

**AKARSU ÇEKİLMELERİNE ETKİYEN PARAMETRELERİN  
BELİRLENMESİ ve ÇEKİLMENİN MODELLENMESİ**

**Kemal SAPLIOĞLU**

**Yüksek Lisans Tezi  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2005**

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKARSU ÇEKİLMELERİNE ETKİYEN PARAMETRELERİN  
BELİRLENMESİ ve ÇEKİLMENİN MODELLENMESİ**

**Kemal SAPLIOĞLU**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA-2005**

Fen Bilimleri Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. M.Erol KESKİN

Üye :Yrd.Doç.Dr. Mesut ÇİMEN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Özlem TERZİ

**ONAY**

Bu tez .../.../200 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../200

Prof. Dr.Çiğdem SAVAŞKAN

Enstitü Müdürü

**ÖZET****AKARSU ÇEKİLMELERİNE ETKİYEN PARAMETRELERİN  
BELİRLENMESİ ve ÇEKİLMENİN MODELLENMESİ**

Çekilme analizi çalışmaları, hem membalar ve hem de akarsular üzerinde yapılmaktadır. Bunlardan özellikle akarsular için yapılan çalışmalar çok karmaşıktır. Çünkü akarsu havzasına düşen yağmur ve kar gibi yağışların miktarsal, alansal ve iklimsel özellikleri, havzanın ve akarsuyun fiziksel ve topoğrafik yapısı, yüzeyaltı sularının ve akiferin akarsu etkileşimleri, debi ölçüm yer ve aralıkları gibi kısıtlar akarsu çekilme analizini güç kılar. Bu çalışmada, şimdiye kadar yapılmış teorik deneysel ve istatistiklik çalışmaların yanı sıra akarsu çekilmelerini araştırılmasında gerekli olan tabanakışı ayırma metotları ve çekilme analizine etkiyen parametreler anlatılmıştır. Ayrıca çalışmada çekilme analizi için matematiksel bir denklem teklif edilmiş, bu denklemin uygulaması Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonundan alınan veriler için değerlendirilmiş ve akarsu çekilme analizlerinde kullanılan, akarsu çekilme katsayılarının belirlenebilmesi için FORTRAN dilinde bir program yazılmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda elde edilen matematiksel ifadenin çekilme analizlerinin uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Akarsu Çekilmeleri, Çekilme Katsayısı, Taban Akışı, FORTRAN, Köprüçay

**ABSTRACT****DETERMINING PARAMETERS WHICH EFFECT STREAMFLOW RESSIONS AND MODELLING RESSION**

Recession analysis is made on both springs and streams. Works on streams are especially complex. Because, restricts such as quantitative, real climatic properties of precipitations dropping on stream catchments, physical and topographic structure of stream and catchments, interactions between aquifers and streams, location and frequency of discharge measurement is made difficult recession analysis of stream. In this study, theoretical, statistical and empirical works until now have been given, and factors effecting recession analysis have been determined. Moreover in the study mathematical model was developed to recession analysis, and that practice of equation was evaluated on data which was taken station of Köprüçay – Beşkonak. A program in FORTRAN was written to find coefficient streamflow recession. As a result of this work this mathematical express was thought to be used in the analysis of stream flow recession.

**Keywords:** Streamflow Recession, Recession Coefficient, Baseflow, FORTRAN, Köprüçay

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma konusunu öneren ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mesut imen'e ayrıca akım verilerini temin ettiğimiz Devlet Su İşlerine ve bana desteklerini esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Konunun Tanıtılması ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
2.KAYNAK BİLGİSİ.....	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. Akarsu Çekilmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	8
2.2.1. Matematiksel Modeller.....	8
2.2.2. Deneysel Modeller.....	12
2.2.3. İstatistiksel Yöntemler.....	13
2.2.3.1. Otoresif Modeller.....	13
2.2.3.2. Jones McGilchrist Yöntemi.....	15
2.2.3.3. Aksoy ve Bayazit Yaklaşımı (2001).....	18
2.3. Taban Akışı Ayrılması ve Çekilmeyle İlgili Grafikselle Çalışmalar.....	19
2.3.1. Dijital Fitre Yöntemi.....	21
2.3.2. Wittenberg Yöntemi.....	24
2.3.3. Sabit Aralık Metodu.....	25
2.3.4. Kayan Aralık Metodu.....	26
2.3.5. Çimen Saplıoğlu (2004) Metodu.....	27
3. MATERYAL ve METOT.....	30
3.1. Giriş.....	30
3.2. Köprüçay Nehrinin Genel Özellikleri.....	30
3.2.1. Köprüçay Nehrinin Jeolojisi.....	30
3.2.2. Debi ve Yağış Ölçüm İstasyonları.....	30

3.2.3. Yağış.....	31
3.2.4. Sıcaklık.....	31
3.2.5. Buharlaşma.....	31
3.2.6. Sedimantasyon.....	31
3.2.7. Kar Erimeleri.....	32
3.3. Akarsu Çekilmelerine Etkiyen Parametreler.....	32
3.3.1. Yağış.....	32
3.3.2. Sızma.....	33
3.3.3. Buharlaşma.....	34
3.3.4. Terleme.....	35
3.4. Akarsu Çekilmelerinin Modellenmesi.....	35
3.4.1. Giriş.....	35
3.4.2. Akarsu Çekilme Katsayılarının Belirlenmesi.....	37
3.4.2.1. Akarsu Çekilme Katsayılarını Belirlemek İçin FORTRAN Dilinde Program.....	39
3.4.3. Taban Akışı Çekilme Katsayılarının Belirlenmesi.....	41
3.4.4. Minimum Taban Akışının Belirlenmesi.....	41
3.4.5. Maksimum Taban Akışının Belirlenmesi.....	41
4. BULGULAR.....	45
4.1. Modellemenin Uygulanması.....	45
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Beşkonak Akım Gözlem İstasyonu 1976 Su Yılı İçin Debi Gidiş Çizgisi .....	2
Şekil 1.2 Bir yağış sonucu akarsu kesitinde görülen akım hidrografı.....	3
Şekil 2.1 Ortak Çekilme Eğrisinin Elde Edilmesinde Kabul Edilen Sistem.....	9
Şekil 2.2 h ve d oranı grafiği.....	16
Şekil 2.3 Düzenlenmiş y ve h grafiği.....	17
Şekil 2.4 Taban Akışı Ayırma Yöntemi .....	20
Şekil 2.5. Çalkantısız minimum akım tekniği.....	21
Şekil 2.6 Wittenberg Yöntemi.....	25
Şekil 2.7. Sabit Aralık Metodu.....	26
Şekil 2.8 Kayan Aralık Metodu.....	27
Şekil 2.9 Tek Pikli Taban Akışı Yöntemi.....	28
Şekil 2.10 Çok Pikli Hidrografta Taban Akışı Yöntemi .....	29
Şekil 3.1 Yağış süresinin, yağışın alansal dağılımının ve yağış süresinin akarsuda oluşturduğu hidrograflar (Linsley,1982).....	34
Şekil 3.2. Akarsu Akım Bileşenleri.....	36
Şekil 3.3 Köprüçay – Beşkonak Akım Gözlem İstasyonu Ocak ayında beş günlük yağış sonucu oluşan çekilme katsayısı grafiği.....	38
Şekil 3.4. Köprüçay – Beşkonak Akım Gözlem İstasyonu Mart ayında beş günlük yağış sonucu oluşan çekilme katsayısı grafiği.....	39
Şekil 3.5. Çekilme katsayılarının bulunması için kullanılan bilgisayar Programının akış şeması.....	40
Şekil 3.6. 1961 yılı $\beta$ katsayılarının bulunmasında kullanılan grafik.....	43
Şekil 3.7. 1962 yılı $\beta$ katsayılarının bulunmasında kullanılan grafik.....	43
Şekil 4.1. 1981 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	46
Şekil 4.2. 1981 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	46
Şekil 4.3. 1982 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	47
Şekil 4.4. 1982 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	47

Şekil 4.5. 1983 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	48
Şekil 4.6. 1983 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	48
Şekil 4.7. 1984 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	49
Şekil 4.8. 1984 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	49
Şekil 4.9. 1985 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	50
Şekil 4.10. 1985 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	50
Şekil 4.11. 1986 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	51
Şekil 4.12. 1986 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	51
Şekil 4.13. 1987 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	52
Şekil 4.14. 1987 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	52
Şekil 4.15. 1988 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	53
Şekil 4.16. 1988 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	53
Şekil 4.17. 1989 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	54
Şekil 4.18. 1989 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	54
Şekil 4.19. 1990 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	55
Şekil 4.20. 1990 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	55
Şekil 4.21. 1991 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri.....	56
Şekil 4.22. 1991 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri.....	56

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.2.1. Beşkonak ölçüm istasyonundan alınan aylık buharlaşma verileri.....	31
Çizelge 3.2. Yüzeysel akış çekilme katsayıları.....	42
Çizelge 3.3.Taban akışı yükselme katsayıları.....	44

## 1. GİRİŞ

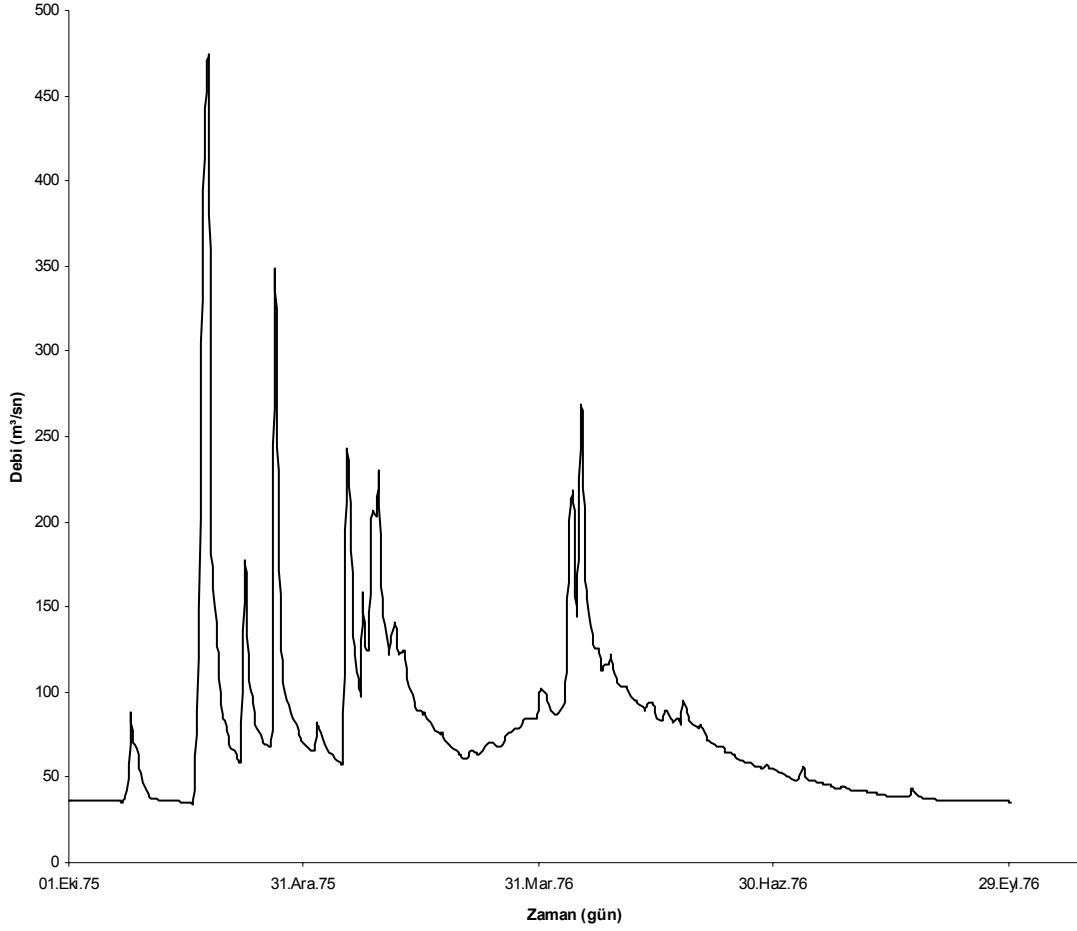
Gerek artan nüfus gerekse değişen sosyal şartlar ve meteorolojik koşullar, günümüzde suya olan talebin (içme suyu, sulama, enerji v.b) hızla artmasının başlıca sebepleridir. Yurdumuzda suya olan talep, özellikle yaz aylarında önemli miktarlara ulaşmaktadır. Suya olan bu talebin karşılanması, ancak su kaynaklarının akılcı bir şekilde değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Su kaynaklarının önemli bir kısmını oluşturan akarsu akımlarının tahmin edilmesi ve özellikle debi, su derinliği gibi düşük akım karakteristiklerinin belirlenmesi, yüzyılı aşkın süredir üzerinde çalışılan bir konudur.

Akarsuların düşük akım karakteristikleri üzerinde elde edilen bilgiler, farklı akarsu aktiviteleri için eşik değerler sağlamaktadır. Bu bilgiler su temini, sulama, su kalitesi, su miktarı tahmini, hidroelektrik santrallerden elde edilecek enerji miktarı, akarsu taşımacılığı gibi su kaynakları işletim konuları için, atık suların uzaklaştırılması için düşük akım tahmininde; kalibrasyon, girdi, yağış-akış modelleri için matematiksel modellemede; farklı akım bileşenlerini grafiksel olarak ayırmak için, hidrograf analizinde; düşük akım istatistiklerinin tahmini için frekans analizinde; havzanın depolama kapasitesini belirlemek için bölgesel düşük akım çalışmalarında gereklidir. Örneğin, yağışların olmadığı veya etkisiz olduğu kurak dönemlerde, akarsuda oluşabilecek debinin önceden tahmin edilmesi ile o yılın su talebinin karşılanabilmesi için çeşitli çalışmaların yapılması gerekli olmaktadır. Kurak dönemlerde ihtiyaç duyulacak ve akarsu tarafından karşılanamayacak su miktarının, önceden depolanıp depolanmayacağı veya başka bir su kaynağından sağlanıp sağlanamayacağına karar verilmelidir. Düşük akım çalışmaları genellikle akarsu akımı çekilme analizi ile yapılmaktadır.

