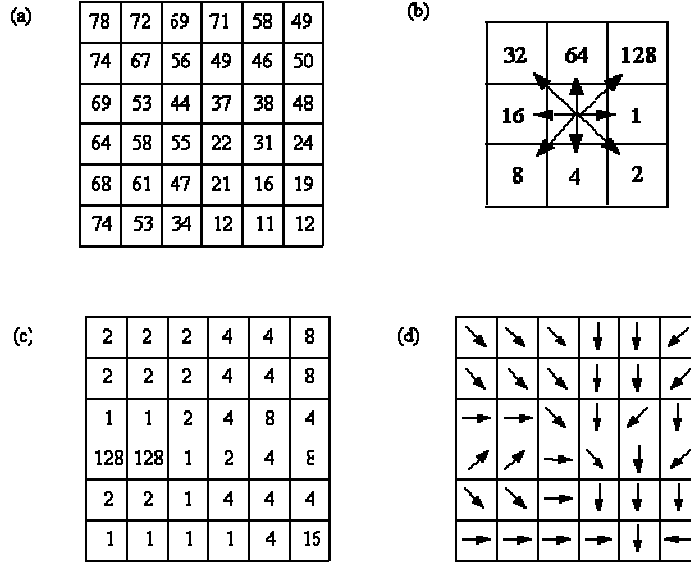
SYM ile havza analizleri yaparken modelleme sonucu veya doğal olarak meydana gelen boşluklar havzanın hidrolojik sürekliliğini bozmakta ve etrafındaki değerler çok yüksek olacağı için akış yönü ve toplamı hesaplanırken hatalı değerler vermektedirler. SYM çözünürlüğü arttıkça boşluk sayısı azalmaktadır. Havza ile ilgili analizler yapılmadan önce bu boşluklar doldurularak havzanın sürekli ve uygulamaya hazır hale getirilmesi gerekmektedir.

Akış yönü her hücreden eğimi en fazla olan komşu hücreye doğrudur ve boşlukları doldurulmuş DEM den hesaplanmaktadır.



Şekil 3.4: Boşluk doldurmadan önce ve sonraki profil görünümü (Url-1)

Akış yönü gridi ile başka bir hücreye akan, daha yüksek alanları temsil eden hücrelerin sayısını hesaplamak mümkündür. Akış toplamını oluştururken, her bir hücre değeri, yüksek hücreden alçak hücrelere akan hücrelerin toplam sayısını temsil etmektedir.



Şekil 3.5: Akış yönünün bulunması (a) yükseklikler, (b) akış yönü kodları, (c) akış yönü grid değerleri, (d) akış yönü sembolik temsili (Url-2)

Bir akarsu ağı, hücre değerleri belli bir eşik üzerinde olan akış toplama gridlerini sorgulayarak oluşturulabilmektedir (Chinnayakanahalli ve ark. 2006). Başka bir deyişle akış toplamaya ait tüm hücreler eşik değerden büyük ise akarsu hücreleri olarak sınıflandırılmakta, kalan hücreler toprak yüzey drenajı olarak kabul edilmektedir (Maidment, 2002). Bu çalışmada eşik değeri 500 seçilmiştir.

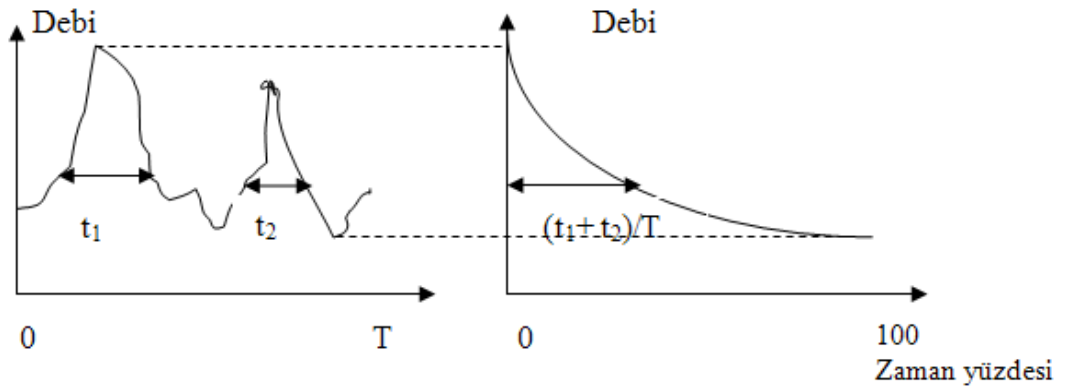
Çalışmada akış yönü gridi takip edilerek, akım gözlem noktalarına karşılık gelen çıkış noktalarına akan tüm hücreler belirlenebilmektedir. Bu hücreler daha sonra seçilerek havzayı temsil eden poligonlara da dönüştürülebilmektedir.

4. YÖNTEM

4.1. Debi- Süreklilik Eğrileri

Bir debi süreklilik eğrisi bir istasyondaki günlük, haftalık, aylık ve yıllık (ya da bir başka zaman aralığı) akımların miktarı ve frekansı arasındaki ilişkidir ve belli bir zaman aralığı boyunca verilmiş bir akım değerinin eşit olduğu ya da aşıldığı zaman yüzdesini göstermektedir (Fennesey ve Vogel, 1990). Bir başka deyişle, eldeki bir debi gidiş çizgisinden faydalanarak debinin belli bir değere eşit ya da ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanıp düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri taşınırsa elde edilen eğriye debi süreklilik eğrisi adı verilir (Şekil 4.1). Süreklilik eğrisini elde ederken mümkün olduğu kadar uzun bir süreye ait debi gidiş çizgisini kullanmak uygun olur. Bu eğriden zamanın belli bir yüzdesinde aşılacak debi derhal okunabilir. Zaman biriminin seçimi eğrinin kullanım amacına bağlıdır.

Süreklilik eğrilerinin birbirleriyle karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için bazen düşey eksende gerçek debilerin yerine debilerin ortalama debiye oranı gösterilir, böylece debiler boyutsuz hale getirilir. Bir akarsuda belli bir süre içinde elde edilmiş olan süreklilik eğrisini daha uzun bir süreye uzatmak için yakınındaki bir akarsuyun boyutsuz debileri için çizilen süreklilik eğrisinden faydalanılabilir. Debi süreklilik eğrisi akarsuda belli bir zaman yüzdesinde mevcut olan debinin bilinmesi gereken hallerde kullanılır. Örneğin bir hidroelektrik tesisinde güvenilir gücü hesaplarken yılın %50 sinde var olan debi esas alınabilir (Bayazıt, 1999).



Şekil 4.1: Debi gidiş çizgisinden debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi

4.2. Debi Süreklilik Eğrisinde Zaman Biriminin Seçilmesi

Debi süreklilik eğrisi ile çalışılırken, zaman biriminin seçimi eğrinin kullanım amacına bağlıdır. Bunlar yıllık, aylık ve günlük olabilir.

Yıllık akım serilerinin kullanılmasının üstünlük sağladığı konular şunlardır:

- ✓ Seri parametrelerinde; önemli süreksizlik, homojenliğin olmaması veya örneklemede uç değerlerin bulunması durumunda oluşan uzun aralıklı gidişlerin veya sıçramaların incelenmesi,
- ✓ Uzun kurak ya da yağışlı yıl süreçlerinin incelenmesi,
- ✓ Seri özellikleri ile uzun vadeli iklim değişiklikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi,
- ✓ İnsan faaliyetleri ya da doğal afetler nedeniyle oluşan değişikliklerin belirlenmesi,
- ✓ Büyük su biriktirme kapasiteleri veya sistemlerinin işletilmesi ve planlanması; proje veya planlama performansının fayda, maliyet, risk ve diğer ölçümlerinin hesaplanması,
- ✓ Genel olarak hidrolojik süreçlerin yıllık zaman serilerinin anlaşılması.

Aylık akım serilerinin kullanılmasının üstünlük sağladığı konular şunlardır:

- ✓ Seri parametrelerindeki periyodikliğin (mevsimlik değişim) incelenmesi,
- ✓ Mevsimlik veya yıllık proje performansları ile yıl içi veya yıldan yıla akım düzenlemesinin incelenmesi,
- ✓ Su temini ve hidroelektrik enerji üretimindeki risklerin ve normal dışı kurak mevsimlerin incelenmesi,
- ✓ İklimsel ve hidrolojik rastgele değişkenler ile zaman süreçleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi,
- ✓ Zaman serilerindeki periyodik stokastik sürecin anlaşılması.

Aydan daha kısa süreli zaman aralıklı zaman serileri, örneğin günlük akım serileri ise çoğunlukla uç değerlerin (taşkın, düşük akım veya serilerin eksiklik gösteren kısımları) incelenmesinde kullanılmaktadır.

Debi süreklilik eğrisi için seçilen zaman aralığı eğrinin dikliğini etkilemektedir. Seçilen zaman aralığı küçüldükçe eğri dikleşmektedir. Buna göre günlük ortalama akımlar için olan debi süreklilik eğrisi aylık ve özellikle de yıllık debi süreklilik eğrilerine oranla daha diktir. Dolayısıyla aşılma yüzdesindeki bir artış debi değerini günlük debi süreklilik eğrisinde diğerlerine oranla daha fazla arttırmaktadır. Büyük havza alanına sahip nehirlerde ise günlük ve aylık debi süreklilik eğrileri arasında fazla bir fark bulunmamaktadır.

4.3. Kayıt Süresinin Debi Süreklilik Eğrisi

365*N adet günlük akımları en küçükten en büyüğe doğru sıralanır (sıra $i=1$ den $i=365*N$ 'ye kadar). Her bir i 'inci sıradaki akımı $q(i)$ olarak adlandırılır. Her bir akımın aşılma sıklığı

$$F_Q(q_i) = \frac{i}{365N + 1} \quad (4.1)$$

bağıntısından tahmin edilir ve Denklem (4.1) bağıntısı yardımı ile karşı gelen aşılma olasılığı hesaplanır. Sonra eğri, debi (q_i) değerleri düşeyde, zaman yüzdesi değerleri yatayda olacak şekilde çizilir.

Kayıt süresi DSE'si ölçülen değerlerin tarihi değişebilirliğini gösterir, fakat yıldan yıla akımlardaki değişebilirliğini göstermez. Ayrıca ölçümlerin sınırlı sürede olmasından dolayı bulunan aşılma sıklıklarındaki belirsizliği de göstermez.

4.4. Debi Süreklilik Eğrisinin Kullanıldığı Yerler

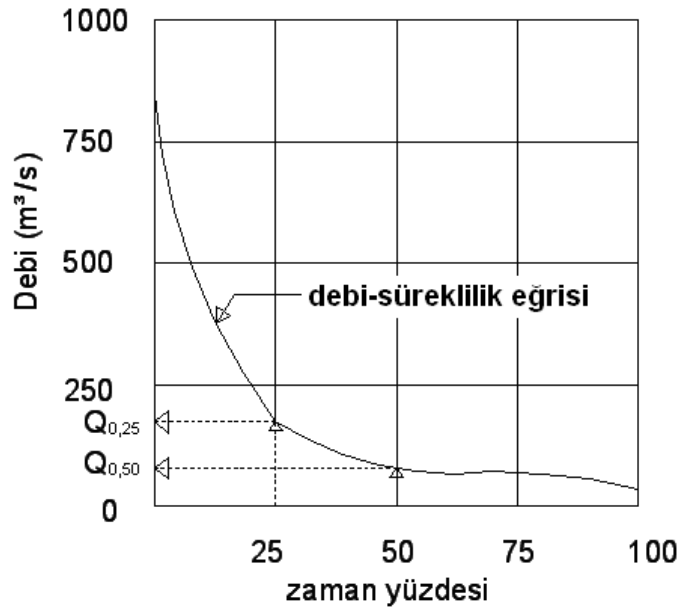
Debi süreklilik eğrisinin, su kaynakları mühendisliğindeki kullanım alanı oldukça geniştir. Aşağıda bu kullanım alanları ile ilgili bazı örnekler verilmiştir (Dingman, 2008).

Debi süreklilik eğrisi belirlendikten sonra, bu eğri üzerinde zamanın belli bir yüzdesine karşı gelen debi seçilir (Şekil 4.2). Bu debi kullanılarak santralin hidrolik kapasitesi (türbinlerden geçecek maksimum debi) belirlenir. Daha sonra bu hidrolik kapasiteye göre, önceden belirlenmiş (verilmiş) olan düşüm-akım diyagramları kullanılarak net düşüm belirlenir. Debi süreklilik eğrisinin üzerinde bulunan noktalara, su gücü denklemleri uygulanır ve böylece güç süreklilik eğrisi elde edilir. Güç süreklilik eğrisinin altında kalan alan bölgenin hidroelektrik enerji potansiyelini verir (US Army Corps of Engineers, 1985).

Akarsuyun belli bir noktasından alınabilecek su ile ilgili olarak da debi süreklilik eğrisi kullanılmaktadır. Akarsuda gerçek akımlar zamanla değişir; debi süreklilik eğrisi bu dağılımı gösterir (Denklem 4.2). p , q_p debisinin aşılma olasılığı olarak tanımlandığına göre,

$$p = Pr\{Q > q_p\} = EP_Q(q_p) = 1 - F_Q(q_p) \quad (4.2)$$

yazılır.



Şekil 4.2: Debi süreklilik eğrisinden zamanın belli yüzdelerinde aşılan debilerin okunması

Burada $F_q(q)$ günlük ortalama akımın kümülatif dağılım fonksiyonudur. Doğal akım şartlarında çoğu bölgelerde, ortalama debi, μ_q , zamanın yarısından daha az zamanda mevcuttur. Bu bakımdan bir havzanın veya bir bölgenin kullanılabilir su kaynaklarının daha gerçekçi bir ifadesi zamanın büyük bir kısmında, mesela zamanın %95 'inde bulunan q_{95} esas alınarak belirlenir. Bu debi havzanın (safe yield) güvenli verimi (debisi) olarak anılır. Bununla birlikte bir havzadaki minimum debinin 0 olduğu (yani %100 alınabilecek debi 0 'dır. $q_1 = 0$) hatırlanmalıdır.

Debi süreklilik eğrileri, havzaların karakteristiklerini karşılaştırmak için de kullanılırlar. Bunun için bir akarsu havzasında bulunan AGİ'leri için çizilen debi süreklilik eğrileri aynı eksen takımında gösterildikten sonra bunların aritmetik ortalaması alınarak, o havzayı temsil edecek bir ortalama debi süreklilik eğrisine ulaşılabilir. Benzer işlemlerle başka havzaların da ortalama debi süreklilik eğrileri elde edilerek bunların da aynı eksen takımında gösterilmesi ile havzaların kıyaslamalı yorumlarının yapılabileceği bir grafik elde edilir.

Bir nehir ölçüm istasyonundaki eksik gözlenmiş değerlerin belirlenmesi için yakın diğer havzalardaki ölçüm istasyonlarından elde edilmiş debi süreklilik eğrileri kullanılabilir. Bunun için ilk olarak kaynak istasyonlar belirlenir; bundan sonra, bu istasyonlardaki ve hedef istasyondaki (eksik ölçüm değerleri tamamlanacak veya mevcut ölçüm değerleri uzatılacak istasyon) akım rejimleri arasındaki benzerlik

derecesine göre ağırlık yüzdesi değeri saptanır (W_j , $j=1$ ile N arasında). Hedef istasyon ve kaynak istasyonlarda ay boyunca gözlenmiş günlük ortalama debilerin debi süreklilik eğrisi elde edilir. Hedef bölgedeki herhangi bir güne ait nehir akım değerini tahmin etmek için, kaynak bölgelerdeki nehir akım değerlerine (QS_j) ait debi süreklilik eğrisi (ilgili ay için) üzerinden aynı gün için aşılma yüzdesi değeri (DP_j) belirlenir. Hedef bölgedeki debi süreklilik eğrisinden aynı aşılma yüzdesi (DP_j) değerine karşı gelen akım değeri (QD_j) okunur.

Yukarıda verilen örneklere ilave olarak debi süreklilik eğrisi ayrıca, atık su arıtma tesisi projelendirmesinde, su kalitesi belirleme çalışmalarında, nehirlerden su taşımak için yapılacak nehir üzerinde baraj olması durumunda nehrin kurummasını önleme çalışmalarında, düşük akım analizinde ve akarsudaki canlı hayatının incelenmesi çalışmalarında da kullanılan önemli bir araçtır.

4.5. Akım Haritası

4.5.1 Kriging

Akım haritalarının çıkartılmasında Kriging yöntemi kullanılmıştır. Kriging ilk kez D.G. Krige tarafından kullanılmıştır. Bu teknik başlangıçta yerbilimleri uygulamaları için geliştirilmiş olup günümüzde yağışın haritalanmasında da sıkça kullanılmaktadır.

Yöntem, bilinen ölçüm noktalarından bilinmeyen noktaların bir yarı varyogram yardımıyla hesaplanması esasına dayanır. x_1, x_2, \dots, x_n örnek (istasyon) noktaları ve bu noktalardaki yağış değerleri $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ olarak, $Z(x_0)$ ise hesaplanmak istenen yağış değeri olarak düşünülürse; $Z(x_0)$ değeri etrafında konumlanmış n adet bilinen yağış değerinin ağırlıklı bir kombinasyonu olarak yazılabilir (Denklem 4.3).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (4.3)$$

Denklem 3.1'de λ_i ; ağırlıkları, $Z^*(x_0)$ ise $Z(x_0)$ değerinin tarafsız (unbiased) halini temsil etmektedir ve bu farkın beklenen değerinin sıfır olması gerekmektedir (Denklem 4.4). Yine aynı şekilde bu farkın kestirilen varyansının beklenen değeri ise minimum olmalıdır (Denklem 4.5).

$$E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0 \quad (4.4)$$

$$E[Z^*(x_o) - Z(x_o)]^2 \Rightarrow \text{minimum} \quad (4.5)$$

Denklem 4.3, Denklem 4.4 ve 4.5 ile birleştirilirse Denklem 4.6 ve 4.7 elde edilir.

$$E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z(x_o)\right] = 0 \quad (4.6)$$

$$E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z(x_o)\right]^2 \Rightarrow \text{minimum} \quad (4.7)$$

En uygun λ_i ağırlıklarının belirlenmesi

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i C(x_i, x_j) + \mu = C(x_i, x_j) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de gösterilen doğru sisteminin çözülmesiyle elde edilir ki bu sisteme Kriging adı verilir. Burada $C(x_i, x_j) = E[Z(x_i, x_j)]$ kovaryans¹ ve μ ise Lagrange çarpanıdır.

Bir kriging sisteminde kestirilen varyans iki örnek noktası arasındaki fark olarak tanımlanabilir. $C(x_i, x_j)$ yerine $\gamma(x_i, x_j)$ konursa;

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_j) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4.9)$$

elde edilir. $\gamma(h)$ yarı varyogram olarak adlandırılır;

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x+h) - Z(x))^2] \quad (4.9a)$$

ya da

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(x+h) - Z(x)) \quad (4.9b)$$

olarak tanımlanır. h iki örnek noktası arasındaki mesafeyi gösterir (zaman zaman *lag* olarak da adlandırılır), $\text{var}()$ ise varyansı temsil eder (Karnieli, 1990).

Özet olarak, kriging yönteminde en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir

¹ Kovaryans, iki rasgele değişkenin beraber değişimlerini inceler. Örneğin, eğer değişkenler birbirinden bağımsızsa kovaryans sıfırdır.

4.5.2 Haritalandırma

Aylık akım yüksekliğinin haritalandırılmasında Huang ve Yang (1998) tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışmada akım yüksekliklerinin alanda dağıtılmasında, yağışı dağıtmada sıkça kullanılan Kriging yöntemi kullanılmıştır. Yağış gözleendiği noktayı, akım ise üzerinde kalan drenaj havzasını temsil ettiği için akım yükseklikleri AGİlerin olduğu yerde değil, AGİ havzalarının ağırlık merkezinde koordinatlandırılmıştır. Noktalar elde edildikten sonra Ordinary Kriging yöntemi uygulanarak akım alan üzerinde enterpole edilmiştir.

4.6. Regresyon Analizi

Regresyon Analizinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak açıklamak ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmek amaçlanmaktadır. X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki aşağıdaki “Doğrusal Regresyon Modeli” ile verilebilir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (4.11)$$

Burada; X; bağımsız (açıklayıcı) değişken, Y; bağımlı (açıklanan) değişken; β_0 : $X=0$ olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değer (kesim noktası); β_1 : Regresyon katsayısı, ε ; hata terimidir.

Eğer bir bağımlı değişkeni birçok bağımsız değişken etkileme durumunda ise buna çoklu regresyon denmektedir. İleri doğru seçim metodu (forward selection), geriye doğru eleme (backward elimination) metodu, adım adım seçme (stepwise selection) metodu olmak üzere üç farklı çoklu regresyon modeli bulunmaktadır.

Çoklu regresyon yöntemi olarak adım adım (stepwise) regresyon kullanılmış, model ve model parametrelerinin anlamlılığı sırasıyla F ve t testi ile sınıanmıştır (anlamlılık seviyesi $\alpha=0.1$ seçilmiştir). Durbin-Watson test istatistiği ise artıkların bağımsızlığını kontrol etmek için kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki çoklu bağıntıyı (Multi-collinearity) sınamak için varyans etki faktörleri (VIF) hesaplanmıştır. Modellerin uygunluğunu sınamak için ise determinasyon katsayıları (R^2) ve standart hatalar da (SE) hesaplanmıştır. Burada ayrıntısına girilmemekle birlikte yukarıda bahsi geçen yöntem ve testlere ait daha detaylı bilgiler çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (Helsel ve Hirsch, 2002; Ang ve Tang, 2006; Montgomery ve diğ., 2006).

5. UYGULAMA

Öncelikle yağış-akım ilişkisinin belirlenmesinde mevcut AGİlerden temin edilen günlük akım verilerine ait debi-süreklilik eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerden %50 ve %95 olasılığa ait aylık akım değerleri çıkartılmıştır. Söz konusu değerlerle beraber AGİlere ait aylık ortalama akım verileri için akım haritaları Kriging yöntemi ile elde edilmiştir.

Öte yandan vadi içlerinde dere kenarlarında konumlandırılmış olan YGİler birer akım gözlem istasyonu olarak düşünülerek havzaları çıkartılmış ve bu havzalara ait aylık %50, %95 olasılıklı ve ortalama akım değerleri önceden çıkartılmış akım haritalarından belirlenmiştir. YGİlerde ölçülmüş aylık ortalama yağış verileri ile daha önce çıkartılmış akım haritalarından elde edilen akım değerleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

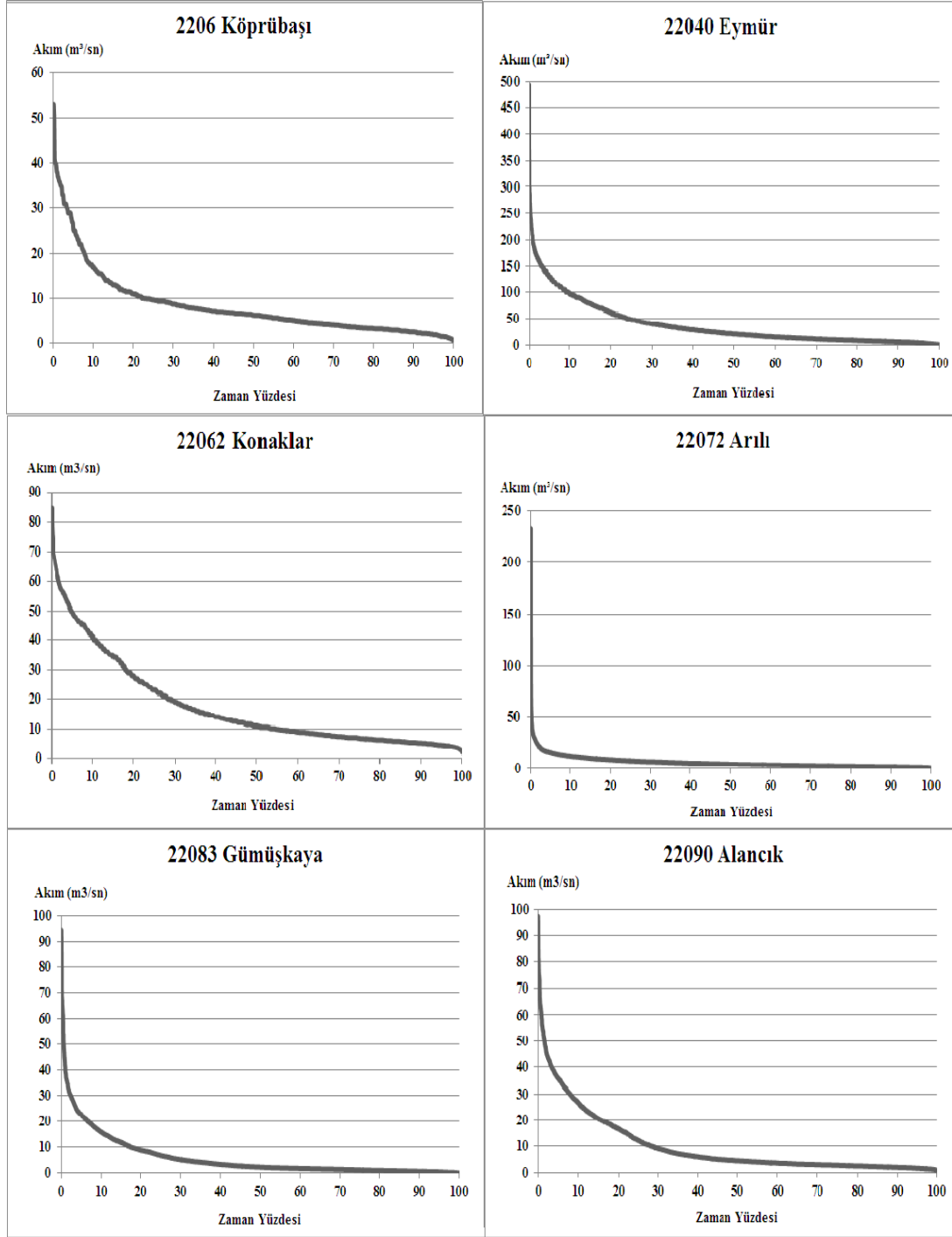
Aşağıdaki bölümlerde yağış-akım ilişkisinin belirlenmesinde izlenen yol ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1. Debi- Süreklilik Eğrileri Ve Akım Değerleri

Çalışma bölgesinde yer alan 37 AGİ ye ait debi süreklilik eğrileri çizilerek, %50 ve %95 olasılıklı aylık akım değerleri aylık ortalama akım değerleri ile birlikte elde edilmiştir.