### 1.1. Konunun Tanıtılması ve Önemi

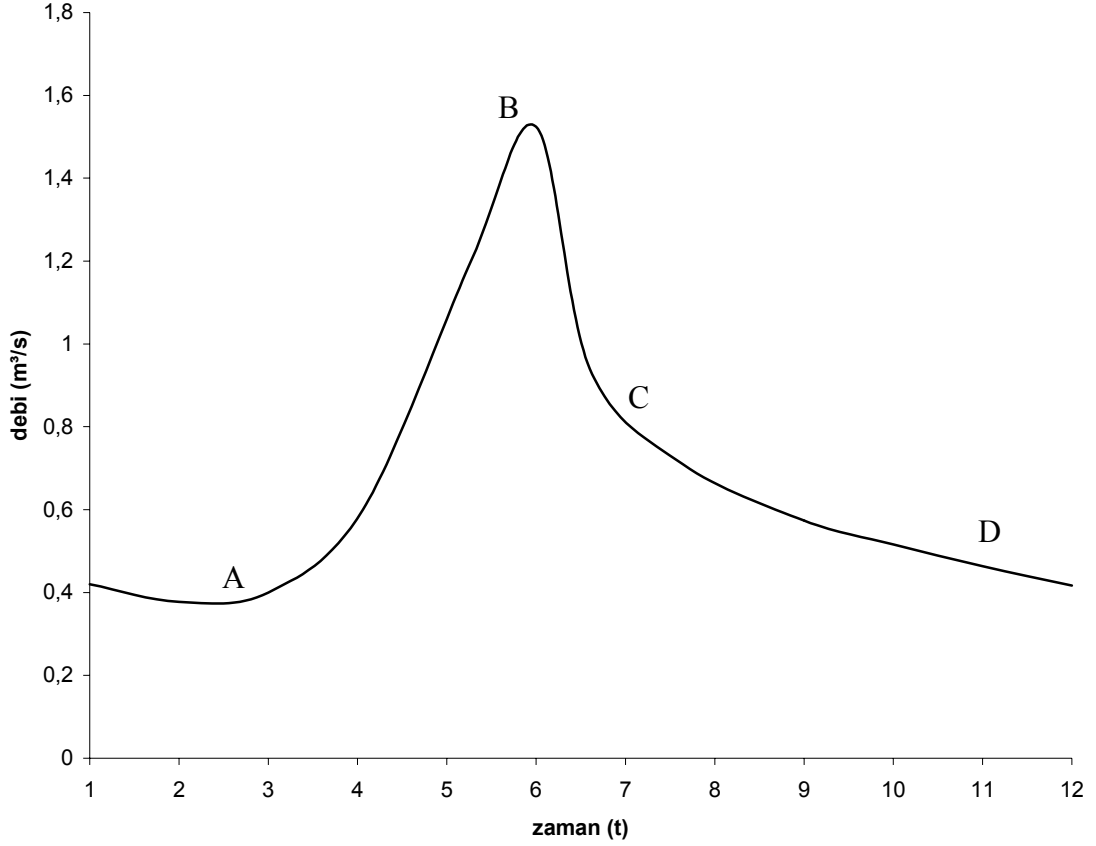
Atmosferden katı yada sıvı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denilir. Yağışlar sonucu bir havzaya düşen , yüzeysel akış sonucu bir akarsuya ulaşarak, yoluna akarsu boyunca

devam eder. Bir su yılı boyunca, bir akarsuda meydana gelen akım dağılımına debi gidiş çizgisi denir (Şekil 1.1). Bir başka ifadeyle, debi gidiş çizgisi; bir akım gözlem (hidrometri) istasyonunda bir su yılı boyunca günlük olarak yapılan akım (debi) okumalarının zaman – debi ekseninde işaretlenmesi ile elde edilen bir çizgidir.



Şekil 1.1 Beşkonak Akım Gözlem İstasyonu 1976 Su Yılı İçin Debi Gidiş Çizgisi

Akarsuların akım gözlem istasyonunda ölçülmüş (debi) değerleri için çizilen debi gidiş çizgisi üzerinde, çeşitli şekillerde pek çok akım hidrografi vardır. Akım hidrografi, bir yağış sonucu bir akarsu kesitindeki akış miktarının zamanla değişimini gösteren grafik olarak tanımlanabilir (Şekil 1.2). Bir hidrograf, temel olarak, yükselme eğrisi, tepe noktası ve alçalma eğrisi olmak üzere üç elemana ayrılır.



Şekil 1.2. Bir Yağış Sonucu Akarsu Kesitinde Görülen Akım Hidrografı

Yükselme eğrisi, A-B eğrisi ile görülen hidrografın yükselen parçasıdır. Bu eğri oldukça dik olup şekli; yağışın şiddetine, alansal dağılımına ve süresine, havzanın jeolojik özelliklerine ve bitki örtüsüne göre farklılıklar gösterir ve genellikle yukarı doğru konkavdır. Bunun nedeni, yağışın başlangıcından itibaren havzanın yukarı kısımlarından gelen suların gecikmeli olarak akarsuya katkısı nedeniyledir. Genellikle çıkış noktasından uzaklaştıkça iki ardışık izokron arasında kalan alan gittikçe büyüdüğünden yükselme eğrisinin eğimi de büyür.

Tepe noktası bir hidrorafta, akarsu debisinin maksimum olduğu yerdir. Şekil 1.2.'de B ile gösterilen tepe noktası, akarsu akımının belirli bir zaman anına tekabül ettiği gibi, bazen belirli bir süre zarfına da karşılık gelebilir. Bu, yağış şiddetinin geçiş süresine eşit

olduğu zamanlarda, çok uzun süreli yağışlardan sonra yada kar erimelerinden dolayı hidrografın tepe noktası belirli bir süre sabit bir değerde kalabilmektedir.

Tepe noktası ile hiyetografin ağırlık merkezi arasındaki zaman aralığına gecikme zamanı denir. Gecikme zamanı yağışın havza üzerinde ve zaman içinde dağılışı şekline bağlıdır. Havza üzerinde üniform dağılmış bir yağış halinde tepe noktası yağışın bitmesinden sonra görülür. Havzaya düşen yağışın tabaka halinde tutulmasıyla, yağışların etkisi gecikeceğinden akımın pik noktası daha ileri bir noktaya, daha düşük bir değerde ve yayvan bir şekilde kayar. Yağış şiddetini başlangıçta çok şiddetli olması ve zaman içinde azalarak devam etmesi durumunda tepe noktası öne gelir ve pik debi azalır. Yağışın mabadan mansaba ilerlemesi halinde görülen pik debi artar ve tepe noktası daha geç görülür. Pik debi üzerinde akarsu ağının özellikleri ve havzanın biçimi de önemli rol oynar. Havzanın menbaya doğru artması durumunda gecikme zamanı büyür, akarsu ağının iyi dallanmış olması durumunda pik debi yükselir tepe noktası gecikir.

Alçalma (çekilme) eğrisi, hidrografın B – C parçasını gösterir. Çekilme eğrisinin eğimi yükselme eğrisine göre daha yumuşaktır. Eğrinin üst kısımları yağışlar, kar erimleri ve gecikmesiz yüzeyaltı akımlarından, alt kısımları ise gecikmeli yüzeyaltı suları ile yeraltı suyundan meydana gelir (Bayazıt, 1991).

Akarsularda meydana gelen debi, yağışlar ve kar erimelerinden oluşan yüzeysel sular ile, gecikmeli ve gecikmesiz yüzeyaltı suları ve yeraltı suyu katkısından oluşmaktadır. Yüzeysel sular, yağmurun ve kar erimelerinin direkt olarak akarsu üzerinde biriktiği ve bu yağışların havzada toplanarak yüzeysel akış sonucu akarsuya ulaştığı sulardır. Gecikmesiz yüzeyaltı suları, yağışlar sırasında yüzey altına geçen suların kısa sürede tekrar yüzeye çıkarak akarsu akımına katılmasıyla oluşan sulardır. Gecikmeli yüzeyaltı suları, yüzey altına geçen suların yeraltı suyuna ulaşmadan, zaman içerisinde akarsudaki akıma katılan sulardır. Yeraltı suyu akımı katkısı ise, yeraltındaki suların direkt olarak akarsuya katılması ile olmaktadır. Akarsuyun yeraltı suyundan beslenmesi halinde, yağışsız sürelerde akarsuyun başlıca beslenme kaynağını oluştururlar.

Çekilme analizleri, akarsuda kurak dönemler sırasında veya bir fırtına bitiminde oluşacak akımın durumunu önceden tahmin etmek için kullanılır. Bu analizler, özellikle akarsuyu besleyen doğal kaynaklar hakkında genel bir bilgi verir. Bu analizlerden, su kaynakları ve bu kaynakların kullanımıyla ilgili pek çok alanda faydalanılır. Ayrıca akarsuyu besleyen, akiferin karakteristikleri ile ilgili bilgiler de vermektedir. (Tallaksen 1995).

Çekilme analizleri yapılırken matematiksel, grafiksel, istatistiksel ve deneysel modellerden yararlanır. Bu konu ile ilgili yapılan ilk çalışma 1800 lü yılların sonlarında Boussinesq'nin yaptığı ve çekilmenin matematiksel olarak elde edildiği, exponansiyel denkleme dayanır. Bu konuyla ilgili pek çok çalışma yapılmış ve halende yapılmaya devam etmektedir. Genellikle yapılan bu çalışmalar, matematiksel modelleme çalışmaları ağırlıklıdır.

Çekilme analizi hesaplarını zorlaştıran bazı unsurlar vardır. Bu unsurlar akarsuda görülen pik debiden sonra çekilmenin düzenini de bozan unsurlardır. Bunlar; çekilme başladıktan sonra meydana gelen yağışlar, çekilme olayı başlamadan önce akarsuda meydana gelen yağış ve bu yağışın süresi, kar erimeleri, havzada meydana gelen buharlaşma ve terleme, yağışlardan sonra yeraltına sızan suların sızma süresi, şevlerde meydana gelen depolama ve bu depolanan suyun akarsuya olan geri katkısı, bitki örtüsünde meydana gelen değişim ve depremler olarak sayılabilir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Akarsuda meydana gelebilecek akımın önceden tahmin edilebilmesi, su işletim konuları (su temini, sulama, atık suların uzaklaştırılması, su ıslahı, balıkçılık, taşımacılık (özellikle, tomruk), su sporları gibi) açısından önemlidir. Akarsuda oluşabilecek debi miktarının yeterli olup olmadığı, şayet yeterli değilse ne gibi bir önlem (depolama yapmanın gerekip gerekmediği, eksik olabilecek su ihtiyacı için başka bir kaynak bulunup bulunamayacağı) alınması gerektiği, yeterliyse fazla suyun ne yapılacağı su kaynaklarının önemli bir konusu olmaktadır.



Bu çalışmada, akarsu çekilme analizi için yeni bir matematiksel model üretilmesi ve bu modelin literatürde mevcut olan bazı modellerle karşılaştırılması hedeflenmektedir. Ayrıca, model içerisinde yer alan ve modelin uygulanması için gerekli olan yüzeysel akış çekilme katsayılarının bulunması için Fortran dilinde bilgisayar programı yazılması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın bu kısmına kadar, debi gidiş çizgisi, hidrograf, akarsu akımını oluşturan parametreler ve çekilme analizi ile ilgili bilgiler verilmiş ve konunun tanıtılmasına çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, akarsu çekilme analizleri üzerinde daha önceden yapılmış çalışmalara değinildi ve bu çalışmalar hakkında genel bilgiler verildi. Çekilme analizlerinde önemli bir yeri olan taban akışı ayrılması ile ilgili yapılan çalışmalara değinildi.

Üçüncü bölümde, akarsu akımı çekilmelerinin modellenmesi için, daha önceki çalışmalar ışığında matematiksel yeni bir metot geliştirildi. Metodun uygulanacağı çalışma alanı ve bu alanın hidrolojik ve jeolojik özellikleri belirtildi.

Dördüncü bölümde, Elektrik İşleri Etüt İdaresinden çalışma alanı için alınmış akım verileri için çekilme analizleri yapıldı. Çekilmelere etkiyen, çekilme katsayılarının bulunması için bir bilgisayar programı geliştirildi ve bu programın sonuçları verildi.

Beşinci bölümde ise, çekilme hesapları için teklif edilen metot literatürde bulunan modellerle karşılaştırılarak yorumlandı.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. GİRİŞ

Akarsu çekilme analizleri, günümüzde suya olan ihtiyacın artması sebebiyle büyük önem kazanmıştır. Bu konu hakkındaki ilk çalışma 1877 yılında Bousinesq'nin süreklilik denklemini kullanarak oluşturduğu matematiksel modele kadar dayanır. O günden günümüze kadar olan süreçte akarsu çekilmeleri ile ilgili başta matematiksel çalışmalar olmak üzere deneysel, istatistiksel ve grafiksel yöntemler üzerinde çalışılmış ve pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Matematiksel çekilme analizlerinin temeli, Boussinesq'nin süreklilik denklemini kullanarak oluşturduğu ve basınçsız bir akiferi baz aldığı çalışmasına dayanır. Daha sonra, Barnes (1939), akarsudaki debinin iki bileşenden oluştuğunu ve bu iki bileşenin de ayrı ayrı çekilmesinin elde edilmesinin gerektiğini varsaymıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar ise bu iki çalışmanın üzerine inşa edilmiş matematiksel modelleme çalışmalarıdır.

Deneysel ve istatistiksel çalışmalarla oluşturulan modellemelerde akarsu çekilmeleri çalışmalarında önemli yer tutar. Deneysel çalışmaların ilki Werner ve Sundquist (1951) tarafından çalışılmış ve Otnes tarafından (1953, 1978) yeni modeller bulunmuştur. İstatistiksel yöntemlerde ise temel olarak Box ve Jenkins tarafından (1976) kullanılan Otoregresif modeller (AR1, AR2 ve IMA) modelleri oluşturmaktadır.

Çekilme sabitlerinin belirlenmesi ise başlı başına bir konudur. Hidrograf düşük akımların tahmin edilmesinde, düşük akım frekans analizlerinde ve akifer karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Tallaksen, 1995). Ayrıca yağış-akış modellerinin belirlenmesinde ve bazı stokastik akarsu modellerinin uygulamalarında da kullanılmaktadır (Kelman, 1980). Hidrograf ayırma yöntemleriyle taban akışı çekilme katsayıları arasındaki ilişki, yüzey akışı modellemelerinde genellikle kullanılmaktadır. Ayrıca toplam akarsu akışından

taban akışını çıkartmak suretiyle akarsu hidrografının yeniden inşasında kullanılır (Bates ve Davies, 1988).