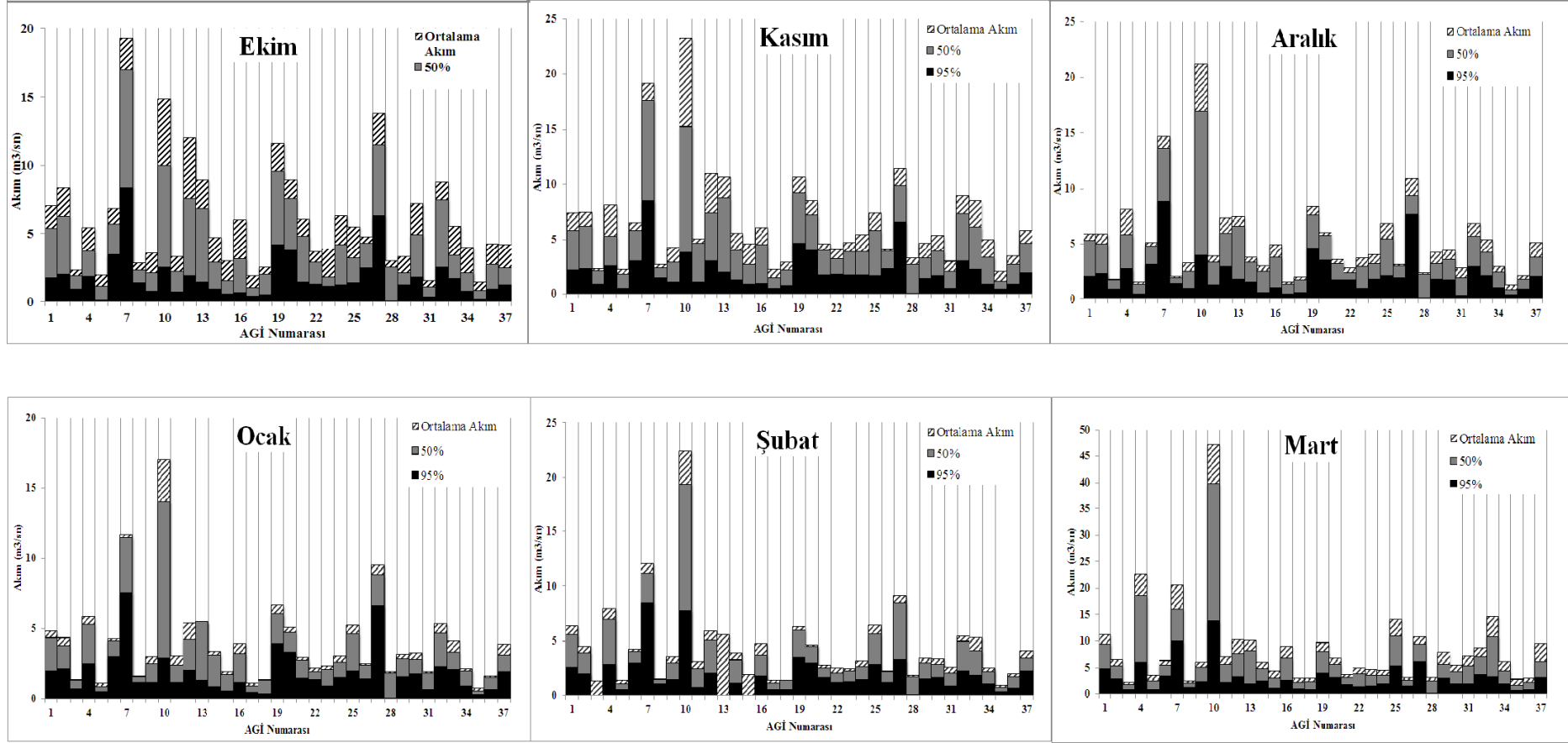
Aşağıdaki grafiklerde 6 adet AGİye (Köprübaşı, Eymür, Konaklar, Arılı, Gümüşkaya, Alancık) ait debi süreklilik eğrileri örnek olması açısından gösterilmiştir.

Şekil 5.1’de görülen örnek debi-süreklilik eğrileri gibi, kalan 31 AGİye ait debi-süreklilik eğrileri de çıkartılmıştır. Söz konusu debi-süreklilik eğrilerine göre tüm AGİler için Excel programında bir makro kodu yazılarak %50 ve %95 olasılıklı akım değerleri hesaplanmıştır. Böylece çalışma için gerekli 37 AGİye ait aylık ortalama, %50 ve %95 olasılıklı aylık akım değerleri elde edilmiştir. Bu akım değerleri AGİ sıra numaralarına göre Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te verilmiştir.

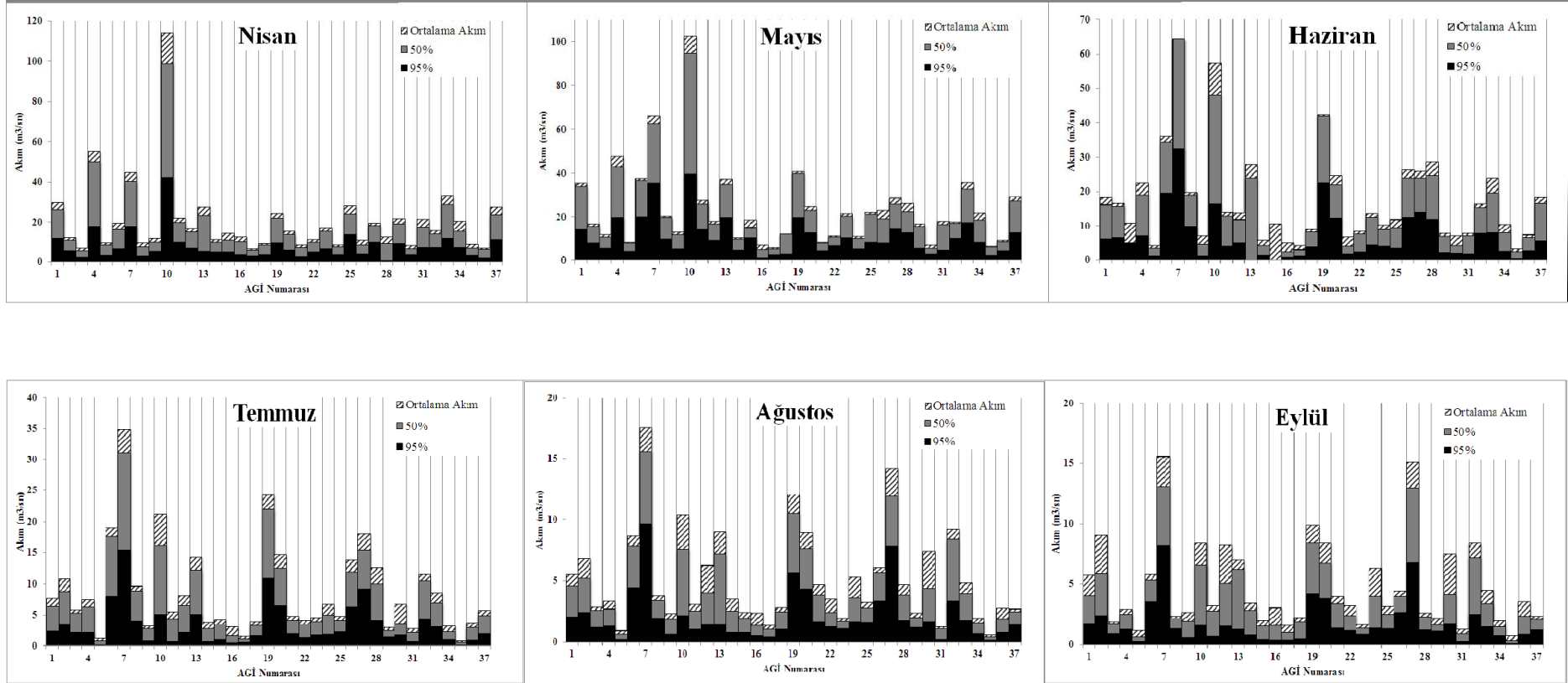


Şekil 5.1: Örnek debi-süreklilik eğrileri

Şekil 5.2 ve 5.3'ten görüleceği gibi özellikle Mart, Nisan, Mayıs, Haziran ve hatta Temmuz aylarında akım değerleri ciddi bir şekilde artmaktadır. Oysaki bu aylarda bölgedeki yağış miktarı azalmaktadır (Ağırlioğlu ve diğ., 2010). Bu durum; kar erimesine işaret etmekte ve bu erimenin uzun bir süre devam ettiğini düşündürmektedir.



Şekil 5.2: 37 AGİ için Ekim - Mart ayları arasında %50, %95 aşılma olasılıkları ve ortalama akımlar



Şekil 5.3: 37 AGİ için Nisan-Eylül ayları arasında %50, %95 aşılma olasılıkları ve ortalama debileri

5.2. Akım Haritasının Çıkartılması

Yağış-akım ilişkisinin belirlenmesinde, yağışı alanda dağıtmak yerine akımın alandaki interpolasyonu yoluna gidilmiştir. Akım yüksekliği haritasının belirlenmesinde, 37 adet AGİ'ye ait aylık ortalama, %50 ve 95 olasılıklı aylık akım yükseklikleri, yine bu havzalara ait ağırlık merkezlerine yerleştirilmiştir. AGİ drenaj havzalarına ait ağırlık merkezleri bulunurken Arcview ve ArcGIS v9.2 yazılımlarından yararlanılmıştır.

Akımın alandaki dağılımını belirleyebilmek için Huang ve Yang (1998) çalışmasından yararlanılarak Ordinary Kriging yöntemi uygulanmıştır. Haritaların hazırlanmasında en uygun variogram modeli çapraz doğrulama tekniği ile bulunmuştur (Isaaks ve Srivastava, 1989). Tekniğe göre öncelikle, gerçekte akım yüksekliği bilinen bir noktanın değeri etrafında bulunan komşu istasyonlarının değerlerinden tahmin edilir. Daha sonra bu tahmin değeri ile orijinal ölçüm değeri karşılaştırılır, aynı işlem tüm AGİler için tekrarlanarak en uygun variogram tipi bulunur.

Çapraz doğrulama tekniği kullanılırken, variogram tipi, Ortalama Hatanın Karesinin Karekökünü (OHKK) minimum yapacak şekilde seçilmiştir. OHKK aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$OHKK = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{tahmin} - Q_{gözlem})^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Denklemdaki Q_{tahmin} ; komşu istasyonlar kullanılarak bulunan akım yüksekliği değeri, $Q_{gözlem}$ ise orijinal akım yüksekliği değeridir. Son olarak N ; veri sayısını göstermektedir.

OHKK'dan başka modelin doğruluğunu belirlemek için ayrıca ölçüm-tahmin değerleri arasındaki determinasyon katsayılarına da (R^2) bakılmıştır. OHKK ve R^2 değerleri tüm aylar için Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

En uygun variogram tipi belirlendikten sonra çizilen akım yüksekliği haritaları örnek olması açısından yalnızca Ekim ayı için Şekil 5.4'te verilmiştir. Haritalar üzerinde ayrıca kullanılan AGİ drenaj havzalarına ait ağırlık merkezi noktaları da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Aylık akım yüksekliği haritalarına ait çapraz doğrulama sonuçları

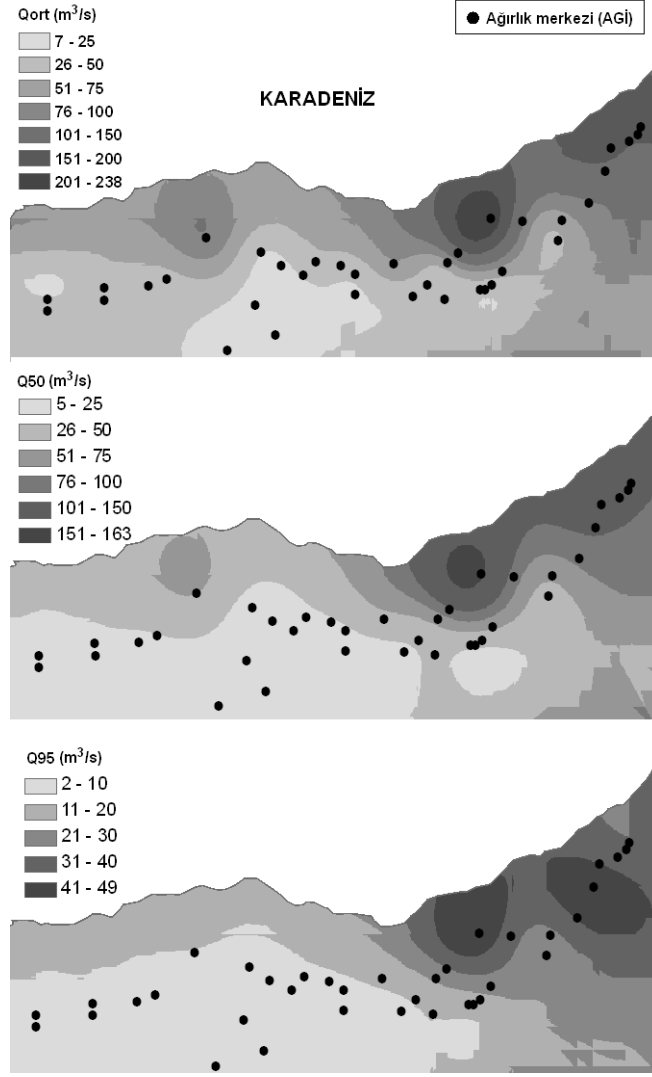
Aylar	Q Ortalama		Q50		Q95	
	R ²	OHKK (mm)	R ²	OHKK (mm)	R ²	OHKK (mm)
Ekim	0,77	26,55	0,88	13,68	0,75	7,43
Kasım	0,81	18,63	0,88	11,25	0,84	6,22
Aralık	0,79	14,95	0,82	11,43	0,75	7,19
Ocak	0,78	11,82	0,78	10,18	0,77	6,95
Şubat	0,75	13,20	0,78	10,55	0,61	7,66
Mart	0,60	23,32	0,60	17,96	0,68	8,99
Nisan	0,79	21,59	0,76	20,35	0,59	14,64
Mayıs	0,75	31,76	0,75	29,87	0,73	19,61
Haziran	0,85	30,85	0,90	24,51	0,94	10,30
Temmuz	0,87	20,66	0,93	12,33	0,90	7,33
Ağustos	0,87	17,95	0,89	11,23	0,87	5,94
Eylül	0,88	19,46	0,92	10,10	0,88	5,28