Bingham (1986), Vogel ve Kroll (1992), Demuth ve Hagemann (1993), havza karakteristiklerini belirlemek için düşük akımların tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. Ayrıca bu çalışmalarında bağımsız bir havza parametresi olan taban akımı çekilme parametresi kavramını önemini varsayarak, taban akışı çekilme katsayısının, hem havzanın hidrolik iletkenliğine ve hem de toprağın geçirirmliliğine bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

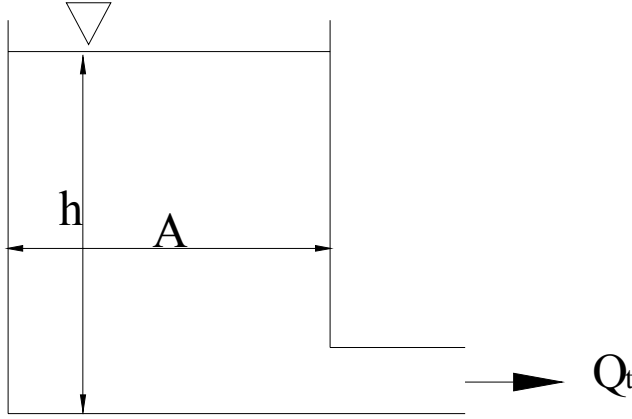
Barnes (1939), toplam akarsu hidrografından taban akışını ayırmak için öncülük yapmıştır. Barnes (1939) in geliştirdiği, grafiksel taban akışı ayırma yöntemleri halen geçerliliğini kaybetmemiş olup, birçok çalışmada, Barnes (1939)'in taban akışı ayırma yöntemi modifiye edilmiştir. (Knisel, 1963; Singh ve Stall, 1971; Brutsaert ve Nieber, 1977; Anderson ve Burt, 1980).

Akarsu çekilme analizleri yüz yılı aşkın süredir üzerinde çalışılan bir konu olmuş ve bu amaçla, değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde, akarsu çekilmeleri üzerine yapılan matematiksel modelleme çalışmaları, matematiksel deneysel modellemeler, istatistiksel çalışmalar, grafiksel yöntemler ve akarsu çekilmelerinin belirlenmesinde zaman zaman kullanılan taban akışı ayırımı ile ilgili çalışmalara değinildi.

## **2.2. AKARSU AKIM ÇEKİLMESİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.2.1. Matematiksel Modeller**

Akarsu çekilmelerinin modellenmesiyle ilgili ilk yapılan matematiksel çalışmayı Bousinesq (1877) yapmıştır. Boussinesq (1877), basınçsız bir akiferden bir akarsuya geçişi göz önüne alındığı, önemsiz düşey akım bileşenlerinin ihmal edildiği ve su tablası üzerindeki kapileritenin etkisi önemsenmediği Şekil 2.1'de görüldüğü gibi birikmiş su yüksekliği ile doğru orantılı olarak artan debili bir havzaya süreklilik denklemini uygulamıştır. (Tallaksen, 1995)



Şekil 2.1. Ortak Çekilme Eğrisinin Elde Edilmesinde Kabul Edilen Sistem

Şekil 2.1 de görülen A kesit alanlı ve herhangi bir t anındaki h su yükseklikli ve  $Q_t$  debili bir hazne – orifis sistemi için süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$Q_t . dt = A . dh \quad (2.1)$$

Ayrıca, çekilme denklemi elde edilirken, debinin birikmiş su yüksekliği ile doğru orantılı olduğu kabul edilerek hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$Q_t = C . h \quad (2.2)$$

Burada C, hazne – orifis sisteminin hidrolik ve geometrik özelliklerine bağlı bir sabittir. Denklem 2.2'nin zamana göre türevi alınıp, Denklem 2.1 de yerine yazıldığında aşağıdaki diferansiyel elde edilir.

$$\frac{dQ_t}{Q_t} = -\alpha . dt \quad (2.3)$$

$$\alpha = \frac{C}{A} \quad (2.4)$$

Denklem 2.3'ün zamana göre integrasyonu sonunda aşağıdaki akarsu çekilme denklemi elde edilmiştir:

$$Q_t = Q_0 e^{(-\alpha.t)} \quad (2.5)$$

Burada  $Q_t$  herhangi bir t anındaki akarsu debisi,  $Q_0$  çekilmenin başladığı andaki ( $t=0$ ) debi,  $\alpha$  ise çekilme katsayısı olarak tanımlanmıştır. Boussinesq'nin teklif etmiş olduğu bu denklem taban akışı katkısının yüksek olduğu akarsularda sağlıklı sonuçlar vermez. Ancak bu denklem sadece yeraltı suyu çekilmesine veya tek başına akarsu çekilmesine uygulandığı takdirde sağlıklı sonuçlar vermektedir (Tallaksen 1995). Boussinesq'nin teklif etmiş olduğu bu denklem literatürde, aşağıdaki formlarda görülebilmektedir:

$$Q_t = Q_0 e^{(-t/C)} \quad (2.5a)$$

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (2.5b)$$

Burada k ve C çekilme katsayılarıdır. Çekilmenin yavaş olduğu durumlarda k değeri 0,7 den büyük daha hızlı olduğu durumlarda ise 0,7 den küçük değerler almaktadır (Tallaksen, 1995).

Denklem 2.5'in uygulamaları, çeşitli dönemlerde bazı çalışanlar tarafından denenmiş ve gerçek çekilme eğrisini oluşturmada yeterli sonuçlar vermediği görülmüştür (Tschinkel, 1963; Weisman, 1977; Grip, 1977, Demuth, 1989; Tallaksen, 1989).

Toebes ve Strang (1964), buz erimeleri ve sabit yeraltısuyu katkısını göz önüne alarak Denklem 2.5'e bir sabitin eklenmesiyle aşağıdaki denklemi teklif etmişlerdir:

$$Q_t = Q_0 e^{(-\alpha.t)} + B \quad (2.6)$$

Burada  $B$ , taban akışı katkısıdır. Bu denklem daha sonra Radczuk ve Szarska (1989) tarafından Polonya'daki akarsular için uygulanmış ve iyi sonuçlar elde etmiştir.

Yine Boussinesq denkleminde yola çıkılarak, bazı Amerika'daki Kentucky akarsularının çekilmelerini araştıran James ve Thompson (1970), akarsuların iki bileşenden oluştuğunu ve her bir bileşenin çekilmesinin ayrı olduğunu düşünerek aşağıdaki ifadeyi teklif edilmişlerdir:

$$Q_t = Q_s e^{\alpha_s} + Q_b e^{\alpha_b} \quad (2.7)$$

Burada  $Q_s$  yüzeysel akış,  $Q_b$  yeraltı suyu katkısı,  $\alpha_s$  yüzeysel çekilme katsayısı,  $\alpha_b$  taban akışı çekilme katsayısını göstermektedir. Denklem 2.7 bazı akarsularda Nutbrown (1975) tarafından da uygulanmış ve iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Nutbrown ve Downing (1976), iki akım bileşeni için kullanılan Denklem 2.7 nin sınırsız sayıda akım bileşeni için de uygulanabileceğini düşünerek aşağıdaki ifadeyi teklif etmişlerdir.

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\infty} A_i K_i^t \quad (2.8)$$

Burada,  $A_i$  akım bileşeni,  $K_i = e^{\alpha}$  ekponansiyel çekilme katsayısıdır.

Clausen (1992), Denklem 2.6 ve Denklem 2.7'yi göz önüne alarak akarsu çekilmeleri için aşağı ifadenin kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmiştir.

$$Q_t = Q_s e^{\alpha_s} + Q_b e^{\alpha_b} + B \quad (2.9)$$

### 2.2.2 Deneysel Modeller

Akarsu çekilmeleri üzerinde uzun zamandır yapılan araştırmalarda değişik yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden diğerlerine oranla daha nadir kullanılan deneysel yapılan çalışmalardır. Deneysel çalışmaların kullanılmasında, Bousinesq (1877) nin teklif etmiş olduğu Denklem 2.3 modifiye edilmiştir.

Akarsu çekilmelerinin modellenmesi için yapılan çalışmaların ilki Werner ve Sundquist (1951) tarafından yapılmıştır. Yaptıkları bu çalışmada basınçlı bir akifer üzerinde deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda, akarsudaki çekilmenin n tane eksponansiyel terime bağlı olduğunu ve her biri için çekilmenin ayrı hesaplanması gerektiğini aşağıdaki gibi teklif etmişlerdir.

$$Q_t = Q_0 \sum_{i=1}^n b_i e^{-a_i t} \quad (2.10)$$

Burada  $b_i$  ve  $a_i$  çekilme sabitleridir. n=1 için bu ifade Boussinesq (1877)'nin teklif ettiği Denklem 2.5'e dönüşür.

Otnes (1953), Güney Norveç'teki bazı havzalarda çekilme analizleri için aşağıdaki hiperbol formundaki denklemi önermiştir:

$$Q_t = a_1 t^{-1} - Q_0 \quad (2.11)$$

Burada  $a_1$  sabittir. Bu çalışmaya benzer bir çalışmayı Otnes (1978) bütün Norveç için yapmış ve aşağıdaki ifadeyi teklif etmiştir.

$$Q_t = a_2 t^{-r} \quad (2.12)$$

Burada  $a_2$  ve  $r$  sabitlerdir ve  $r$  sabiti Norveç'teki akarsular için genellikle 1'den büyük değerler almaktadır.

### 2.2.3. İstatiksel Yöntemler

#### 2.2.3.1 Otoregresif Modeller

Barnes (1939), akarsudaki akımın iki bileşeni olduğunu düşünmüş ve her bir akımın teker teker incelenmesi gerektiğini varsaymıştır. Buna göre, çekilmesini aşağıdaki ifadelerle vermiştir.

$$Q_t = B_t + O_t \quad (2.13)$$

$$B_{t+1} = K_b B_t \quad (2.14)$$

$$O_{t+1} = K_o O_t \quad (2.15)$$

Burada,  $Q_t$  toplam akarsu debisini,  $O_t$  yüzeysel akışını,  $B_t$  taban akışını,  $K_o$  yüzeysel akış çekilme katsayısını ve  $K_b$  taban akışı çekilme katsayısını göstermektedir.

Denklemler 2.13, 2.14 ve 2.15 kullanılarak yapılan hesaplamalarda bir takım hata payları göz ardı edilmektedir. Ölçümlerden veya havza içinde meydana gelebilecek fiziksel değişimlerden meydana gelen hatalar, çekilmenin düzenini bozmaktadır. Bunun için, James ve Thompson (1970), yukarıdaki denklemlere aşağıdaki gibi hata payı eklemiş ve AR(1) olarak ifade edilen otoregresif modeli teklif etmişlerdir.



$$B_{t+1} = K_b B_t + \varepsilon_{t+1} \quad (2.16)$$

Burada  $\varepsilon_t$  bağımsız hataları ve  $K_b$  ise otoregresif parametre olarak ifade edilir. Box ve Jenkins (1976), bu modeli  $\phi_1$  parametresini  $K_b$  yerine kullanarak ARMA(1,1) olarak isimlendirilmiştir.

Box ve Jenkins (1976), Denklem 2.16'yı logaritmik olarak yazarak aşağıdaki ifadesini teklif etmiştir.

$$B_t = K_b B_{t-1} \cdot e^{\varepsilon_t} \quad (2.17)$$

Box ve Jenkins (1976), denklem 2.17 nin her iki tarafının da logaritmasını alarak, ortalama hareket aralığı modelini IMA (0,1,0) geliştirdiler.

$$y_t - y_{t-1} = \ln(K_b) + \varepsilon_t = \nabla y_t \quad (2.18)$$

Burada  $y_t = \ln(B_t)$ ,  $y_{t-1} = \ln(B_{t-1})$  ve  $\ln(K_b)$  yönelim parametresi olarak tanımlanmıştır.

Denklem 2.16 ile gösterilen AR(1) modeline, yüzeysel suların çekilmesini gösteren Denklem 2.15 nin katılması ile, denklem 2.19 geliştirilmiştir (Box ve Jenkins, 1976).

$$Q_{t+1} = K_b B_t + K_o O_t + \varepsilon_{t+1} \quad (2.19)$$

Denklem 2.19 dan yola çıkarak AR(2) modeli aşağıdaki gibi geliştirilmiştir (Box ve Jenkins, 1976).

$$Q_{t+1} = K_b (B_t + O_t) - K_b O_t + K_o (O_t + B_t) - K_o B_t + \varepsilon_{t+1} \quad (2.20)$$

$$Q_{t+1} = (K_b + K_o)(B_t + O_t) - K_b K_o O_{t-1} - K_o K_b B_{t-1} + \varepsilon_{t+1} \quad (2.21)$$

$$Q_{t+1} = (K_b + K_o)Q_t - K_b K_o Q_{t-1} + \varepsilon_{t+1} \quad (2.22)$$

Elde edilen denklem 2.22 daki  $K_b$  ve  $K_o$  otoregresif yöntem parametreleri, aşağıda gösterildiği gibi bir bağıntıları oluşturacak şekilde Denklem 2.25 elde edilmiştir (Box ve Jenkins, 1976).

$$K_b = \frac{1}{2} \left[ \phi_1 + (\phi_1^2 + 4\phi_2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.23)$$

$$K_o = \frac{1}{2} \left[ \phi_1 - (\phi_1^2 + 4\phi_2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.24)$$

Burada,  $\phi_1 + \phi_2 < 1$ ,  $\phi_2 - \phi_1 < 1$  ve aynı zamanda  $-1 < \phi_2 < 1$  koşulları sağlanmalıdır.

$$Q_{t+1} = \phi_1 Q_t + \phi_2 Q_{t-1} + \varepsilon_{t+1} \quad (2.25)$$

Akımın bir bileşeni için yapılan AR(1) modeli ile bu modelin geliştirilmesiyle oluşturulan, akımın iki bileşeni için beraber kullanım sağlayan AR(2) modeli çeşitli dönemlerde birkaç çalışan tarafından gösterilmiştir (Tallaksen, 1995).