5.3. YGİlere Ait Havzaların Çıkartılması Ve Akım Değerlerinin Bulunması

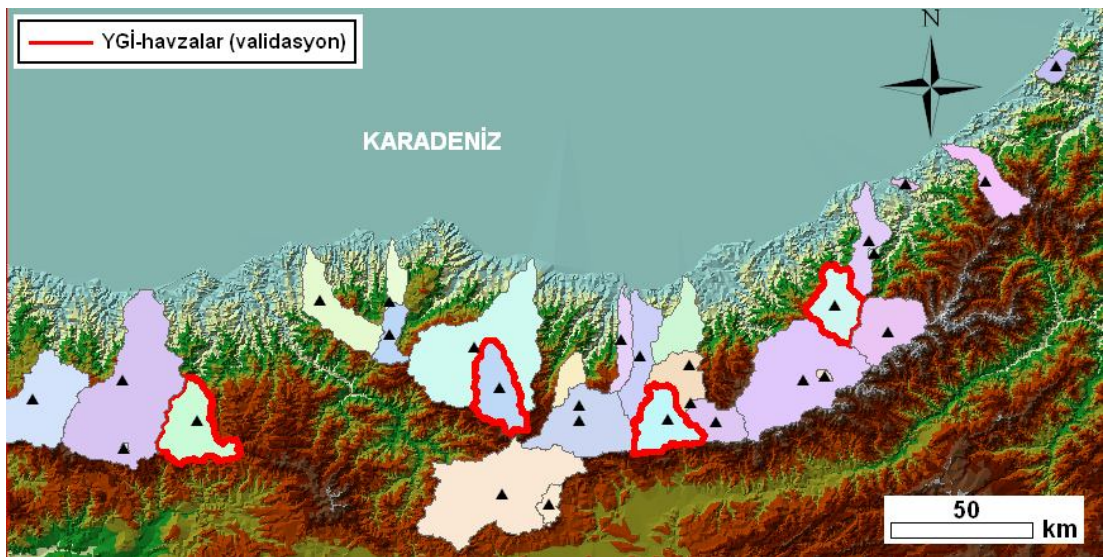
Doğu Karadeniz Bölgesi'nin orografik yağış özelliği gösterdiği ancak mevcut YGİlerin konumları nedeniyle bu özelliği yansıtmadığı bilinmektedir (Eriş, 2011). Ölçüm istasyonu olmayan bir noktadaki yağışın belirlenmesi için akım ölçüm değerlerinden yararlanma fikriyle yağış-akım ilişkisinin kurulması için mevcut YGİler birer AGİ gibi düşünülmüş ve bu YGİlere ait drenaj havzaları GIS yazılımları yardımıyla bulunmuştur. Böylelikle AGİ gibi varsayılan bu YGİ noktalarında, yukarıda çıkarımı açıklanmış akım yüksekliği haritaları kullanılarak akım yüksekliği değerleri bulunabilecek ve bu değerler ile bu YGİ noktalarında ölçülmüş aylık yağış değerleri arasındaki ilişkiler kurulabilecektir.

Bu amaçla çalışma bölgesi içerisinde bulunan ve dere kenarları yakınında kurulmuş (maksimum mesafe 2 km olacak şekilde) 28 adet YGİ seçilmiştir. Bu YGİlere ait bilgiler daha önce Çizelge 3.1'de verilmişti.

AGİ gibi varsayılan YGİlere ait drenaj havzaları ve akım yükseklik haritalarından bulunan ortalama, %50 ve %95 olasılıklı aylık akım değerlerinin hesaplanması için gerekli ağırlık merkezi noktaları Arcview ve ArcGIS yazılımları yardımıyla bulunmuş ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



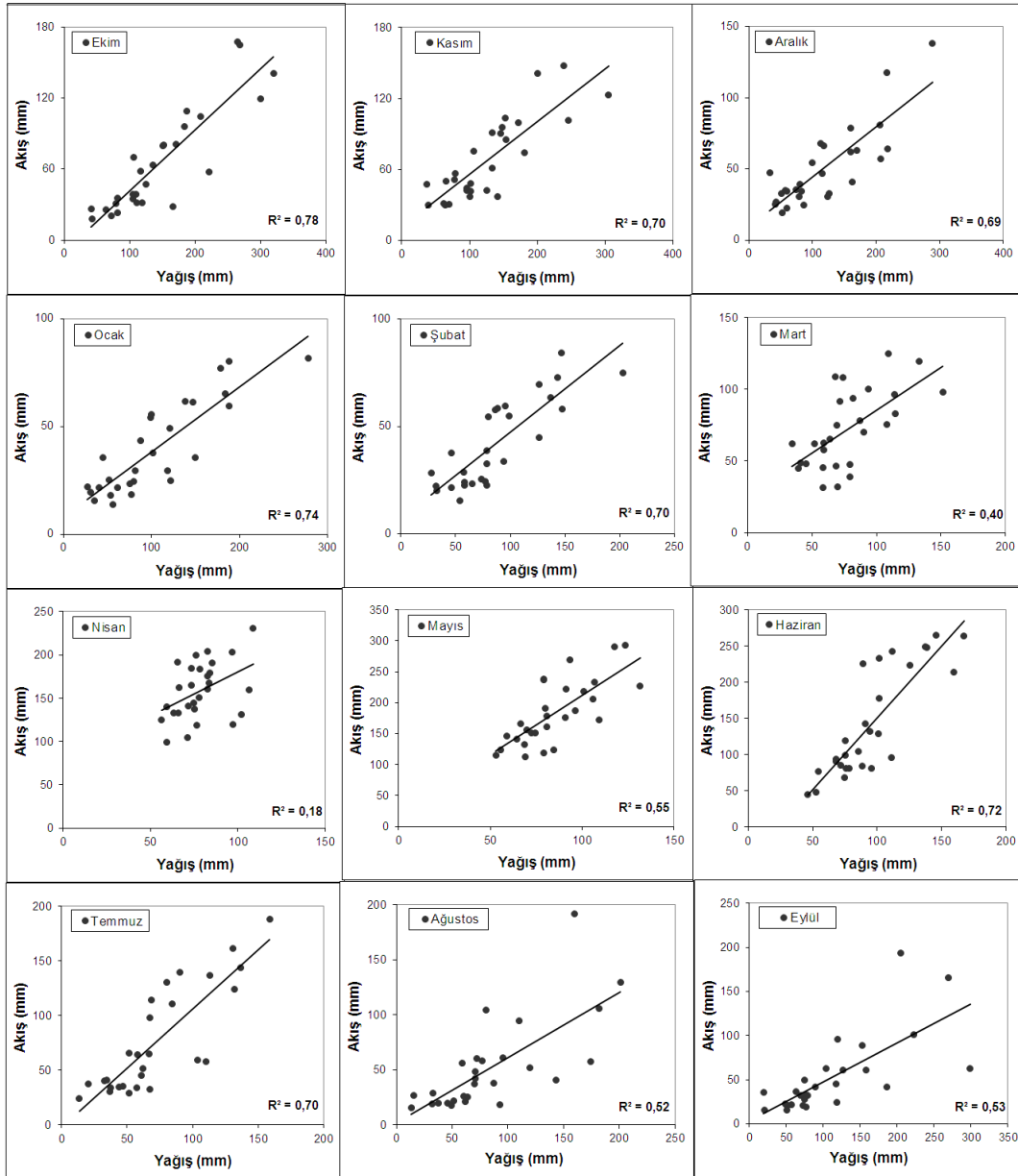
Şekil 5.4: Ekim ayı için ortalama, %50 ve %95 olasılıklı akım değerlerinden bölge için çıkarılmış örnek akım haritaları



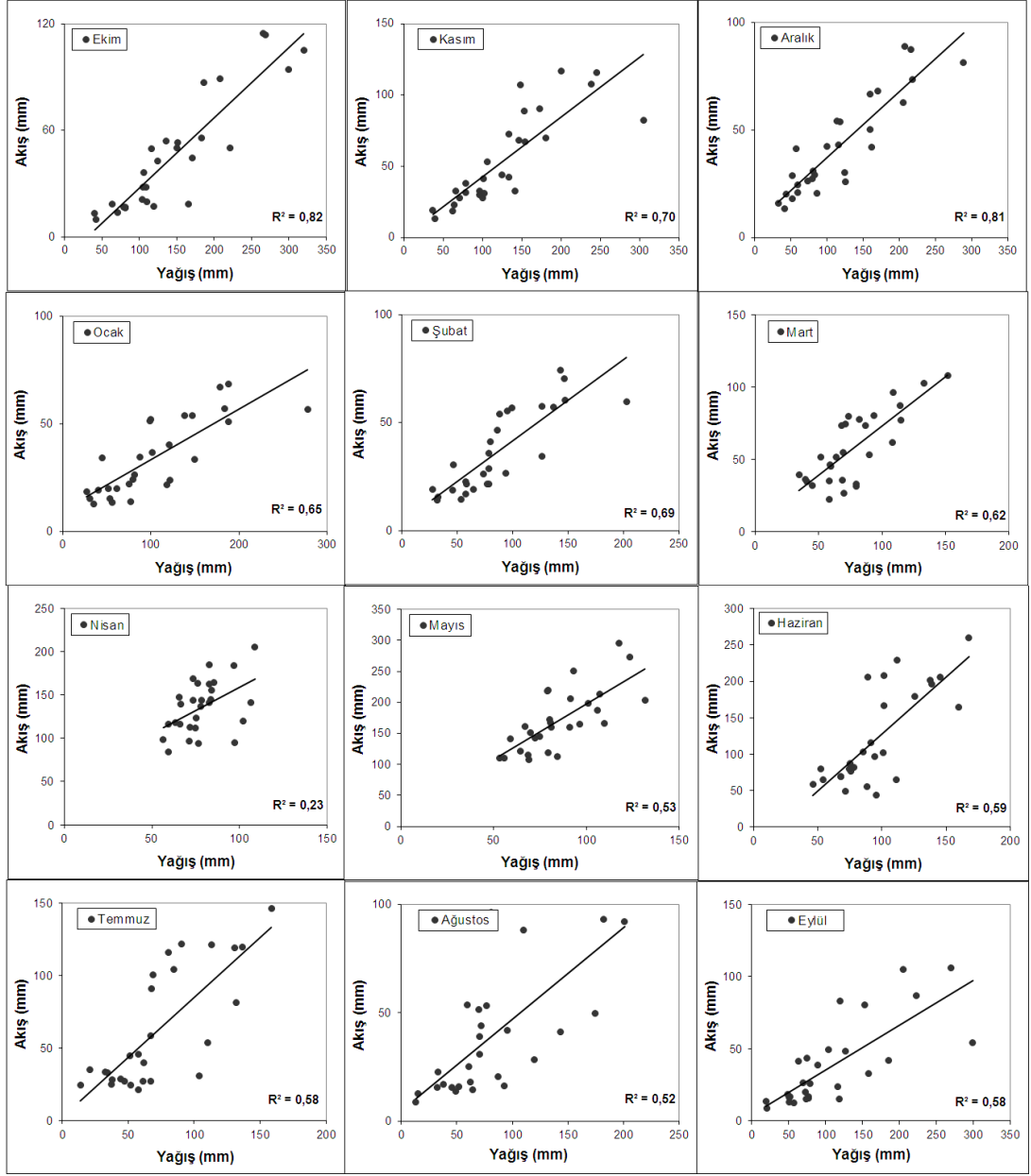
Şekil 5.5: YGİlere ait drenaj havzaları ve ağırlık merkezi noktaları

5.4. Yağış-Akım İlişisinin Belirlenmesi

Ortalama, %50 ve %95 olasılıklı aylık akım yüksekliklerine ait haritalar bulunurken AGİlere ait ölçülmüş akım yükseklik değerleri, bu noktalara ait drenaj havzalarının ağırlık merkezine yerleştirilmiştir. Dere kenarlarına kurulmuş ve AGİ gibi varsayılan YGİlere ait akım yükseklikleri çıkarılırken de YGİ havzalarına ait ağırlık merkezleri bulunmuş ve akım haritalarına yerleştirilerek değerler belirlenmiştir. Bulunanlar, birer akım yüksekliği değeridir ve AGİ gibi kabul edilen bu YGİ noktalarında yağış ölçümler mevcuttur. Söz konusu yağış ölçümleri ile haritalardan çıkarılan akım yükseklikleri arasında kurulan ilişkiler ortalama, %50 ve %95 olasılıklı aylık akımlar için Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8' de verilmiştir.