### 2.2.3.2. Jones ve McGilchrist (1978) Yöntemi

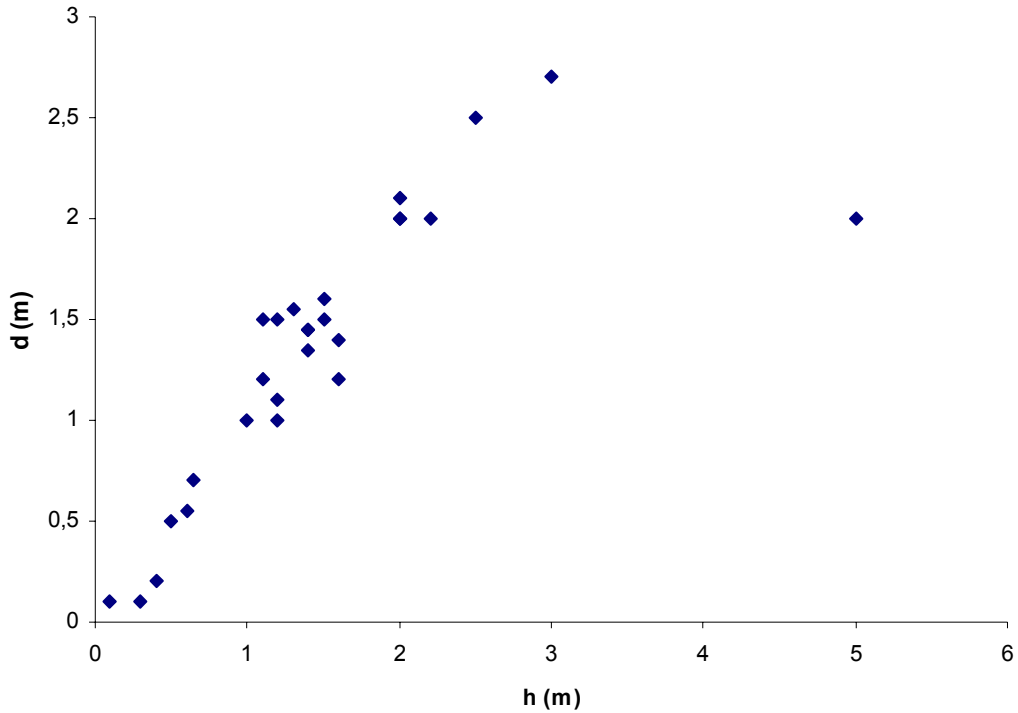
Jones ve McGilchrist (1978) Avustralya'da bulunan üç havzada yaptıkları çalışmalarında, akarsu akımı çekilme eğrilerini oluşturmak için istatistiksel bir model geliştirdiler ve bu modeli üç havza için uyguladılar. Öncelikle, akarsudaki akımı altı periyoda (Ekim-Kasım, Aralık-Ocak, Şubat-Mart, Nisan-Mayıs, Haziran-Temmuz, Ağustos-Eylül) ayırdılar. İstatistiksel modeli her bir periyot için uyguladılar ve böylece mevsimsel etkilerin genel çekilmeyi etkilemesinde karşılaşılan problemler en aza indirmiş oldular.

Her bir çekilme olayı sırasında meydana gelen akım yüksekliklerini ve yükseklik azalmalarını karşılaştırdılar. Böylelikle akım yüksekliği ile çekilme arasında bir bağıntıyı aşağıdaki gibi elde ettiler:

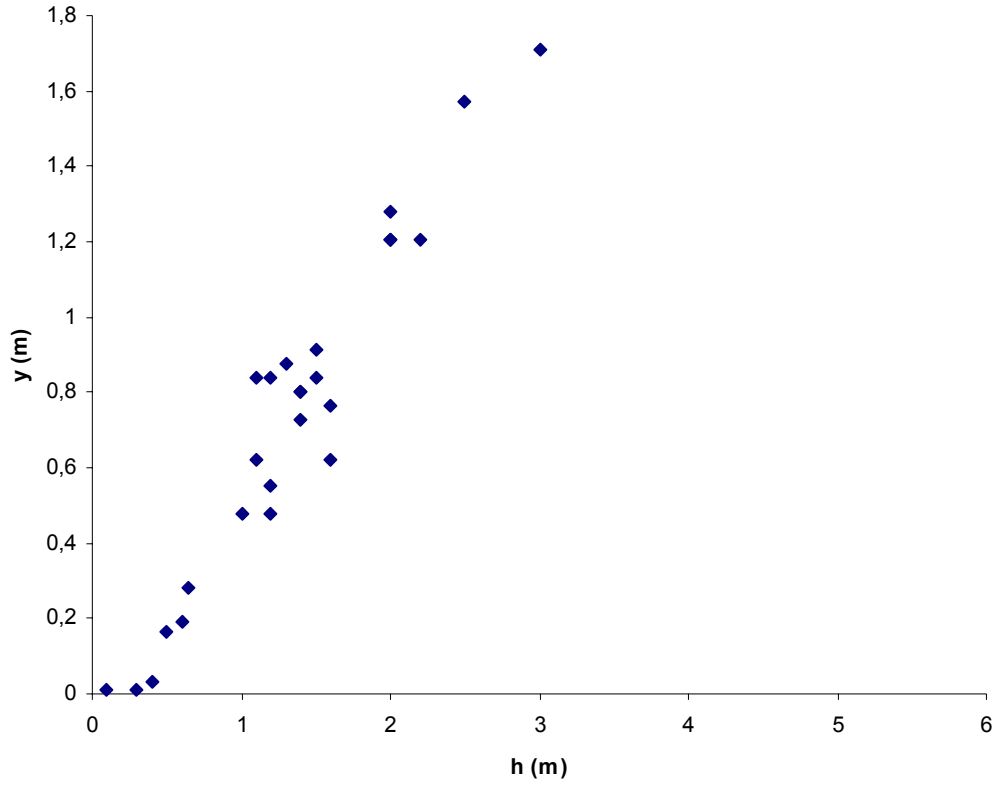
$$d_t = h_{t+1} - h_t \quad (2.26)$$

Burada,  $h$  su yüksekliği ve  $d$  çekilme esnasındaki yükseklik değişimini göstermektedir. Bu akarsular üzerine ölçülmüş veriler, bir lineer koordinat düzlemi üzerine işlenmişlerdir. Daha sonra aykırı verileri belirleyerek uygun olmayanları çıkarmışlardır (Şekil 2.2). Seçilen yeni verilere Denklem 2.27 i uygulayarak yeni bir düzenleme yapmışlardır (Şekil 2.3) :

$$y_t = [\ln(1 + d_t)]^2 \quad (2.27)$$



Şekil 2.2.  $h$  ve  $d$  Oranı Grafiği (Janes ve McMohan (1978)'den alınmıştır)



Şekil 2.3. Düzenlenmiş  $y$  ve  $h$  grafiği (Janes ve McMohan (1978)'den alınmıştır)

Bu düzenlemeler ışığında  $y_t$  fonksiyonuna mevsimsel etkileri ve hata paylarını sokarak aşağıdaki genel formu elde etmişlerdir.

$$y_t = u_t(\alpha + \beta h_t) + \varepsilon_t \quad (2.28)$$

Burada  $\alpha, \beta$ , mevsimselliğe bağlı parametreler,  $\varepsilon_t$  bağımsız hata payı ve  $u_t$  fonksiyonuna bağlı değişkendir.

$$g(u_t) = \begin{cases} \gamma, & 0 \leq u_t < 1 \\ (1-\gamma)\delta(u_t - 1) & u_t = 1 \end{cases} \quad (2.29)$$

Burada  $\gamma$  bir parametre,  $\delta$  Dirac delta fonksiyonudur. Bilinmeyen bu parametreler maksimum olasılık kullanılarak tahmin edilmiştir. Yapılan yorumlar

genellikle olasılık oranları üzerine dayanır.  $y$  nin muhtemel yoğunluk fonksiyonunu en son olarak Denklem 2.30 daki gibi göstermişlerdir.

$$f(y_t) = \left[ (1-\gamma) / \sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi} \right] \exp \left[ - (y_t - \alpha - \beta h_t)^2 / 2\sigma_\varepsilon^2 \right] + \left[ \gamma / (\alpha + \beta h_t) \right] \left[ \Phi \left\{ (y_t / \sigma_\varepsilon) - \Phi \left( (y_t - \alpha - \beta h_t) / \sigma_\varepsilon \right) \right\} \right] \quad (2.30)$$

Bu denklemler ve grafikler yardımıyla parametre tahminlerini yapmışlar ve akarsu çekilmelerini Avustralya'daki üç havza için değerlendirmişlerdir.

### 2.2.3.3. Aksoy ve Bayazıt (2001) Yaklaşımı

Aksoy ve Bayazıt (2001) gösterdikleri bu yaklaşımla, akımın rastgele olarak değişmesini amaçlanmış ve hidrografın çekilme süresini aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir.

$$Q_t = KQ_{t-1} \quad (2.31)$$

Burada  $K$  nın değerleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. 0 değeri ancak akım olmadığı zaman elde edilebilmekle birlikte  $K$  nın değerleri başlangıçta küçük zaman ilerleğe büyüyün değerler aldığı gözlenmiştir.  $K$  nın artan değerleri taban akışının çekilmesiyle yüzeysel suların çekilmesinin arasında lineer bir bağıntı olmadığını gösterir. Yağışsız dönemlerin uzun olduğu durumlara  $K$  değerleri genellikle 1 e yakın değerler alır. Bu çalışmada  $K$  değerleri 10 eşit aralığa bölünmüş ve yükselmenin olduğu zamanlar ve akımın gerçekleşmediği süreler olasılık yaklaşımının dışında tutulmuştur.

Bu yaklaşımda, çekilme periyodu dilediği gibi seçilebilir. Örneğin Aksoy ve Bayazıt (2001) tarafından yapılan çalışmada 1 günlük çekilme kayıtları göz önüne alınmıştır. Ayrıca bu yöntem kullanılırken  $K$  değerlerini daha uygun seçebilmek için çekilme periyotları her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır.  $K$  nın ilk 8 aralığı olan 0 ile 0,8 aralığı yüzeysel, yüzeyaltı, yer altı suyu akımlarının genelini çekilmesinin gözlemlendiği dönemler için geçerli olduğu 0,8 ile 0,9 aralığı ise

yüzealtı ve yeraltı suyunun çekilmesini temsil ettiği. 0,9 ile 1 arasındaki değerler ise taban akışı çekilmesi için kullanıldığı düşünülmüştür (Aksoy ve Bayazıt, 2001).

Bulunan bu katsayıların görülme olasılıklarını hesaplamak için aşağıdaki gibi Morkov zinciri kurmuşlardır.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Bu zincirde  $K_1$  den direkt  $K_2$  ye geçme olasılığı,  $K_2$  den  $K_1$  e geçme olasılığı ve  $K_3$  den  $K_2$  ile  $K_1$  e geçme olasılıkları 0 olduğu için  $P_{1,1}, P_{2,1}, P_{3,1}, P_{3,2}$  0 olarak kabul edilmiştir.

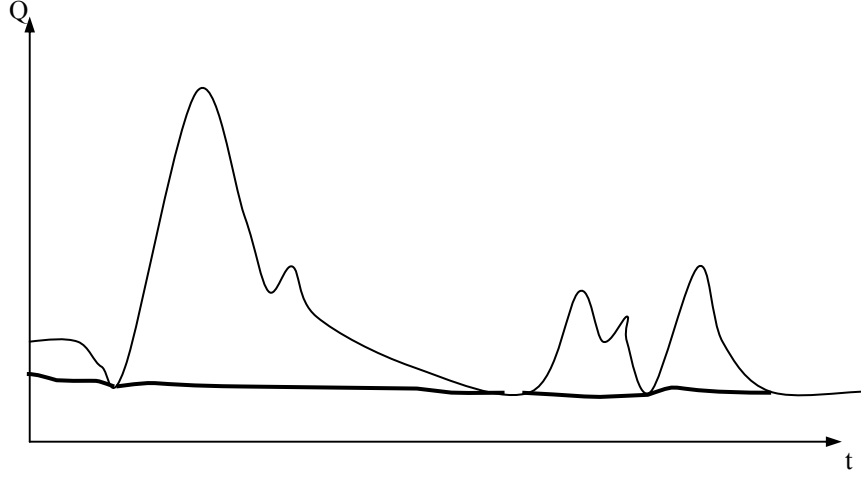
Aksoy ve Bayazıt (2001), bu yaklaşımı Türkiye'den aldıkları 13 ile 35 yıllık akım verilerinin bulunduğu 6 istasyon verisine uygulamışlardır. Elde edilen katsayılar 0 ile 1 aralığında çıkmış ve 0,8'den daha yüksek değerlerin daha çok görüldüğünü gözlemlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda olasılık teoreminin günlük akımların çekilme katsayılarının bulunmasında kullanılabileceği düşünmüşlerdir.

### 2.3. Taban Akışı Ayrılması ve Çekilmesi ile İlgili Grafikselsel Çalışmalar

Akarsu çekilme analizlerinde başta gelen sorunlardan biriside, taban akışının akarsuya olan katkısının belirlenmesidir. Akarsu çekilmeleri düzenlenirken, bazı denklemlerde taban akışı değerlerinin önceden belirlenmesi ve işlemlere katılması gerekmektedir. Bundan dolayı akarsuda meydana gelen taban akışı katkısının belirlenmesi büyük önem kazanmıştır ve bu konuyla ilgili pek çok çalışan farklı yöntemler önermişlerdir.



Bir başka taban akışı ayırma tekniğini hidroloji enstitüsü 1980 yılında geliştirmiştir (Tallaksen, 1995). Bu teknikte basit kurallar uygulandı akımın çalkantısız olduğu ve bu şekilde bir ayırım yapılması gerektiği savunuldu.



Şekil 2.5. Çalkantısız minimum akım tekniği

Bu yöntemde, akarsuda ölçülen akış değerleri bir zaman – debi kordinat sistemine yerleştirildikten sonra, hidrograf üzerindeki minimum akımların meydana geldiği noktalar tespit edilerek bu noktalar bir doğru ile birleştirilir. Bu doğru parçası akarsu akımına katkıda bulunan taban akışını gösterir. Bu yöntem en kolay yöntemdir. Ancak yeraltı suyu beslenmesini göz önüne almaması bakımından uygulanabilir bir yöntem değildir.

### 2.3.1. Dijital Filtre Yöntemi

Akarsu hidrografından taban akışının ayrılması, dijital filtreler yönteminin kullanılmasıyla kolaylıkla uygulanabilmiştir. Dijital filtre yöntemi ilk olarak Lyne ve Hollick (1979) tarafından kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada akımın yüzeysel ve yeraltı suyu olmak üzere iki bölümden oluştuğunu (Denklemler 2.33) ve bundan dolayı da akarsu akımı için uygulanabilecek bir denklemin taban akışı için de kullanılabileceğini belirterek akarsu akımını aşağıdaki gibi yazmışlardır.

$$Q_T = Q_S + Q_B \quad (2.33)$$



Burada,  $Q_s$  yüzeysel akış,  $Q_B$  yeraltı suyu akışı,  $Q_T$  toplam akarsu akışıdır. Lyne ve Hollick (1979) bu iki akım bileşeni için ayrı ayrı filtre tekniğini kullanarak aşağıdaki gibi yazmışlardır.

$$f_k = af_{k-1} + \frac{1+a}{2}(y_k - y_{k-1}) \quad (2.34)$$

$$b_k = ab_{k-1} + \frac{1-a}{2}(y_k + y_{k-1}) \quad (2.35)$$

Burada,  $f$  yüzeysel akış,  $y$  toplam akarsu akımı,  $b$  taban akışı ve  $a$  filtre parametresidir. Lyne – Hollick algoritmaları olarak bilinen bu denklemler, Nathan ve McMahon (1990) tarafından çekilme analizleri için otomatik metotların değerlendirilmesinde, Arnold ve Allen (1999) tarafından toplam akım kayıtlarından yeraltı suyunu ve taban akışını tahmininde; Arnold ve arkadaşları (2000) tarafından yukarı Mississippi havzasındaki yeraltı suyu ve taban akışının tahmini için kullanılmıştır. Chapman (1991), Nathan ve McMahon (1990) tarafından yapılan çalışmayı modifiye etmiş ve aşağıdaki algoritma formunu teklif etmiştir.

$$b_k = \frac{3a-1}{3-a}b_{k-1} + \frac{1-a}{3-a}(y_k + y_{k-1}) \quad (2.36)$$

Chapman (1991) tarafından aynı çalışmada Denklem 2.36'ü taban akışı ve yüzeysel akış için tekrar düzenlenerek Denklem 2.37'i elde edilmiştir.

$$b_k = ab_{k-1} + \frac{1-a}{2}(f_k + f_{k-1}) \quad (2.37)$$

Daha sonra Chapman ve Maxwell (1996), taban akışının ayrılması için yaptıkları çalışmada Denklem 2.37'yi geliştirerek aşağıdaki formu elde etmişlerdir.

$$b_k = \frac{a}{2-a} b_{k-1} + \frac{1-a}{2-a} y_k \quad (2.38)$$

Eckhardt (2005), Denklem 2.36'daki  $\frac{a}{2-a}$  yerine A terimini ve yine  $\frac{1-a}{2-a}$  yerinede B terimini denkleme sokarak Denklem 2.39'yi elde etmiştir.

$$b_k = Ab_{k-1} + By_k \quad (2.39)$$

A>0 ve B>0 olması halinde, Denklem 2.39 aşağıdaki gibi ifade edilebileceğini belirtmiştir.

$$b_k = \frac{Ab_{k-1} + By_k}{1-B} \quad (2.40)$$

Bu denklem yüzeysel akışın olmadığı durumlarda aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$bk = \frac{A}{1-B} b_{k-1} \quad (2.41)$$

Eckhart (2005) yapmış olduğu bu çalışmada taban akışının toplam akışa göre düzenlemesini üzerine durmuş ve aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

$$b_k = \frac{B}{1-A} y_k \quad (2.42)$$

Echart (2005),  $\frac{B}{1-A}$  terimini  $BFI_{\max}$  olarak ifade etmiş ve filtre yöntemini toplam akarsu akışını, taban akışını ve filtre katsayısını da kullanarak genel bir ifade vermiştir; Elde ettiği bu denklemi, Amerika'daki Beaverdam Creek, Goose Creek

havzaları ile Almanya'daki Aar havzasında uygulamış ve geçerliliğini göstermeye çalışmıştır.

$$b_k = \frac{(1 - BFI_{\max})ab_{k-1} + (1 - a)BFI_{\max}y_k}{1 - aBFI_{\max}} \quad (2.43)$$

Smakhtin (2001), Denklem 2.36'nın aylık akımlar için kullanılması için aşağıdaki denklemleri teklif etmiştir. Smakhtin (2001), bu çalışmasını Güney Afrika'daki, Sundays, Sabie ve Koonap Nehirleri üzerine uygulamış ve hem günlük hemde aylık olarak düzenlemiş uygunluğunu gözlemlemiştir.

$$q_m = aq_{m-1} + 0,5(1 + a)(Q_m - Q_{m-1}) \quad (2.44)$$

$$QB_m = Q_m - q_m \quad (2.45)$$

Smakhtin (2001) nin bu çalışması, Hughes ve arkadaşları (2003) tarafından Mac-Mac, Bot, Kinira, Groot, Baviaans ve Hlelo nehirleri üzerinde denemiş ve geçerliliğini göstermiştir.

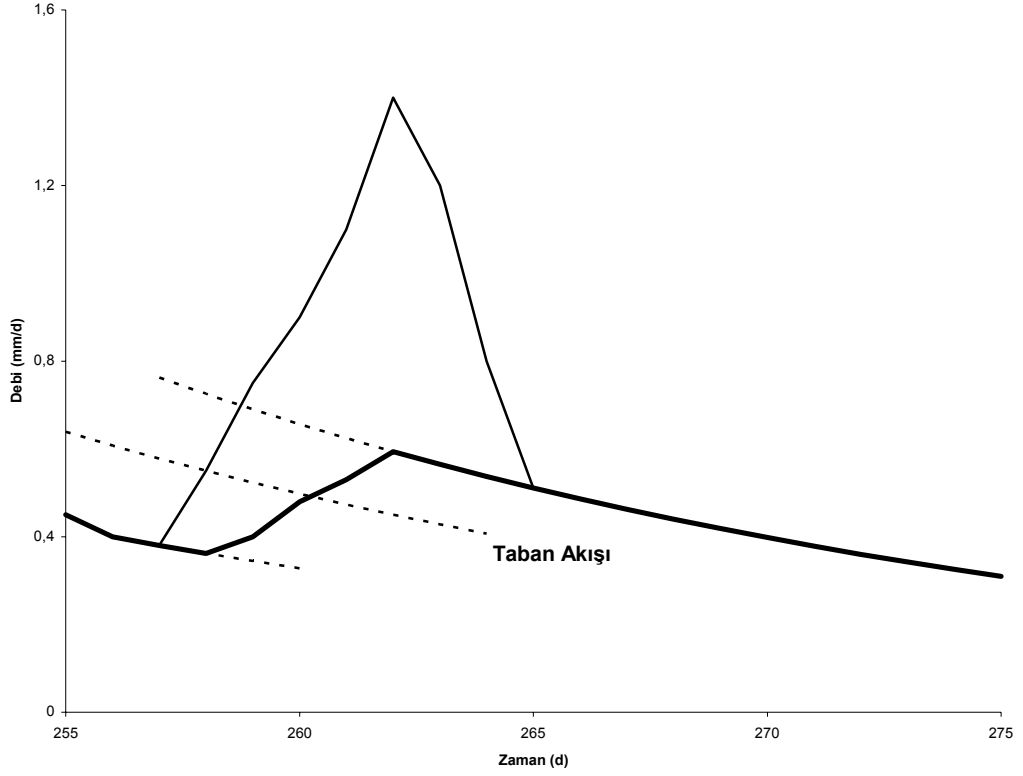
### 2.3.2. Wittenberg Yöntemi

Wittenberg (1999), Avusturalya, Çin ve Almanya'daki akım ölçüm istasyonlarından alınan akım verilerinden taban akışını ayırmakta kullanmak üzere lineer olmayan bir rezervuar algoritma ifadesini teklif etmiştir.

$$Q_{t-\Delta t} = \left[ Q_t^{b-1} + \frac{t(b-1)}{ab} \right]^{1/(b-1)} \quad (2.46)$$

Burada Q debi, a ve b boyutsuz sabitlerdir. Bu yöntemde, çekilmenin bittiği noktadan itibaren geriye Denklem 2.46 ile geriye doğru akarsu hidrografının pik yaptığı noktaya kadar eğri uzatılmakta ve oluşturulan bu eğri daha sonraki aşamada akarsu hidrografının yükselmeye başladığı  $\Delta t$  zaman adımları için

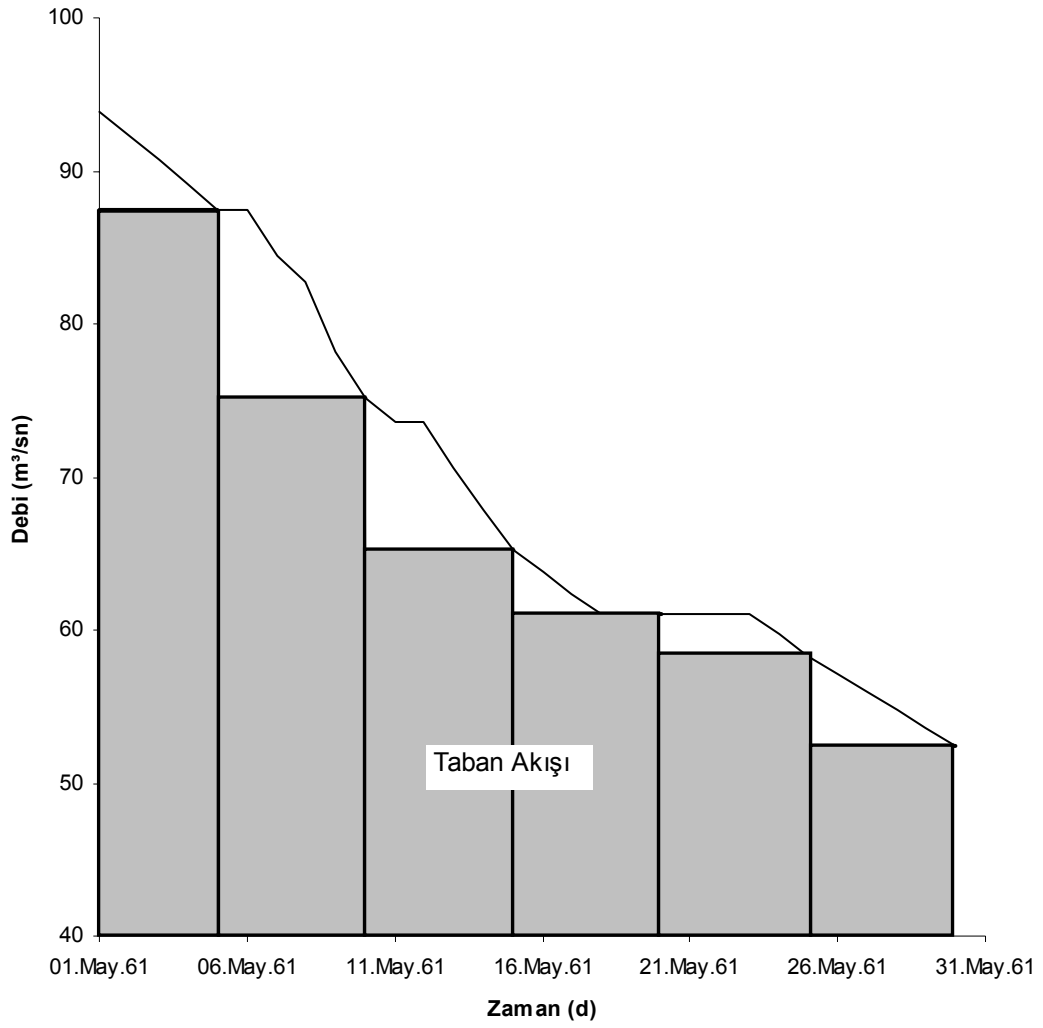
kaydırılmakta ve  $\Delta t$  kadar ileri noktadaki değeri kendisinden bir önceki değerle birleştirilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.6. Wittenberg Yöntemi

### 2.3.3. Sabit Aralık Metodu

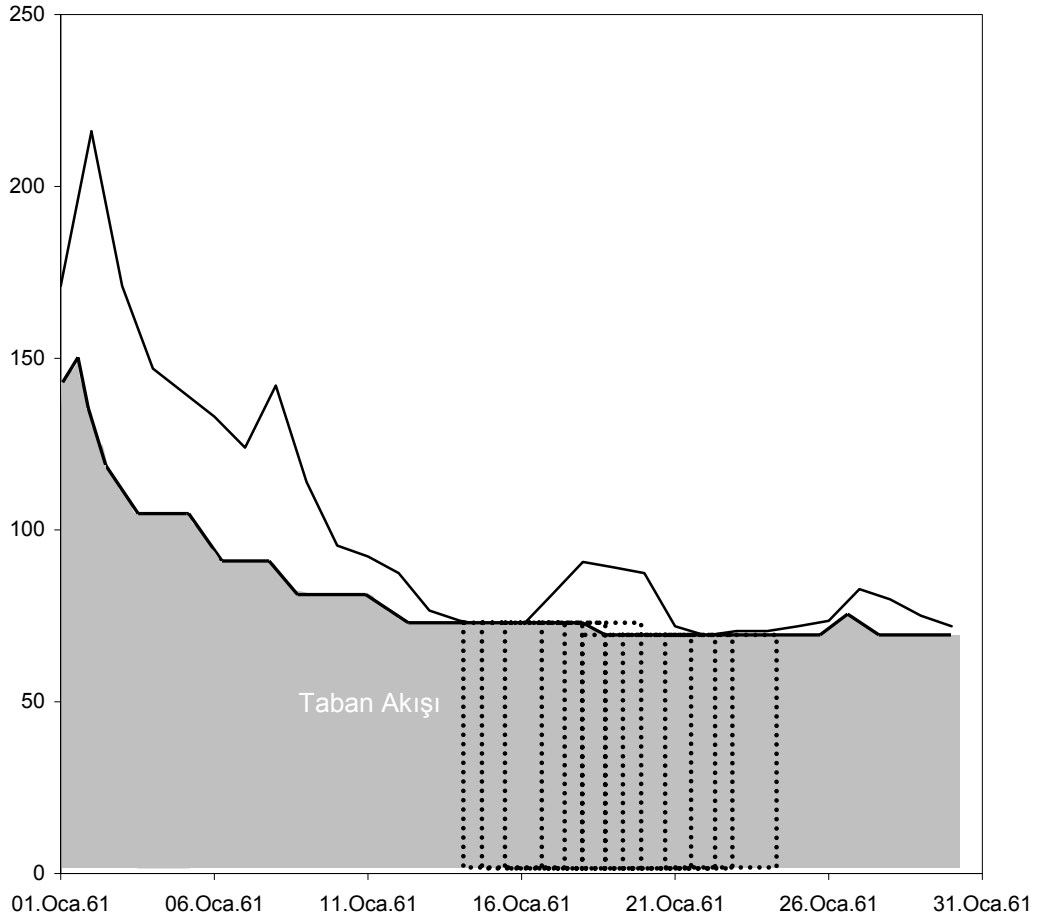
Bu metot, akarsulardaki çekilmelerin belirlenmesinde kullanılan HYSEP bilgisayar programının düzenlenmesinde uygulanan metotlardan birisidir (Sloto ve Crouse, 1996). Bu metot da,  $2N$  gün sonunda oluşan debi taban akışı olarak ifade edilmiş ve bu noktadan geriye  $2N$  gün düz şekilde gidilerek dikdörtgen bir form elde edilmiştir. Bu işlemin akarsu hidrografi boyunca defalarca tekrarlanması sonucu taban akışı ayırma yöntemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.7. Sabit Aralık Metodu

### 2.3.4. Kayan Aralık Metodu

Bu metot, akarsulardaki çekilmelerin belirlenmesinde kullanılan HYSEP bilgisayar programının düzenlenmesinde uygulanan metotlardan bir diğeridir (Sloto ve Crouse, 1996). Bu metot da minimum debilerden geçmek üzere 2N günlük barlar çizilir ve bu barlar yukarı aşağı kaydırılmak üzere diğer barla ortak bir taban akışı oluşturacak şekilde kesiştirmektedir (Şekil 2.6).