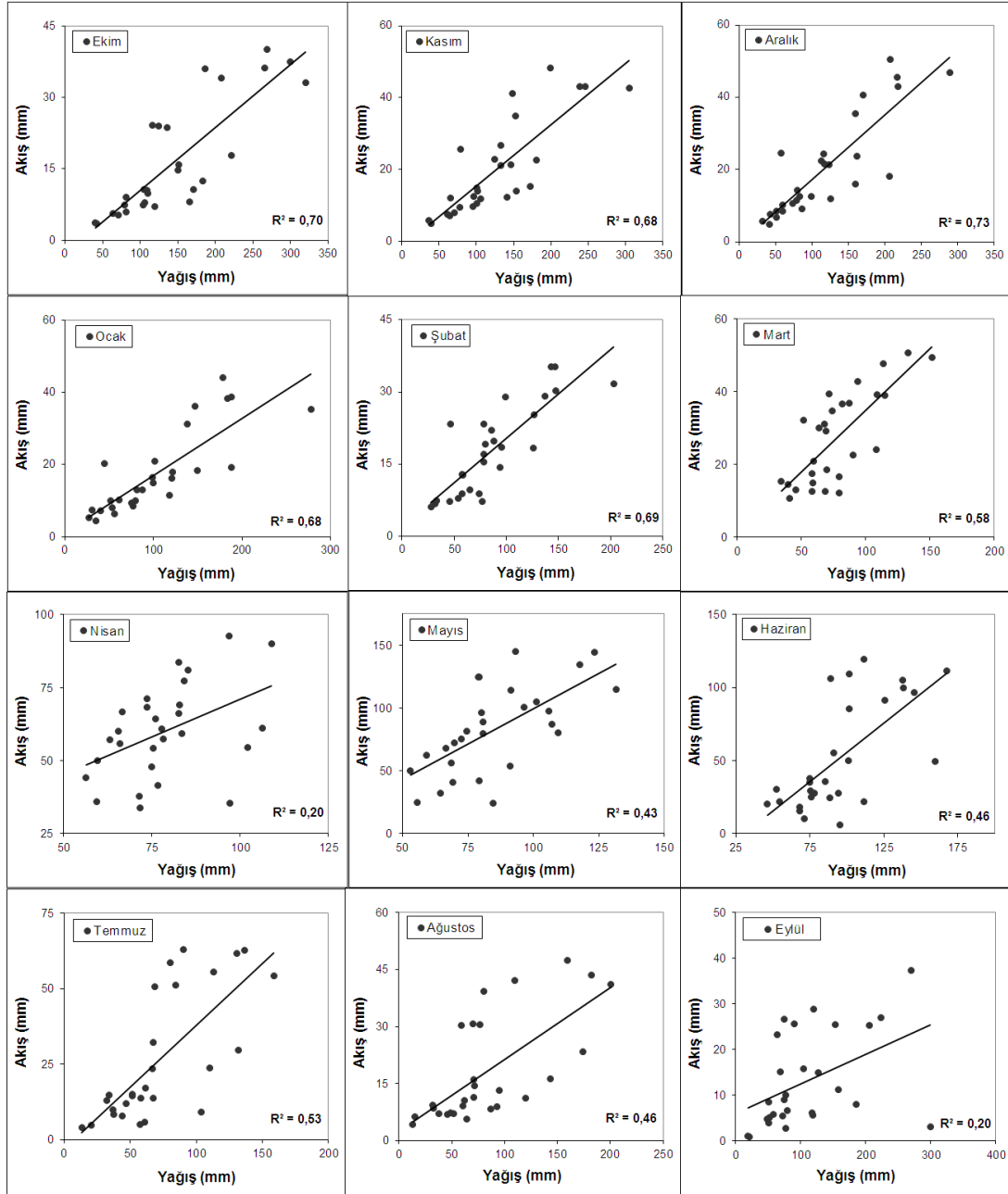
Şekil 5.6: Ortalama aylık akım (Q_{ort}) için yağış-akım ilişkileri



Şekil 5.7: %50 olasılıklı aylık akım (Q_{50}) için yağış-akım ilişkileri

Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8' den de görüleceği üzere, Mart ayı ve bu aydan sonraki yağış-akım ilişkileri, Ekim-Şubat ayları arasındaki ilişkiden daha zayıftır. Bu zayıf ilişki, özellikle Nisan ayında kendini göstermektedir. Nitekim bu ay kar erimesinin başlaması nedeniyle, yağıştan çok akışın meydana geldiği bir aydır. Bu erime ve eriyen karların akışa dahil olması bundan sonraki aylarda da devam etmekte ve etkisini göstermektedir.

Kurulan yağış-akım ilişkisinin özellikle su yılının 2.yarisında iyi sonuçlar vermemesi, yağışı tahmin etmek için başka yollara başvurulması ihtiyacını doğurmuştur.



Şekil 5.8: %95 olasılıklı aylık akım (Q_{95}) için yağış-akım ilişkileri

Akım tahmin edilirken, aynı zaman ölçeğindeki yağışın ve kendisinden bir önce gelen (gün, ay vb.) akım değerinin kullanıldığı olağandır. Aylık ortalama yağışın akım ile olan ilişkisinde ise yağışın ilişkisini bahsi geçen ayın ve bu aydan sonraki aylara ait akım değerleri ile ilişkilendirmek mümkündür. Yani aylık yağışın tahmininde aşağıdaki ilişki kurulabilir:

$$P(t) = f[Q(t), Q(t+1), Q(t+2), Q(t+3)\dots] \quad (5.2)$$

Bu bağıntıdan hareketle, çalışmanın bundan sonraki aşamasında aylık yağışın bulunabilmesi için aylık akım değerleri kullanılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesinde

aylık yağışın bulunması için kurulan ilişkilerde, YGİ havzasına ait alan, bu havzadan geldiği düşünülen yağışı tahmin edilecek aya ait akım değeri, tahmin edilecek aydan sonraki 2 ayın akım değeri bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Özetle bağımlı değişken olarak $P(t)$:

$$P(t) = f[A, Q(t), Q(t+1), Q(t+2)] \quad (5.3)$$

denklem 5.3'teki bağımsız değişkenlerle ilişkilendirilebilir. Çalışmada her bir değişkenin anlamlılığı regresyon analizi ile belirlenmiştir. Yöntem olarak adım adım (stepwise) regresyon tipi kullanılmıştır.

Ortalama, %50 ve %95 olasılıklı aylık akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış-akım ilişkilerine ait denklemler, denklem katsayıları, determinasyon katsayıları ve standart hatalarla birlikte Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2: Ortalama akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri

Denklem (Q Ortalama)	Katsayılar					R ²	SH
	b0	b1	b2	b3	b4		
Ekim (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Alan	7,84	1,76	0,07			0,82	35,05
Kasım (P) = b0 + b1*Ocak (Q) + b2*Alan	-10,70	3,10	0,05			0,80	32,12
Aralık (P) = b0 + b1*Ocak (Q) + b2*Alan	-26,55	3,21	0,05			0,83	29,68
Ocak (P) = b0 + b1*Ocak (Q) + b2*Alan	-26,85	2,89	0,05			0,78	31,50
Subat (P) = b0 + b1*Subat (Q) + b2*Mart (Q) + b3*Alan + b4*Nisan (Q)	-48,17	2,99	-1,70	0,04	0,75	0,86	17,83
Mart (P) = b0 + b1*Nisan (Q) + b2*Mayıs (Q)	-54,95	0,62	0,19			0,80	14,05
Nisan (P) = b0 + b1*Mayıs (Q)	45,30	0,18				0,43	11,47
Mayıs (P) = b0 + b1*Mayıs (Q)	30,92	0,29				0,55	14,62
Haziran (P) = b0 + b1*Temmuz (Q)	48,04	0,60				0,79	15,99
Temmuz (P) = b0 + b1*Temmuz (Q)	22,13	0,65				0,68	22,67
Agustos (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Alan	-4,35	1,16	0,04			0,82	23,94
Eylül (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Alan + b3*Eylül (Q)	-30,83	2,50	0,07	-0,85		0,87	29,67

Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4'ten anlaşılacağı üzere, yağışın akımdan tahmininde, tahmin edilecek aya ait akım değeri ve sonraki aylara ait akım değerlerinin kullanılması, yalnızca o aya ait akım değerinin kullanılmasına göre (Şekil 5.6, 5.7, 5.8) daha iyi sonuçlar vermiştir. Örnek olarak Nisan ayını inceleyecek olursak, Nisan ayı için R² değeri, ortalama, %50 ve %95 olasılıklı akım aday değişkeni kullanılarak bulunan denklemlerde sırasıyla 0.18, 0.23 ve 0.20 iken 0.43, 0.43 ve 0.33'e çıkmıştır. Öteki aylar için durum çok daha tatmin edicidir.

Çizelge 5.3: %50 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri

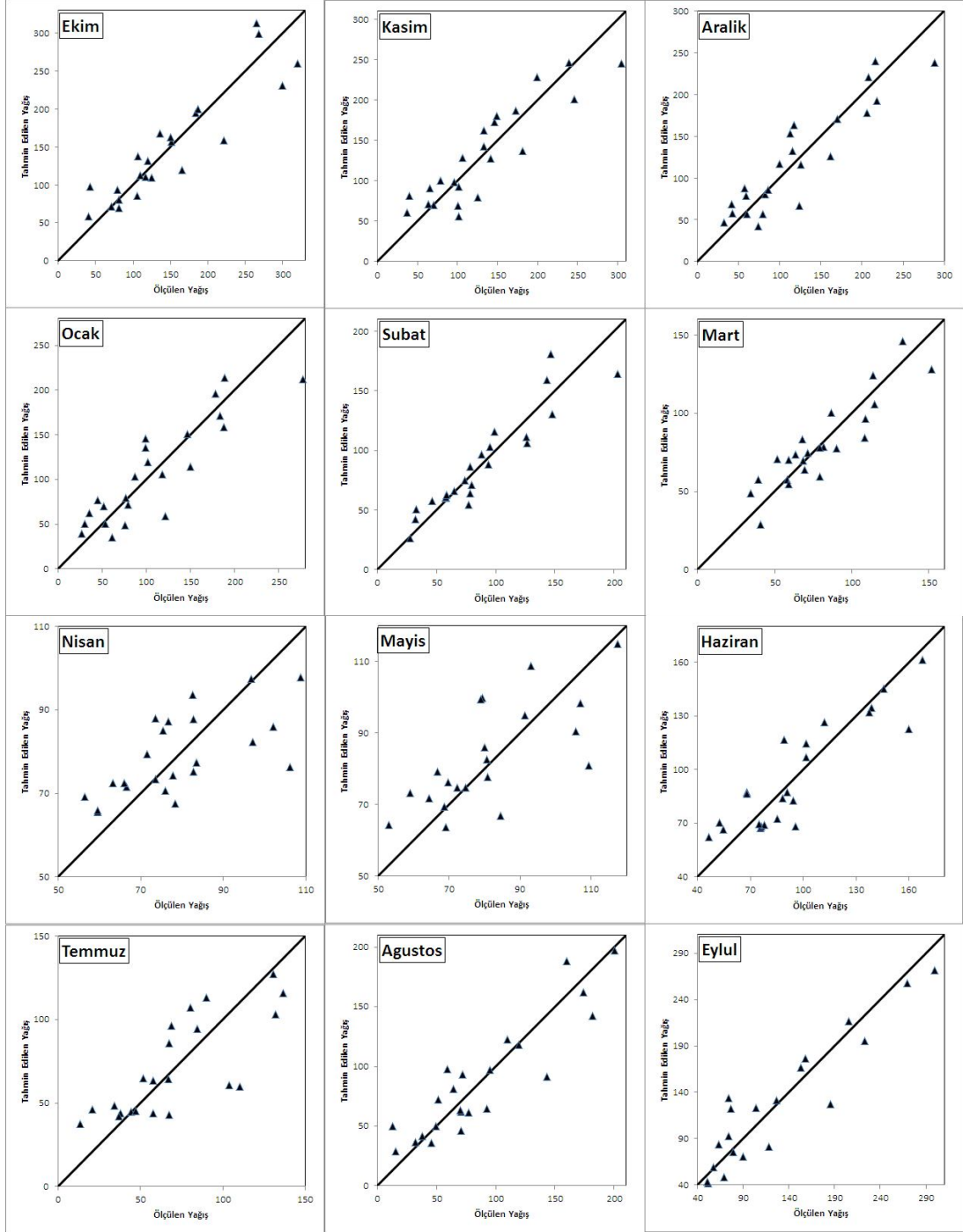
Denklem (Q50)	Katsayılar				R ²	SH
	b0	b1	b2	b3		
Ekim (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Alan	16,72	2,38	0,06		0,86	30,70
Kasım (P) = b0 + b1*Aralık (Q) + b2*Ocak (Q) + b3*Alan	3,52	5,50	-3,59	0,04	0,84	29,21
Aralık (P) = b0 + b1*Aralık (Q) + b2*Ocak (Q) + b3*Alan	-10,90	5,89	-3,98	0,04	0,88	25,51
Ocak (P) = b0 + b1*Mart (Q)	-17,37	2,13			0,68	36,82
Subat (P) = b0 + b1*Mart (Q)	1,83	1,47			0,70	24,34
Mart (P) = b0 + b1*Nisan (Q) + b2*Mayıs (Q)	-38,24	0,63	0,18		0,77	15,07
Nisan (P) = b0 + b1*Mayıs (Q)	46,30	0,19			0,43	11,49
Mayıs (P) = b0 + b1*Haziran(Q) + b2*Temmuz (Q) + b3*Alan	61,33	0,71	-0,89	-0,03	0,75	11,47
Haziran (P) = b0 + b1*Agustos (Q)	56,32	0,96			0,69	19,34
Temmuz (P) = b0 + b1*Eylul (Q)	29,81	1,12			0,71	21,65
Agustos (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Alan	2,69	1,56	0,03		0,84	22,46
Eylul (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Eylul (Q) + b3*Alan	-8,74	3,55	-1,56	0,05	0,87	29,93