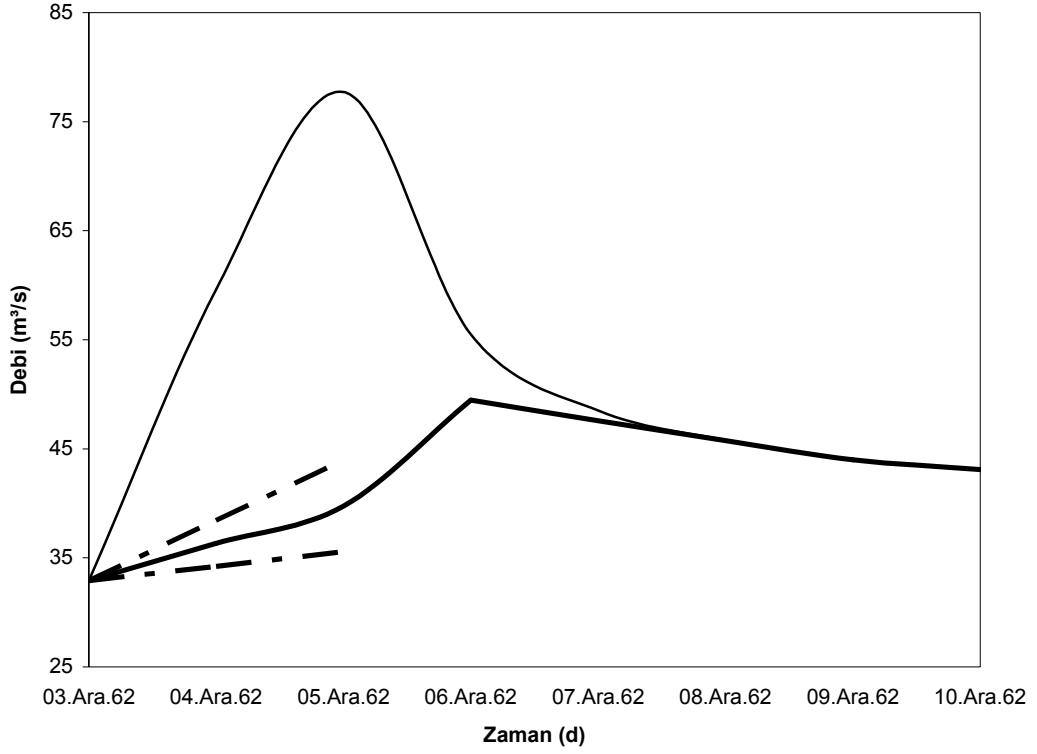


Şekil 2.8. Kayan Aralık Metodu

### 2.3.5. Çimen – Saplıoğlu (2004) Metodu

Bu yöntem hem tek pikli hem de çok pikli akarsu akımları için uygulanabilir. Tek pikli hidrograflarda akarsu hidrografının pik yaptığı nokta ile taban akışının piki arasında 1 günlük bir gecikmenin olduğu kabul edilir. Çekilmenin sona erdiği noktadan taban akışı çekilme katsayısı ile akarsu hidrografi geriye doğru, akarsu akımının pik yaptığı noktanın bir gün sonrasına kadar uzatılır. Böylelikle taban akışının pik yaptığı nokta bulunur. Bu noktadan sonra, taban akışının yükselme dönemi için iki işlem yapılır. İlk olarak, bu noktadan itibaren akarsu hidrografının yükselmeye başladığı nokta ile taban akışının maksimum noktası düz bir çizgi ile birleştirilir. İkinci olarak, akarsu hidrografının yükselmeye başladığı noktadan itibaren akarsu pikine kadar Denklem 2.5 yardımıyla ileriye doğru bir eğri çizilir.

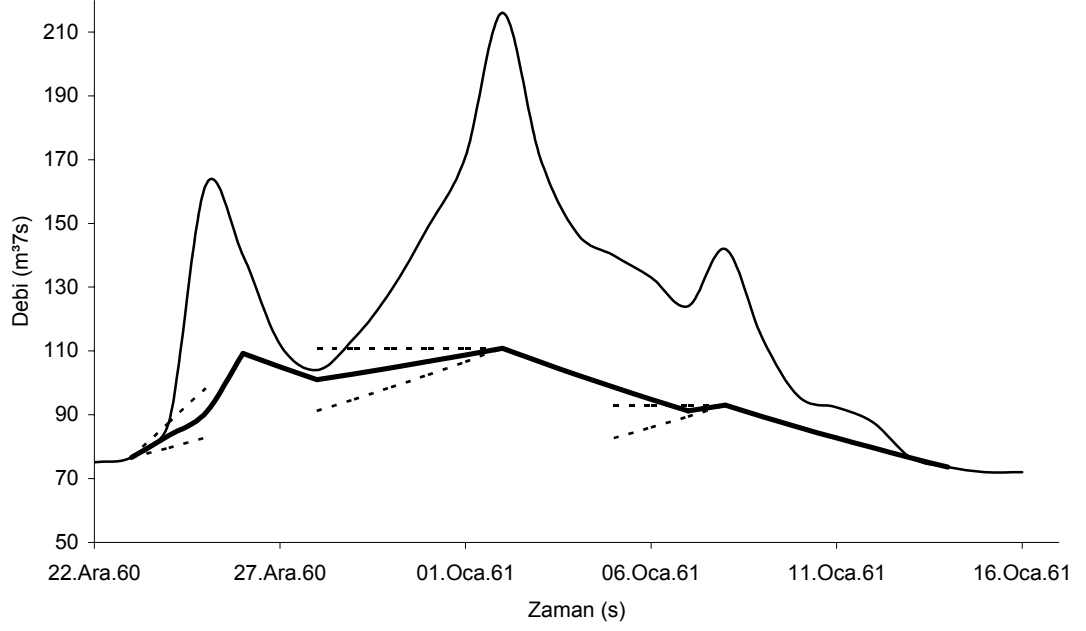
Bu çizilen eğri değerleri ile daha önce çizilen düz çizgi değerlerinin ortalaması alınarak taban akışı ayırımı yapılır (Çimen ve Saplıoğlu, 2004) (Şekil 2.7). Böylece akarsu hidrografının yükselme periyodunda, yeraltı suyundan beslenmesi göz önüne alınmış olur.



Şekil 2.9. Tek Pikli Taban Akışı Ayırımı

Birden fazla pik noktasının olduğu hidrograflarda ise, yine tek pik yapan hidrograf durumuna benzer bir uygulama yapılır, ancak buradaki tek fark pikler arasındaki geçiş bölgelerinin düzenlenmesidir. Bu yöntemde, akarsu hidrografının en son pik yaptığı noktanın tam altına kadar, taban akışı çekilme eğrisi çekilmenin kurak dönemlerinden başlayarak geriye doğru uzatılır. Bu noktadan geriye doğru son akarsu pikinin yükselme başlangıcına kadar, önce yatay bir çizgi ve sonra akarsu hidrografının ilk başlangıcına kadar eğik doğrusal bir çizgi çizilerek, bu iki çizginin ortalaması alınır. Böylece, bu dönemde taban akışının yağışlarla beslenmesi göz önüne alınmış olur. Aynı işlem tek pik noktası kalıncaya kadar devam ettirilir. Tek pik noktası kaldıktan sonra tek pikli durumlarda yapılan

işlemlerin aynı yapılarak taban akışının ayrılması sağlanmış olur (Çimen ve Saplıoğlu, 2004) (Şekil 2.9).



Şekil 2.10. Çok Pikli Hidrografta Taban Akışı Ayrımı



### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada, akarsu çekilme analizlerinin uygulanması için Köprüçay nehrinin Beşkonak akım gözlem istasyonundaki ölçülmüş debi değerleri kullanılmıştır. Bu bölümde Köprüçay nehri Beşkonak ölçüm istasyonuna ait özelliklere değinilerek, akarsu çekilmelerine etkiyen yağış, sızma, buharlaşma ve terleme konuları ele alındı. Daha sonra çalışmada kullanılan metot hakkında bilgi verilerek, bu metodun kullanılması için gerekli olan akarsu ve taban akışı çekilme katsayıları ile minimum ve maksimum taban akışı değerlerinin bulunması için izlenen yollar anlatıldı.

#### 3.2. KÖPRÜÇAY NEHRİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Köprüçay nehri, Eğirdir gölünün doğusunda Anamas dağının batısından doğar. Nehrin toplam uzunluğu 156 km olup, toplam havza alanı 2498 km<sup>2</sup> dir. Havzaya yıllık  $3,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup> yağış düşer, ayrıca yıllık ortalama sıcaklık 18.6 °C ve ortalama yağışlı gün sayısı 90'dır. Beşkonak ölçüm istasyonunda kurak sezonlarda oluşacak minimum debi 30 m<sup>3</sup>/s olarak tahmin edilmektedir. Nehir bu bölgedeki en önemli akarsulardan birisidir (Fizibilite Raporu, 1983).

##### 3.2.1. Köprüçay Nehrinin Jeolojisi

Köprüçay havzası genellikle, Miocene çağının kayaları olan sedimentlerden oluşur. Bu sedimentler kayalar Köprüçayın ve Beşkonak istasyonunun jeolojik yapısı içerisinde en çok karşılaşılan kayaç türüdür. Köprüçay nehri boyunca, genel formasyon geçirimsiz veya yarı geçirimli şeklindedir (Fizibilite Raporu, 1983).

##### 3.2.2. Debi ve Yağış Ölçüm istasyonları

Bölgede şu an kullanılmayan Bulasan ve Kısık ile beraber Anamas, Yenice, Kasımlar ve Beşkonak olmak üzere altı debi ölçüm istasyonu mevcuttur. Yağış

ölçümleri içinse, Yenice, Anamas, Kasımlar, Beşkonak, Antalya, Kovada, Karacaören, Serik, Döşemealtı, Sütçüler ve Derebucak istasyonları kullanılmaktadır. Yağış ölçüm istasyonlarında, ayrıca sıcaklık, nemlilik, buharlaşma, basınç ve rüzgar verileri de mevcuttur (Fizibilite Raporu, 1983).

### 3.2.3. Yağış

Bölgede kış aylarına tekabül eden, Kasım – Şubat ayları en yağışlı aylardır. Özellikle Ocak aylarında yıllık 220 mm yağış düşer. Temmuz ve Ağustos ayları ise en kurak dönemlerdir. Bu dönemlerde ortalama yağış yüksekliği 10 mm civarındadır (Fizibilite Raporu, 1983).

### 3.2.4. Sıcaklık

Bölgede gözlemlenen en yüksek sıcaklık 44,6 °C, en düşüğü ise -4,6 °C civarındadır ve yıllık ortalama sıcaklık ise 18,6 °C dir (Fizibilite Raporu, 1983).

### 3.2.5. Buharlaşma

Bölgenin farklı kısımlarında bitki örtüsünün yoğunluğuna göre farklı buharlaşma oranları mevcuttur. Beşkonak ölçüm istasyonundan alınan verilerle elde edilen ortalama buharlaşma değerleri tablo 3.2.1’de verildiği gibidir (Fizibilite Raporu, 1983).

Çizelge 3.1. Beşkonok Ölçüm İstasyonundan Alınan Aylık Buharlaşma verileri

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ
BUHARLAŞMA(mm)	51,2	49,7	70,5	88,3	114,1	160,8	186
AYLAR	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM	
BUHARLAŞMA(mm)	167,9	138,5	95,9	59,6	52,6	1235,1	

### 3.2.6. Sedimentasyon

Köprüçay nehri üzerinde meydana gelen sediment miktarı, Devlet Su İşlerinin Beşkonak ölçüm istasyonunda 1969-1980 yılları arasında rastgele belirlediği 123

günlük verilere göre değerlendirilmiştir. Bu verilerde maksimum sediment miktarı 1391, ppm minimum sediment miktarı ise 2,5 ppm olarak gözlenmiştir. Bu bölge içinse ortalama sediment miktarı 112 ppm olarak tayin edilmiştir (Fizibilite Raporu, 1983).

### **3.2.7. Kar Erimeleri**

Havzada kar erimeleri, Şubat ayının ortalarından Mayıs ayının ortalarına kadar devam eder. Nehirde kar erimelerinin en çok etkili olduğu aylar Mart ve Nisan aylarıdır. Mart ve Nisan aylarında, 1500 m nin üzerindeki alanlar genellikle karla kaplıdır ve bu alanlar köprüçay havzası için 540 km<sup>2</sup> dir. 1930 – 1980 yılları arasında yapılan ölçümlerde, günlük kar erime miktarının ortalama 0,401 mm/<sup>o</sup> C-gün olarak tespit edilmiştir.

## **3.3. AKARSU ÇEKİLMELERİNİ ETKİLEYEN PAREMETRELER**

Akarsu çekilmelerinin düzenli bir eğilim gösterebilmesi için akarsuda meydana gelebilecek buharlaşma, terleme, sızma olaylarının olmaması gerekir. Ayrıca çekilmenin düzeninin bozulmaması için çekilme sırasında yağışın meydana gelmemesi veya etkisiz olması gerekir. Pratikte böyle bir olay mümkün değildir. Ayrıca, yıllar içinde havzaki mevcut bitki örtüsünün yada canlı nüfusunun değişimi ile akarsuyun çekilme karakteristikleride yıllar boyunca değişmektedir. Öte yandan yeryüzünde global olarak meydana gelen sıcaklık değişimleri ile mevsimsel değişimler de akarsuda meydana gelen çekilmenin düzenini bozan etmenlerdir. Bu parametrelerin akarsu çekilme davranışına etkileri aşağıda verilmiştir.

### **3.3.1. Yağış**

Atmosferden katı yada sıvı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denilir. Sıvı haldeki yağış yağmur şeklindedir, katı haldeki yağış ise kar, dolu, çığ, kırağı şekillerinde olabilir. Yağmur ve kar hidrolojik bakımdan en önemli iki yağış şekli olup aralarındaki en önemli fark yağmur halinde düşen sular derhal akış haline

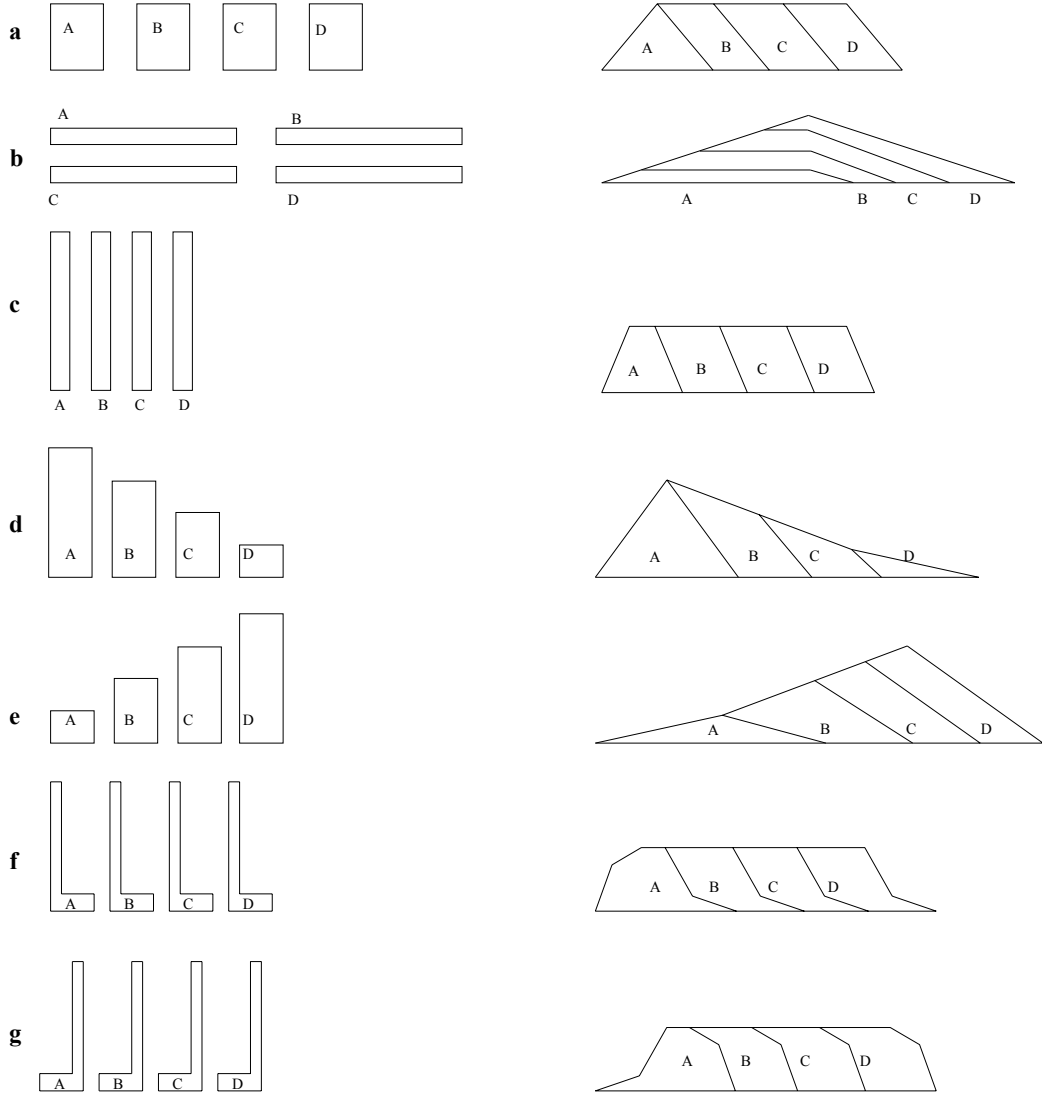
geçtikleri halde karın genellikle uzun süre sonra eriyerek akış haline geçmesidir (Bayazıt, 1991).

Yağan yağışın yağış fazlası kısmı yüzeysel akışa geçer. Yüzeysel akışa geçen sular ise akarsuya direkt olarak katkı sağlar ve akarsu akışının bir kısmını (yüzeysel akış) oluştururlar. Yağışın bir kısmı ise yüzeyin hemen altına (gecikmesiz yüzeyaltı suyu) yada daha derinlere sızarak gecikmeli yüzey altı suyu, yeraltı suyuna katılır.

Yağışlar, akarsu üzerinde çeşitli şekillerde hidrograflara neden olur. Yağış süresinin, yağışın alansal dağılımının ve yağış şiddetinin akarsu hidrografına yaptığı etkiler Şekil 3.1.a-g'de verilmiştir. Şekil 3.1.a-c değişik zamanlarda meydana gelen aynı şiddetteki yağışların hidrografa etkileri, Şekil 3.1.d ve 3.1.e'de zamanla yağış şiddetindeki azalma ve artışların hidrografta meydana getirdiği değişimler ile Şekil 3.1.f ve 3.1.g'de ise hem değişik zaman sürelerinde toplamda aynı miktarda hemde kendi içinde azalan ve artan yağış şiddetinde meydana gelen yağışların hidrografi nasıl etkilediği gösterilmiştir (Linsley, 1982).

### **3.3.2 Sızma**

Birim zamanda, birim alandan zeminin altına geçen su miktarına sızma şiddeti denir. Şayet, havzada meydana gelen yağış şiddeti sızma şiddetinden fazla ise, yüzeysel akış ve sızma aynı anda meydana gelir. Diğer taraftan, yağış şiddeti sızma şiddetinden küçük veya eşit olduğu durumlarda, yüzeysel akış meydana gelmez ve yağan yağışın tamamı yeraltına sızar. Sızma zamanla ve bulunduğu yer itibari ile çeşitlilik gösterir. Doygun tabaka kalınlığı, yüzey suyu derinliği, zemin nemi, Havzanın jeolojik yapısı, yağışın sıkıştırması, ince danelerin yılanması, insan ve hayvan sıkıştırılmaları, bitki örtüsü ve sıcaklık gibi etmenler sızmaya etki etmektedir. Sızma miktarının fazla olması halinde, akarsu çekilmeleri de daha hızlı olacaktır. Bunun yanında sızma miktarı yıldan yıla değişebildiği gibi mevsimsel olarak ta değişmektedir (Şen, 2003).



Şekil 3.1. Yağış süresinin a-c, yağışın alansal dağılımından-e ve yağış süresinin f-g akarsuda oluşturduğu hidrograflar (Linsley,1982)

### 3.3.3. Buharlaşma

Bir akarsu havzasında bulunan sular, havza sıcaklığının etkisiyle direkt olarak buharlaşırlar. Bununla beraber, yağışlar sırasında bitkiler tarafından alıkonulan sular da sıcaklığın etkisiyle buharlaşırlar. Buharlaşma miktarının artması ile akarsulardaki çekilmelerde de bir artış gözlenir. Buharlaşma ve terleme miktarı

zemin nemine, bitki örtüsüne ve bunların gelişim oranlarına sıcaklığa, rüzgar hızına, basınca, su yüzü alanına, derinliğe ve su yüzü ile atmosfer arasındaki buhar iletimi gibi bir takım etmenlere direkt olarak bağlıdır. (Şen, 2003)

### 3.3.4. Terleme

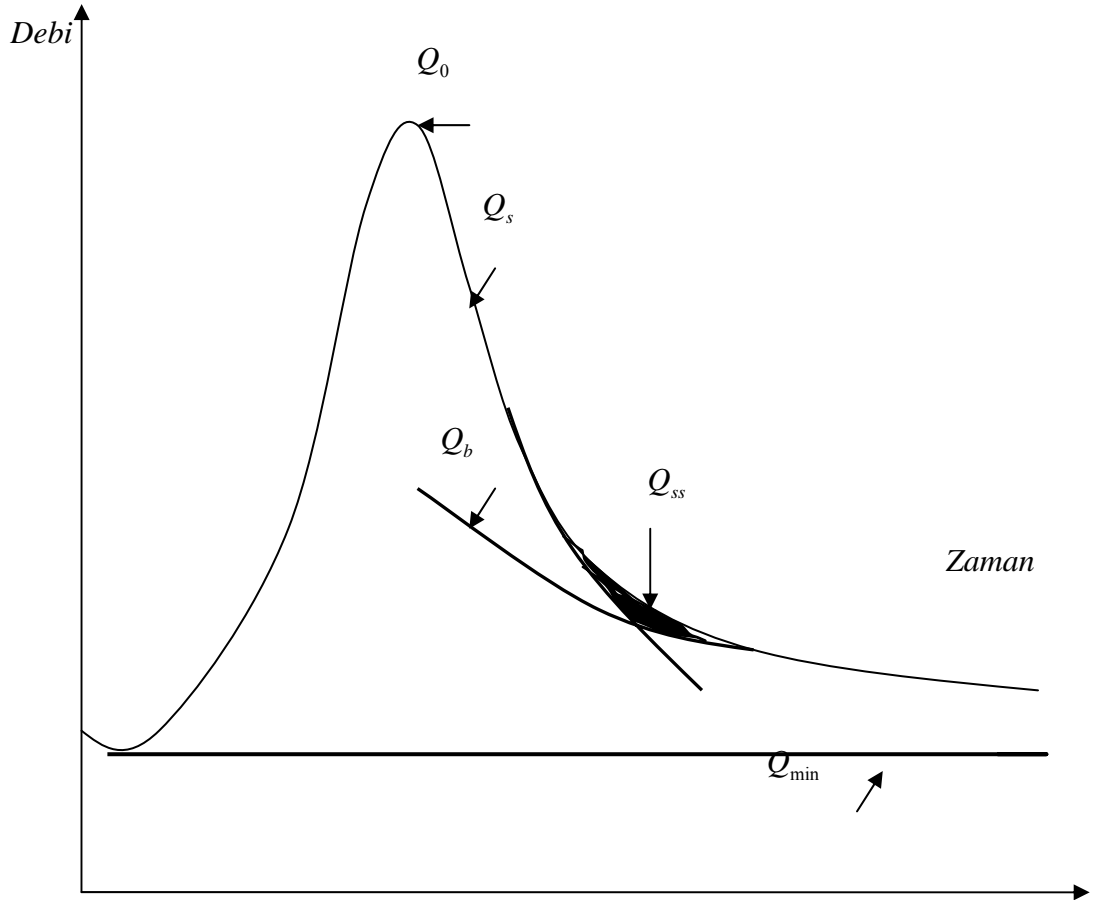
Bitkilerin büyüme ve hayatlarını sürdürebilmek için kökleriyle aldıkları suyun bir kısmını fotosentez yolu ile dışarı vermesi olayına terleme denir. Bir bitki büyüme sırasında kendi ağırlığının 200 ila 1500 katı arasında suyu terleme ile dışarı verir. Genel olarak, bitkilerin günlük olarak saat de 0,1 mm ila 5 mm arasında değişen oranlarda terlerler (Şen, 2003). Bundan dolayıdır ki, bir su toplama havzasındaki bitki örtüsünde yıllar içinde meydana gelebilecek değişimler, akarsuda meydana gelebilecek çekilme oranlarını etkilemektedir. Akarsuda meydana gelen çekilme miktarı, bitki örtüsünün artması ve dolayısıyla terleme miktarının artması nedeniyle hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir.

## 3.4. AKARSU ÇEKİLMELERİNİN MODELLENMESİ

### 3.4.1 Giriş

Denklem 3.1'de gösterildiği gibi akarsulardaki akım, yüzeysel suların ( $Q_s$ ), yüzeyaltı suların ( $Q_{ss}$ ) ve yeraltı suyunun ( $Q_b$ ) katkısından meydana gelir (Şekil 3.2). Yüzeysel sular yağışlara bağlı olmakta ve yaklaşık olarak belirlenebilmekte yeraltı suları da miktarsal olarak bazı kuyu gözlemleri sonucu bulunabilmektedir. Yüzeyaltı suları ise genellikle gecikmeli ve gecikmesiz olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır. Bu yüzden, gecikmesiz yüzeyaltı sularını yüzeysel akış halinde düşünmek ve gecikmeli yüzeyaltı sularını ise taban akışının bir parçası olarak düşünmek akarsu akımlarının tahmini için yeterli olabilmektedir (Bayazit, 1991).

$$Q_0 = Q_s + Q_{ss} + Q_b \quad (3.1)$$



Şekil 3.2. Akarsu Akım Bileşenleri

Denklem 3.1'de gösterilen yüzeyaltı suları, yüzeysel sulara ve taban akışına katıldığı zaman aşağıdaki form elde edilir.

$$Q_0 = Q_s + Q_b \quad (3.2)$$

Bu denklemdeki akım bileşenleri için ayrı ayrı çekilme ifadeleri Bousinesq (1877) nin teklif ettiği Denklem 2.5 yardımı ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$Q_t = (Q_0 - Q_b)e^{-\alpha_s t} + (Q_b - Q_{\min})e^{-\alpha_b t} + Q_{\min} \quad (3.3)$$

Burada  $Q_t$  t anındaki akarsu debisi,  $\alpha_s$  yüzeysel akış çekilme katsayısı,  $\alpha_b$  ise taban akışı çekilme katsayısıdır.

Elde ettiğimiz bu denklem ile modellemenin yapılabilmesi için akarsu çekilme katsayısı, maksimum taban akışı, minimum taban akışı ve taban akışı katsayılarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Modelin bir örnek üzerinde incelenmesi aşağıdaki bölümde verilmiştir.