Çizelge 5.4: %95 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemleri

Denklem (Q95)	Katsayılar				R ²	SH
	b0	b1	b2	b3		
Ekim (P) = b0 + b1*Aralık (Q) + b2*Ekim (Q) + b3*Alan	18,89	11,10	-6,93	0,04	0,89	28,03
Kasım (P) = b0 + b1*Aralık (Q) + b2*Kasım (Q)	57,69	11,89	-8,36		0,77	33,30
Aralık (P) = b0 + b1*Subat (Q)	5,80	6,31			0,75	35,05
Ocak (P) = b0 + b1*Subat (Q)	5,78	5,54			0,68	36,26
Subat (P) = b0 + b1*Subat (Q)	19,75	3,71			0,65	25,68
Mart (P) = b0 + b1*Nisan (Q)	-7,88	1,46			0,59	19,41
Nisan (P) = b0 + b1*Mayıs (Q)	58,65	0,24			0,33	12,37
Mayıs (P) = b0 + b1*Haziran(Q) + b2*Alan	72,78	0,33	-0,02		0,52	15,64
Haziran (P) = b0 + b1*Agustos (Q)	58,04	1,98			0,69	19,06
Temmuz (P) = b0 + b1*Agustos (Q)	33,42	2,16			0,61	24,54
Agustos (P) = b0 + b1*Ekim (Q) + b2*Agustos (Q)	25,04	8,39	-4,29		0,76	26,69
Eylul (P) = b0 + b1*Kasım (Q) + b2*Eylul (Q)	19,35	6,38	-2,94		0,77	38,15

Regresyon denklemleri kurularak tahmin edilen yağışın ölçülen yağışla olan saçılma diyagramları ise Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11’de verilmiştir.

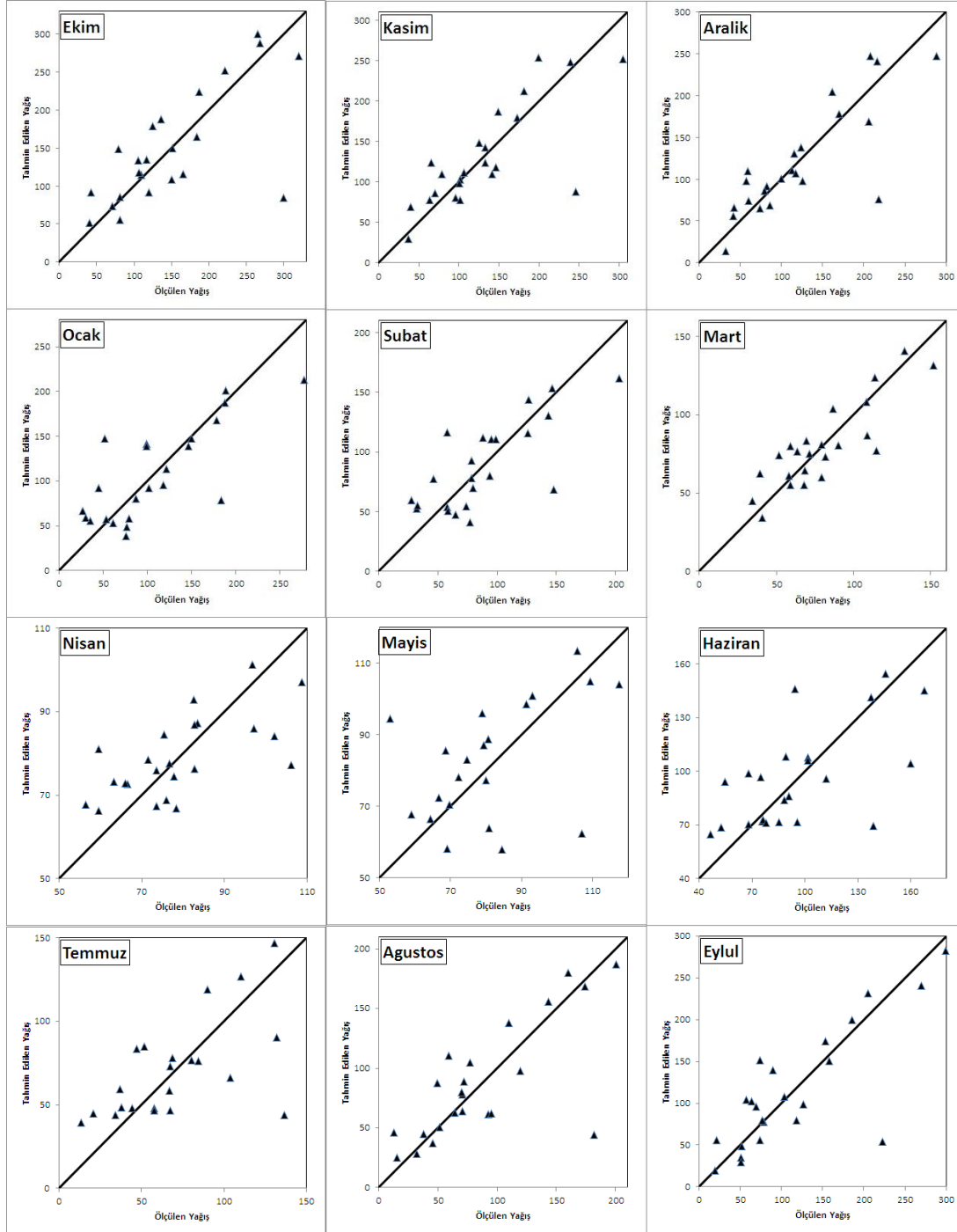
Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11’de verilmiş saçılma diyagramlarından, aday bağımsız değişken sayısının artırılmasının kurulan denklemler açısından daha iyi sonuç verdiği açıktır. Bununla birlikte yinede su yılının ikinci yarısından itibaren yapılan tahminler, ilk yarısına göre yapılanlara göre daha dağınık görünmektedir.



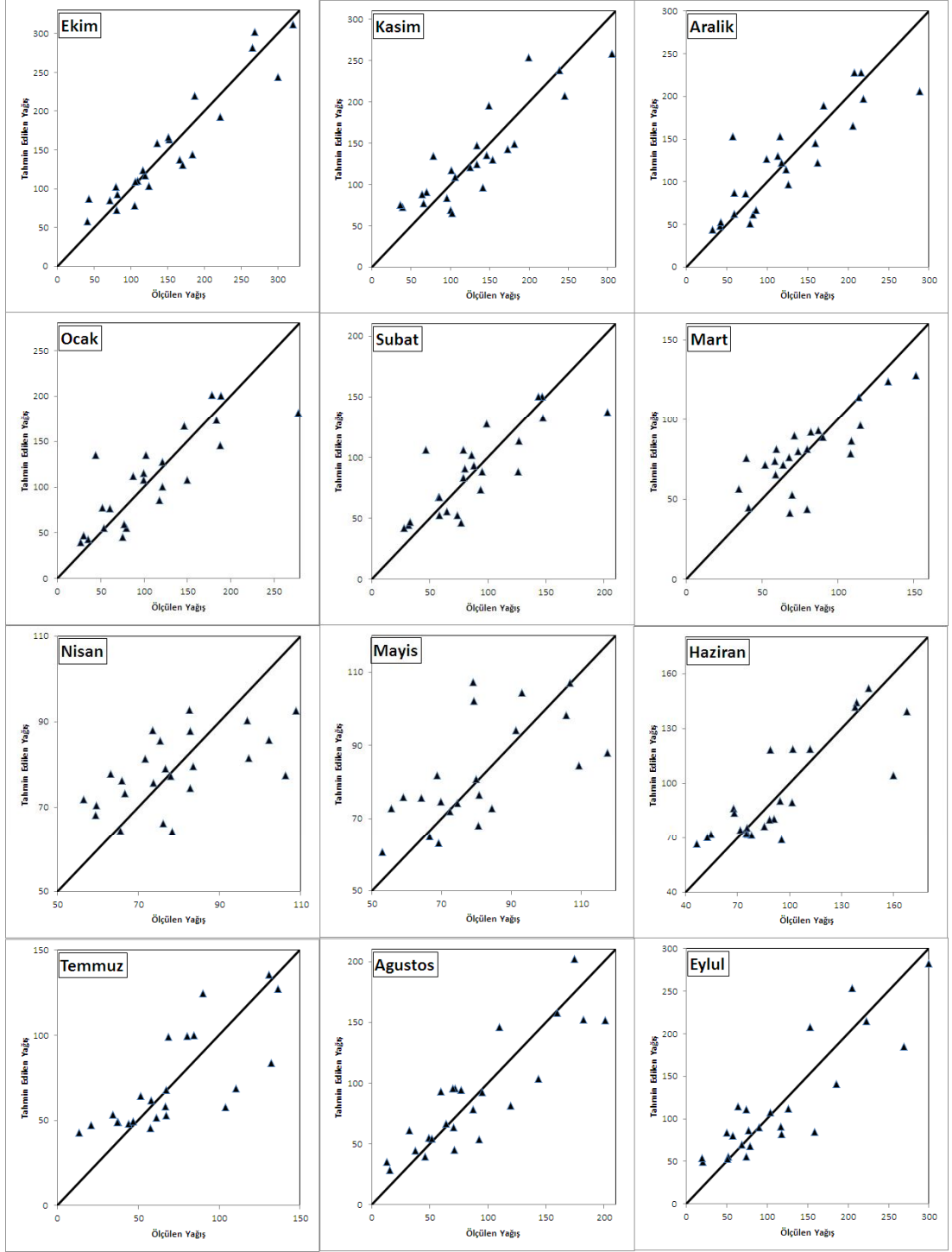
Şekil 5.9: Ortalama akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı

Yağış tahmin edilirken hem ortalama hem de farklı olasılıklara karşılık gelen akım yükseklikleri kullanılmıştır. Bu durum ortalama ve farklı olasılıklı akım değerlerinin yağışı tahmin etmedeki başarısının karşılaştırılması için olanak sağlamıştır. Ortalama, %50 ve %95 olasılıklı akımlar kullanılarak bulunan denklemlere ait R^2 ve SH değerleri Şekil 5.12’de özetlenmiştir.

Buna göre en düşük R^2 ve buna bağlı olarak en büyük SH değerinin veren %95 olasılıklı akım değerleri kullanılarak bulunan denklemlere aittir. Öte yandan ortalama ve %50 olasılıklı aylık akımlarla kurulan denklemlere ait R^2 ve SH değerleri birbirine yakındır. Bu durum yağışın tahmininde hem ortalama hem de %50 olasılıklı aylık akımların kullanılabilirliğini, fakat işlem kolaylığı açısından doğrudan ortalama akımların kullanılabilirliğine işaret etmektedir.

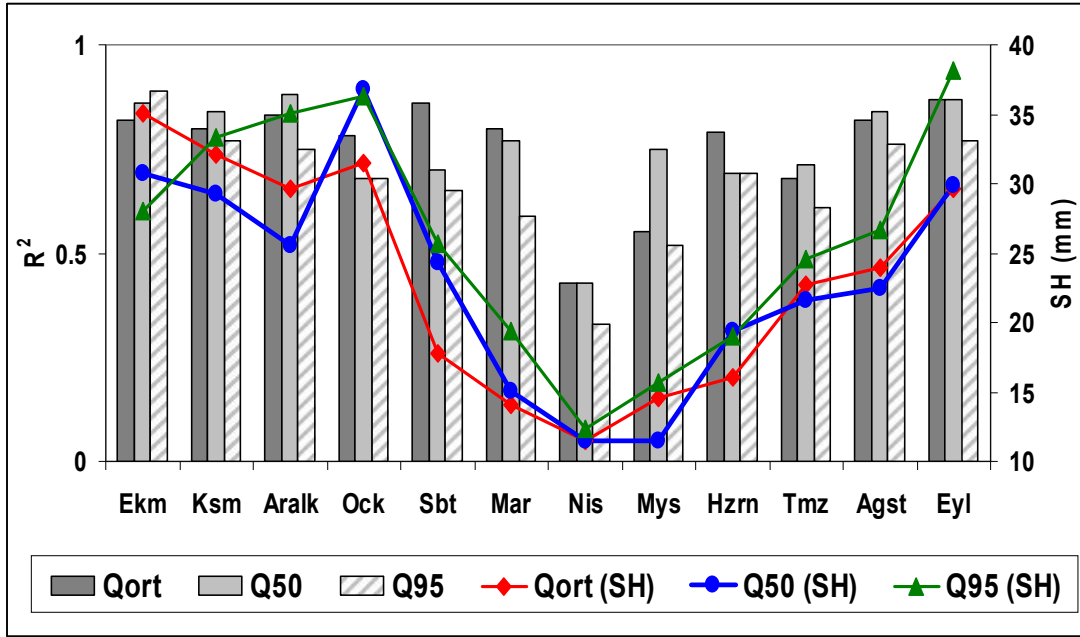


Şekil 5.10: %50 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı



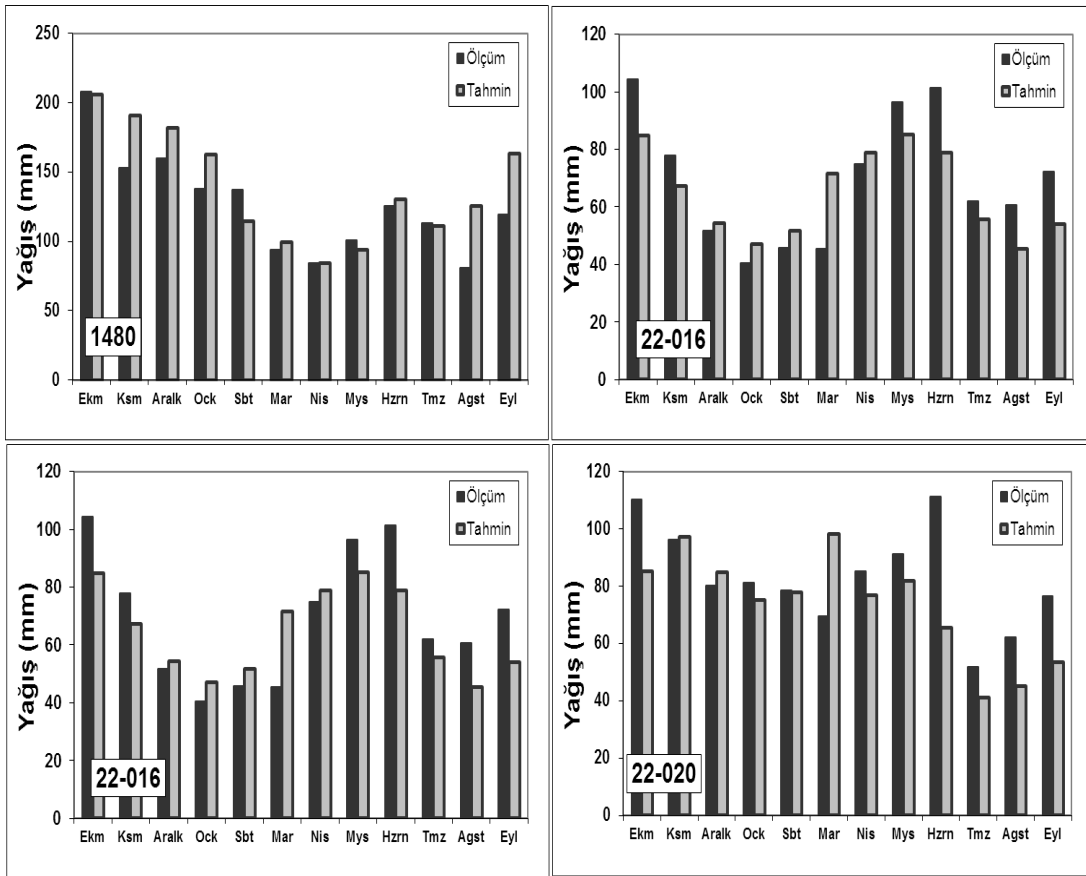
Şekil 5.11: %95 olasılıklı akım yükseklikleri kullanılarak kurulan yağış tahmin denklemlerine ait ölçüm-tahmin saçılma diyagramı

Bununla birlikte, yağışın tahmininde validasyon aşaması için çalışma bölgesi içersinden rastgele 4 adet YGİ seçilmiştir. Bu 4 validasyon istasyonu Kaptanpaşa (1480), Maçka (1626), Köknar (22016) ve Sınır (22020) olup, bu YGİlere ait havzaların konumları ayrıca Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

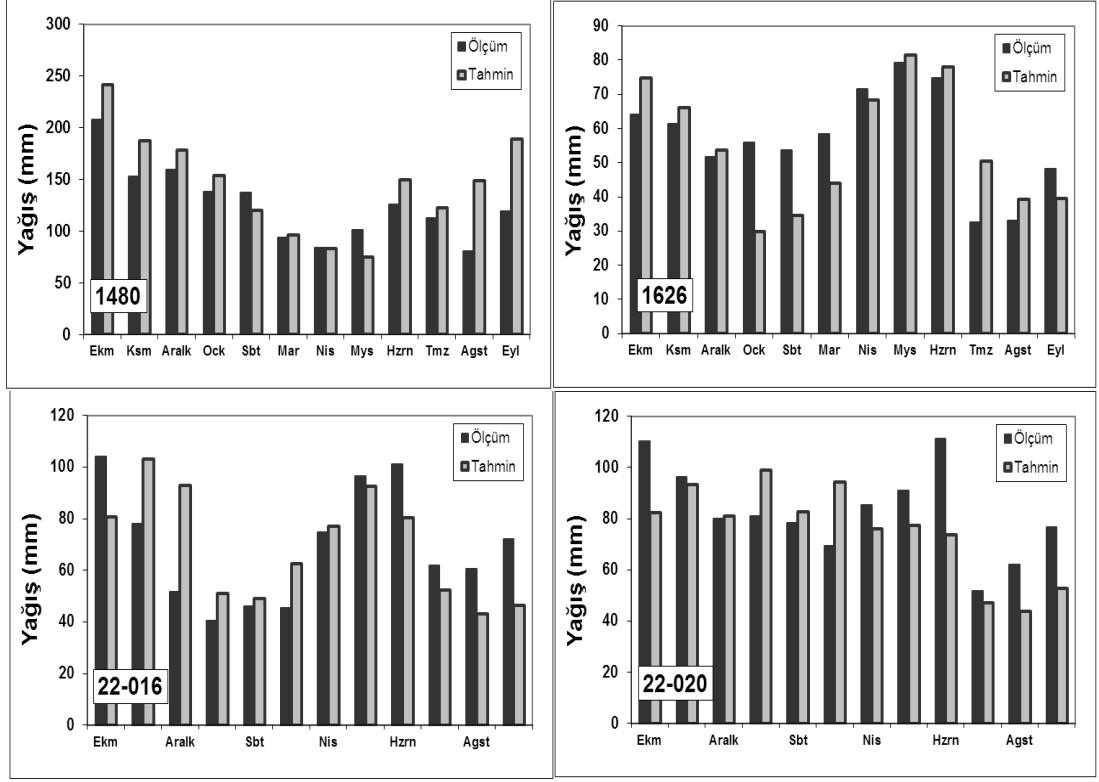


Şekil 5.12: Farklı akım yükseklikleri ile kurulan denklemlere ait R^2 ve SH değerleri

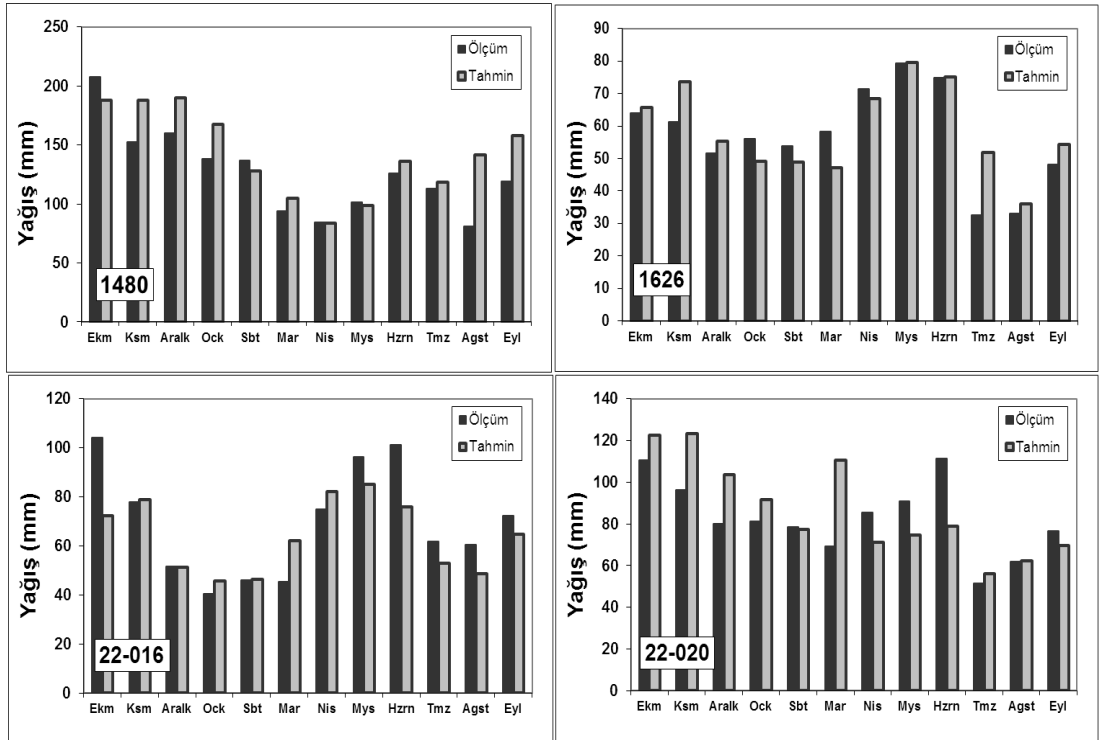
Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15 validasyon istasyonlarına ait ölçüm-tahmin yağış değerlerini göstermektedir. Validasyon aşamasına ait sonuçlar tatminkâr görünmektedir. Her bir validasyon istasyonu için ölçüm-tahmin gidişatı birbirine benzemektedir.



Şekil 5.13: Ortalama akım yüksekliği için validasyon sonuçları



Şekil 5.14: %50 olasılıklı akım yüksekliği için validasyon sonuçları



Şekil 5.15: %95 olasılıklı akım yüksekliği için validasyon sonuçları

6. SONUÇLAR

Su kaynaklarının en uygun biçimde değerlendirilmesinde akımın tahmininin doğru olarak belirlenmesinin önemi yadsınamaz. Öte yandan ölçümleri olmayan herhangi bir noktada akımın doğru olarak tahmini de hidrolojik sürecin en önemli girdisi olan yağışa bağlıdır. Yağış gözlem istasyonları az ve/veya homojen olarak dağılmamış orografik yağış özelliği gösteren dağlık bölgelerde, akımın tahmininden önce yağışın bilinmesi gereklidir. Bu çalışmada da orografik yağış özelliği gösteren ancak yağış gözlem istasyonları az olan Doğu Karadeniz Bölgesi için aylık yağışın tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tersine kurulan yağış- akım bağıntısında ortalama ve farklı olasılıklı aylık akım değerlerinden yararlanılmıştır. Yağış-akım ilişkileri regresyon analizi yapılarak elde edilmiştir.

Yağış-akım ilişkisinin kurulabilmesi ve yağış gözlem istasyonlarına ait yağış değerlerinin kullanılabilmesi için bu noktalara ait akımın bilinmesi gerekmektedir. Bu noktalardaki akım değerleri ortalama ve farklı olasılıklı aylık akımlar (%50 ve %95) kullanılarak çıkartılan akım haritalarından belirlenmiştir. Farklı olasılıklı akımlar debi-süreklilik eğrileri çizilerek bulunmuş, bu değerler her bir akım gözlem istasyonuna ait drenaj havzalarının ağırlık merkezlerine yerleştirilmiştir. Ağırlık merkezinin kullanılmasındaki amaç, akımın yağış gibi bir noktayı temsil etmek yerine bir alanı temsil etmesinden ileri gelmektedir. Ağırlık merkezlerine yerleştirilen akım değerleri Kriging yöntemi ve ArcGIS yardımıyla haritalara çevrilmiştir. Böylece akımın alan içerisindeki dağılımı belirlenmiş ve herhangi bir noktada akım değerinin bilinmesine olanak sağlamıştır. Bölge için çıkartılmış ve aslen yağışın hesaplanması için kullanılan söz konusu akım haritaları akım ölçüm istasyonu bulunmayan noktalarda ortalama ve farklı olasılıklı akım değerlerinin bulunması için de kullanılabilir niteliktedir.

Akım haritaları çıkarıldıktan sonra gerçekte yağış gözlem istasyonu olan ancak akım gözlem istasyonu olarak düşünülen noktalar için akımı bulmak mümkün olmaktadır. Yani bir başka deyişle yağış gözlem istasyonlarının koordinatları akım haritasından akımı okumayı sağlamaktadır. Aynı noktalarda yağış gözlem istasyonlarına ait yağış

gözlemleri de olduğu için bu noktalarda akım ile yağış arasında ilişkiler kurmak mümkün olmuştur. Öncelikle yağış gözlem istasyon noktalarındaki yağış ve akım arasındaki korelasyona bakılmıştır. Bu korelasyon su yılının ilk yarısında oldukça güçlü iken ikinci yarısından itibaren zayıflamıştır. Bunun olası nedeni bölgedeki kar erimesidir.

Bir bölgede bir aydaki akım, klasik olarak o ayki yağış ve kendinden önceki ayların akımları ile ilişkilendirilebilir. Çalışma bölgesi için aynı aya ait yağış-akım ilişkisi doğrudan kurulamadığından, böyle bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur. Yani çalışma bölgesinde bir aydaki yağış, aynı aydaki akım ve o aydan sonraki akım değerleriyle ilişkilendirilmiş ve bu değişkenlerle regresyon denklemleri kurulmuştur. Yağış-akım ilişkisinin kurulmasında yalnızca yağışı tahmin edilecek ayın akım değerini kullanmak yerine bu aydan sonraki ayların akım değerlerini kullanmanın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Özellikle aylık ortalama ve aylık %50 olasılığa karşılık gelen akımlar kullanılarak çıkarılan denklemler, %95 olasılığa karşı gelen akımlarla çıkarılanlara göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu da yağışın bir noktadaki tahmininin aylık ortalama ya da aylık %50 olasılıklı akım değerleriyle mümkün olabileceğini göstermektedir. Nitekim bölgede aylık ortalama ve %50 olasılığa karşı gelen akımlar değer olarak birbirine yakın, %95 olasılıklı akımlara göre ise büyüktür.

Çalışma bölgesindeki yağış gözlem istasyonlarının sayısı az olduğu ve bölgenin yağış özelliklerini tam olarak temsil edemediği için akım gözlemleri ile kurulan denklemler yağış gözlemi olmayan noktalarda yağışın hesaplanmasına yardımcı olacaktır. Bahar aylarında eriyen kar nedeniyle yüksek miktarda seyreden akım değerlerinin modellemede yağışa ek olarak karın ve sıcaklığın da eklenmesinin ileride yapılacak çalışmalar açısından uygun olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adam, J. C., Clark, E. A., and Lettenmaier, D. P.**, 2006. Correction of Global Precipitation Products for Orographic Effects, *Journal of Climate*, **19**: 15-38.
- Agiralioglu, N., Cigizoglu, H.K., Yilmaz, L., Coskun, H.G., Aksoy, H., Toprak, Z.F., Eris, E., Alganci, U., Andic, G., Usta, G., Besiktas, M., Ulken, I.**, 2009. Akım ölçümleri olmayan akarsu havzalarında teknik hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi (in Turkish), *The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Project No 106M043*, 188pp.
- Alganci, U.**, 2008. Akarsu havzalarında hidroelektrik potansiyel parametrelerinin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ang, H.-S., and Tang, W. H.**, 2006. *Probability Concepts in Engineering: Emphasis on Applications to Civil and Environmental Engineering* (v. 1), Wiley, NY, 406p.
- Ayaz, E.**, 2009. Solaklı Havzasında Aylık ve Yıllık Debi Süreklilik Eğrilerinin Normalleştirme Yöntemiyle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bari, M. F. ve Shafiul İslam, K. M.**, 2006. Stochastic model of flow duration curves for selected rivers in Bangladesh, *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, IAHS-AISH publication, **308** 99-104.
- Bayazit, M.**, 1999. *Hidroloji*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Beşiktaş, M.**, 2010. Doğu Karadeniz'de debi süreklilik eğrilerinin regresyon analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bishop, G. D., and Church, M.R.**, 1992. Automated approaches for regional runoff mapping in the northeastern United States, *Journal of Hydrology*, **138** 361-383.
- Castellari, A., Galeati, G., Brandirmate, L., Montanari, A., Brath, A.**, 2004. Regional Flow-Duration Curves: Realibility for Ungauged Basins, *Advances in Water Resources*, **27** (10): 953-965.
- Chinayakanahalli, K., Kroeber, C., Hill, R., Tarboton, D. G., Olson, J., and Hawkins, C.**, 2006. The Multi-Watershed Delineation Tool: GIS Software in Support of Regional Watershed Analyses, Utah State University, Boston, USA.
- Cığzoğlu K.**, 1997. Debi süreklilik çizgisinin matematik modelleri, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cole, R. A. J., Johnston, H. T., Robinson, D. J.**, 2003. The use of flow duration curves as a data quality tool, *Hydrol Sci J*, **48** 939-951.

- Crocker, K. M., Young A. R., Zaidman M. D.,** 2003. Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal, *Hydrol Sci J*, **48** (3): 427–439.
- Dingman, L. S.,** 2008. Physical Hydrology, Waveland Press Inc., Long Grove, IL, 656p.
- Dingman, L. S.,** 1978. Synthesis of flow-duration curves for unregulated streams in New Hampshire, *Water Resour. Bull.*, **14** (6): 1481–1502.
- Eris, E.,** 2011. Determination of spatial distribution of precipitation on poorly gauged coastal regions, (Doktora Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., and Grabs, W.,** 2000. Global composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balances, *Documentation for UNH-GRDC Composite Runoff Fields, v.1.0*, G. R. D. Center, Koblenz, Germany.
- Fennessey, N., Vogel, R. M.,** 1990. Regional Flow Duration Curves for Ungauged Sites in Massachusetts, *Journal of Water Resources Plan. Manag.*, **116** (4): 530-549.
- Güler, E.,** 2008. Hidroelektrik potansiyel belirlemeye yönelik uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tabanlı hidrolojik modelleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Hancock, G. R., Martinez, C., Evans, K. G., Moliere, D. R.,** 2006. A comparison of SRTM and high-resolution digital elevation models and their use in catchment geomorphology and hydrology: Australian examples, *Earth Surface Processes and Landforms*, **31** (11): 1394 – 1412.
- Helsel, D. R., and Hirsch R M.,** 2002. *Statistical Methods in Water Resources, Techniques of Water Resources Investigations*, Book 4, Chapter A3, U.S. Geological Survey, 522p.
- Huang, W. C., and Yang, F.T,** 1998. Streamflow estimation using Kriging, *Water Resources Research*, **34** (6): 1599-1608.
- Hughes, D. A. and Smakhtin, V. Y.,** 1996. Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. *Journal of Hydrological Sciences*, **41** (6): 851-871.
- İnal, C., Yiğit, C. Ö.,** 2003. Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, *TUJK Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Konya, Poster Bildiri.
- Karayusufoğlu, S.,** 2010. Solaklı havzasının uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak hidrolik modelinin oluşturulması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Karnieli, A.,** 1990. Application of kriging technique to areal precipitation mapping in Arizona, *GeoJournal*, **22** (4): 391-398.
- Krasovskaia, I., Gottschalk, L., Leblois, E., Pacheco, A.,** 2006. Regionalization of flow duration curves, *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, IAHS-AISH publication, **308** 105-110.

- Krug, W. R., Gebert, W.A., Graczyk, D.J., Stevens, D.L., Rochelle, B.P., and Church, M.R.**, 1990. Map of mean annual runoff for the northeastern, southeastern, and mid-Atlantic United States Water Years 1951- 80, *U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report*, Madison, WI.
- Lebouthillier, D. W., Waylen, P. R.**, 1993. Stochastic Model of Flow Duration Curves, *Water Resources Research*, **29** (10): 3535-3541.
- Maidment, D. R.**, 2002. Arc Hydro: GIS for Water Resources, Esri Press, California.
- Mimikou, M., Kaemaki, S.**, 1985. Regionalization of Flow Duration Characteristics, *Journal of Hydrology*, **82** 77-91.
- Mohamoud, Y. M.**, 2008. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves, *Hydrological Sciences*, **53** (4): 706-724.
- Montgomery, D. C., Peck, E.A., and Vining, G.G.**, 2006. *Introduction to Linear Regression Analysis*, Wiley, 640p.
- Quimpo, R. G., Alejandrino, A. A., McNally, T. A.**, 1983. Regionalized flow duration for Philippines, *Journal of Water Resources Plan. Manag.*, **109** (4): 320-330.
- Risley, J., Stonewall, A., Haluska, T.**, 2008. Estimating flow-duration and low-flow frequency statistics for unregulated streams in Oregon, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report.
- Rochelle, B. P., Stevens, D.L. Jr., and Church, M. R.**, 1989. Uncertainty analysis of runoff estimates from a runoff contour map, *Water Resources Bulletin*, **25** 491-498.
- Sauquet, E., Gottschalk, L., and Leblois, E.**, 2000. Mapping average annual runoff: a hierarchical approach applying a stochastic interpolation scheme, *Hydrological Sciences Journal*, **45** 799– 816.
- Sauquet, E.**, 2006. Mapping mean annual river discharges: Geostatistical developments for incorporating river network dependencies, *Journal of Hydrology*, **331** 300-314.
- Singh, K. P.**, 1971. Model flow duration and streamflow variability, *Water Resources Research*, **7** 1031-1036.
- Singh, R. D., Mishra, S. K., Chowdhary, H.**, 2001. Regional flow-duration models for large number of ungauged Himalayan Catchments for planning microhydro projects, *J. of Hydrologic Engineering*, **6** (4): 310-316.
- Skøien, J. O., Merz, R., and Blöschl, G.**, 2006. Top-kriging – geostatistics on stream networks, *Hydrology and Earth System Sciences*, **10** 277-287.
- Url-1 < <http://webhelp.esri.com/arcgisSDEsktop> > erişim tarihi 14.04.2011
- Url-2 < <http://www.nws.noaa.gov/>> erişim tarihi 14.04.2011
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE)**, 1985. Hydropower engineering and design EM 1110-2-1701, Washington, DC.

- Uzun, A.**, 2007. Doğu Karadeniz kıyı kuşağında coğrafi yapı sel ilişkisi. TMMOB Afet Sempozyumu 5-7 aralık 2007, Bildiriler Kitabı 387-393, Ankara.
- Ülken, İ.**, 2010. Doğu Karadeniz Havzası'nda en uygun dağılımla debi süreklilik eğrilerinin bulunması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Valery, A., Andréassian V., Perrin C.**, 2009. Inverting the hydrological cycle: when streamflow measurements help assess altitudinal precipitation gradients in mountain areas, IAHS Press, 333 281-286.
- Viola, F., Noto, L. V., Cannarozzo, M., La Loggia, G.**, 2010. Regional flow duration curves for ungauged sites in Sicily, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7 7059–7078.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M.**, 1994. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals, *J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE* **120** (4): 485–504.
- Xia, Y.**, 2008. Adjustment of global precipitation data for orographic effects using observed annual streamflow and the LaD model, *Journal of Geophysical Research*, **113**: D04106.
- Yanık, B.**, 2004. Doğal Akışlı Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesinde Bölgesel Analiz Yaklaşımı, (Doktora Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yu, P. S., Yang, T. C.**, 1996. Synthetic regional flow duration curve for Southern Taiwan, *Hydrological Processes*, **10** 373-391.
- Yu, P. S., Yang, T. C., Wang, Y. C.**, 2002. Uncertainty analysis of regional flow duration curves, *Journal of Water Resources Planning and Management*, **128** (6): 424-430.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gökçe Usta

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 01.05.1983

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

A-Uluslararası Makaleler

Coskun, H.G.; Alganci, U.; Usta, G. (2008). Analysis of Land Use Change and Urbanization in the Kucukcekmece Water Basin (Istanbul, Turkey) with Temporal Satellite Data using Remote Sensing and GIS, *Sensors*, 8(11), 7213-7223.

B-Uluslararası Bildiriler

Alganci, U., Coskun, H.G., Usta, G., Agiralioglu, N., Cigizoglu, K., Aksoy, H., Yilmaz L., Eris, E., (2008), Hydrological Modeling of Ungauged Basins using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Solaklı Watershed in Turkey, 28th EARSeL Symposium and Workshops, 2-7 June 2008, Istanbul, Turkey. (Baskıda)

Celik, H.E., Coskun, H.G., Alganci, U., Cığızoğlu, K., Aydin, A., Esin, I., Usta, G., (2008), The Causes of the Floods on the Streams Flowing to Bosphorus and the Precautions Needed: Kozdere Case Study, 28th EARSeL Symposium and Workshops, 2-7 June 2008, Istanbul, Turkey. (Baskıda)

Coskun, H.G., Celik, H., Alganci, U., Usta, G., (2008) Analysis of the Provincial Structure of Sarıyer - Istanbul Using Remote Sensing and GIS, 28th EARSeL Symposium and Workshops, 2-7 June 2008, Istanbul, Turkey. (Baskıda)

Coskun, H.G., Alganci, U., Usta, G., (2008), The Role of Remote Sensing and GIS for Security. Integration of Information for Environmental Security, NATO – ARW: Integration of Information for Security, 337 – 351, Istanbul, Turkey.

C-Ulusal Bildiriler

Alganci, U., Coskun, H.G., Ağırlioğlu, N., Aksoy, H., Yilmaz L., Cığızoğlu, K., Toprak Z.F., Eriş, E., Andiç, G., Usta, G., (2007), Solaklı Havzasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile Hidrolojik Amaçlı İncelenmesi. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Tutanakları, 433-443, 10 - 14 Eylül, İzmir.

Coskun, H.G., Algancı, U., Usta, G., (2007). Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemleri ile Sazlıdere Barajı ve Su Havzasında Zamana Bağlı Değişim Analizleri. Türkiye Ulusal Fotogrameti ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Sempozyumu Tutanakları, 5-7 Haziran, İstanbul.