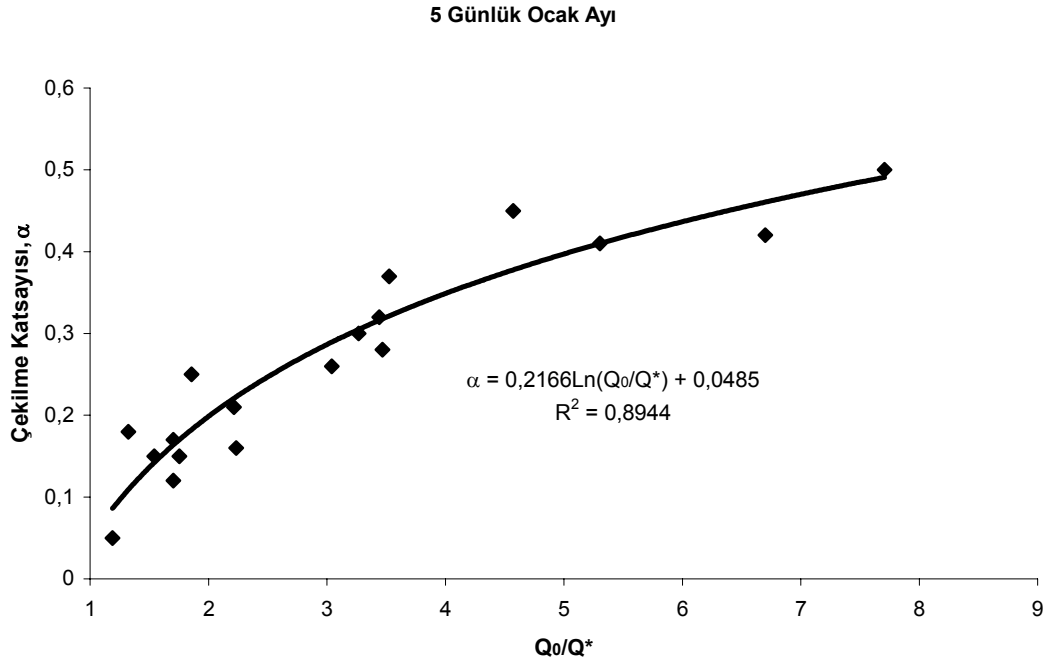
### 3.4.2. Akarsu Çekilme Katsayılarının Belirlenmesi

çekilme katsayıları akarsu çekilmelerinin düzenlenmesi için en önemli parametrelerden birisidir. Çekilme katsayıları zamanla havza alanında meydana gelen fiziksel değişmelere, mevsimsel faktörlere, zemine, yeraltı suyu katkısına ve yağışa göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu yüzden bir akarsuyun çekilme katsayılarını belirlerken sadece tek bir sayıdan bahsedilemez. Bu çalışmada, akarsu çekilme katsayılarını başlıca etkileyen parametreler olan mevsimsel etkiler ve yağışları ve yağış sürelerini dikkate alarak çekilme katsayıları belirlenmeye çalışıldı.

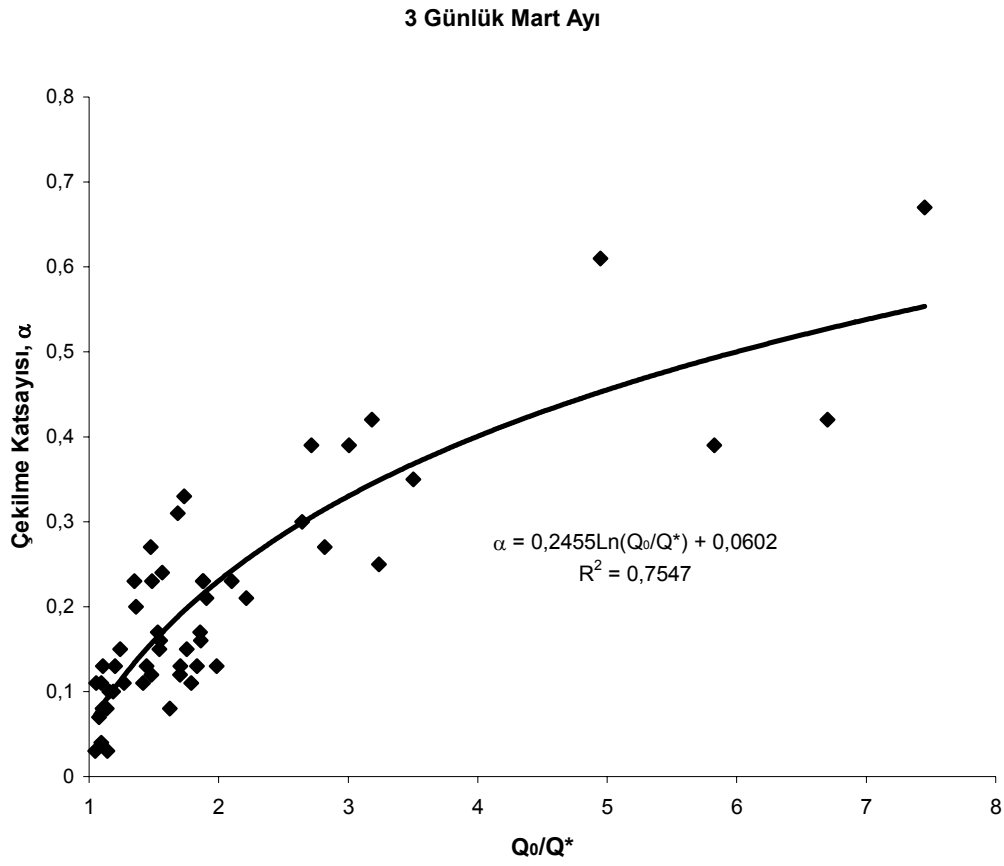
Yüzeysel akış çekilme katsayılarının belirlenmesinde öncelikle, Köprüçay Beşkonak 1961 – 1980 su yılları arasında görülen akım çekilmelerinin tamamı için Bousinesq'nin temel akım denkleminde (Denklem 2.5) gerçek çekilme katsayıları belirlenmiştir. Sonra, çekilme başlamadan önceki akarsu debisi (pik debi) ve bu debiye ulaşıncaya kadar meydana gelen yağış süresi ile yağışlar başlamadan önceki akarsu debileri ( $Q^*$ ) belirlendi. Bu verilerden yağış sürelerine ve meydana geldikleri aylara göre gruplamalar yapıldı. Gruplanan her bir veri dizisindeki her bir çekilme olayı için pik debiler yağışlar başlamadan önceki debilere bölündü ve bu olaydaki çekilme belirlenmiş oldu. Elde edilen tüm veriler, bütün aylar ve bütün yağış süreleri için ayrı ayrı grafiklere girildi. Bu işlemler yapılırken, bir günlük yağışlardan sonra meydana gelen çekilmeler için bir günlük ve iki günlük yağışlardan elde edilen veriler, iki günlük yağışlardan sonra meydana gelen çekilmeler için bir günlük, iki günlük ve üç günlük yağışlardan sonra meydana gelen çekilme katsayıları ve aynı şekilde üç, dört ve beş günlük çekilme katsayıları belirlendi.



Düzenlenen bu veriler, yatay eksenini yağışlardan sonraki meydana gelen debilerin yağışlardan önceki debiye oranı ve dişey eksenini de çekilme olayında Bousinesq denkleminde bulunan çekilme katsayılarının bulunduğu bir grafik üzerinde gösterildi. Oluşturulan bu grafikler arasındaki noktalara en uygun olacak şekilde bir eğri geçirildi ve bu eğrinin denkleminde bu denkleme ait korelasyon katsayısı bulundu. Bu denklemler her ay ve o aya ait her yağış süresi için bir tablo üzerinde toplu halde gösterildi. Böylelikle, herhangi bir ayda o aya ait yağış süresi ve debi değerler oranları girilerek çekilme katsayılarının önceden tahmin edilebilmesi olarak sağlanmış oldu. Elde edilen bu veriler  $(Q_0/Q^* - \alpha_s)$ , bir grafik kağıda işlenerek aralarındaki ilişki belirlenmiş oldu (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Böylelikle akarsu çekilme katsayıları, çekilme olayı başlamadan önce o andaki akarsu debisine, yağış süresine ve yağışlar başlamadan önce görülen debi değerlerine göre önceden tahmin edilebilmesi ve mevsimsel etkilerin minimuma indirilmesi sağlanmış oldu. Bu işlemler sonucu elde edilen tüm çekilme katsayısı denklemleri Çizelge 3.2 de gösterildi. Ayrıca çekilme katsayılarının bulunmasıyla ilgili 2 tane örnek aşağıda Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Köprüçay – Beşkonak Akım Gözlem İstasyonunun Ocak Ayı Beş Günlük Yağış Sonucu Oluşan Çekilme Katsayısı Grafiği



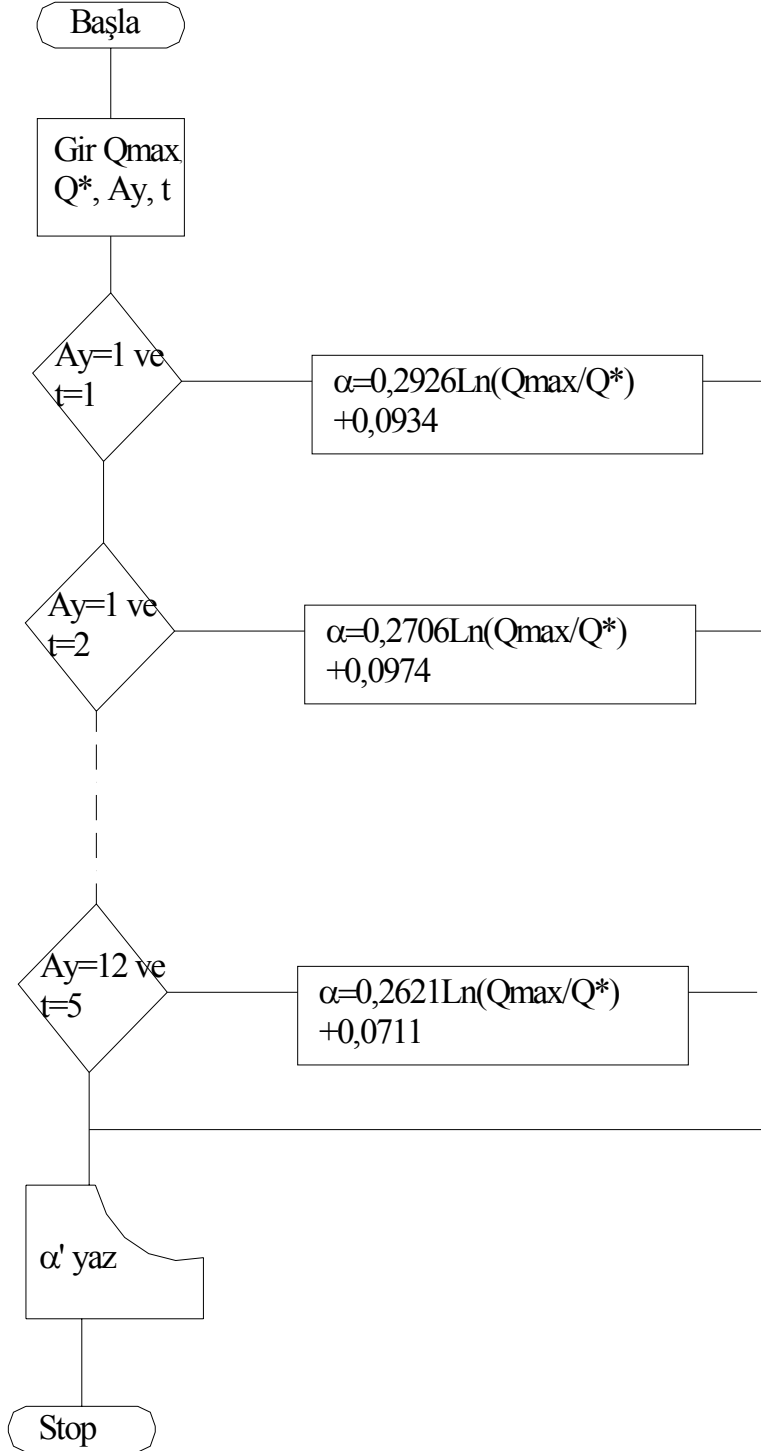
Şekil 3.4. Köprüçay – Beşkonak Akım Gözlem İstasyonunun Mart Ayı Üç Günlük Yağış Sonucu Oluşan Çekilme Katsayısı Grafiği

### 3.4.2.1. Akarsu Çekilme Katsayılarını Belirlemek İçin FORTRAN Dilinde Program

Akarsu çekilme katsayılarının belirlenmesinde kullanılan ve bir önceki bölümde anlatılan yöntem ile akarsu çekilme katsayısının hesaplamaları yapılabilir. Biz bu çalışmada yukarıda gösterdiğimiz yöntemde oluşturduğumuz tablonun otomatik olarak kullanılması amacıyla bir bilgisayar programı geliştirdik ve akış şemasını aşağıda gösterdik (Şekil 3.5).

Oluşturulan bu programa çekilmenin olduğu ay ve çekilme başlamadan önceki yağış süreleri girilerek gerekli denkleme ulaşılması ve çekilme başlamadan önceki

maksimum debi ile yağışlar başlamadan önceki debi değerlerinin de verilmesiyle çekil katsayısının doğrudan bulunması amaçlanmıştır.



Şekil 3.5. Çekilme Katsayılarını Bulunması İçin Kullanılan Bilgisayar Programının Akış Şeması

### 3.4.3. Taban Akışı Çekilme Katsayısının Belirlenmesi

Taban akışı çekilme katsayıları akarsu akımının kurak zamanlarındaki (yaz ayları).debiler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bunun için, 1961-1980 su yılları arasında Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonundan alınan veriler kullanıldı. Taban akışı çekilme katsayıları, Bousinesq denklemi (Denklem 2.5) kullanılarak belirlendi. taban akışlarındaki azalmanın yüzeysel akışa göre daha az değişken olması ve mevsimlerden ve meydana gelen yağış şiddetinden daha az etkilenmesinden dolayı bütün değerlerin ortalaması alındı. Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonu için bu değer 0,006 olarak hesaplandı.

### 3.4.4. Minimum Taban Akışının Belirlenmesi

Köprüçay Beşkonak ölçüm istasyonunda alınan 1961-1992 su yılları arasında meydana gelmiş en küçük debi değeri, minimum taban akışı değeri olarak göz önüne alındı ve 28 m<sup>3</sup>/s olarak tespit edildi. Tespit edilen bu değer modelleme çalışması sırasında akarsuda görülebilecek minimum debi olarak kullanıldı.

### 3.4.5. Maksimum Taban Akışının Belirlenmesi

Bu çalışma için 1961- 1980 yılları arasındaki değerler kullanıldı. 1981-1992 su yılları ise test amaçlı kullanıldı. Test amaçlı bulunan bu değerler grafikler halinde değerlendirilmeler kısmında çekilmelerin modellenmesiyle beraber sunuldu. Bu işlemlerin yapılabilmesi için öncelikle taban akışı yükselme katsayısının bulunmasına çalışıldı. Bunun içinde taban akışı çekilme katsayısına bağlı bir değer bulmak için  $\beta$  (taban akışı yükselme katsayısı) katsayısının bulunmasına çalışıldı. Öncelikle belirlenen çekilme katsayılarıyla akarsu akışının taban akışına geçtiği noktadan geriye doğru eğri akarsuyun pik yaptığı noktaya kadar uzatıldı. Bu noktadaki eğri ise bir önceki çekilmenin bittiği noktaya kadar belirli bir katsayı ile uzatıldı ve bu işlem yağışların ilk başladığı güne kadar devam ettirildi ve  $\beta$  katsayısı düzenlendi. Toprağın neme doyduğu Aralığın 15' i ile Nisanın 1'i

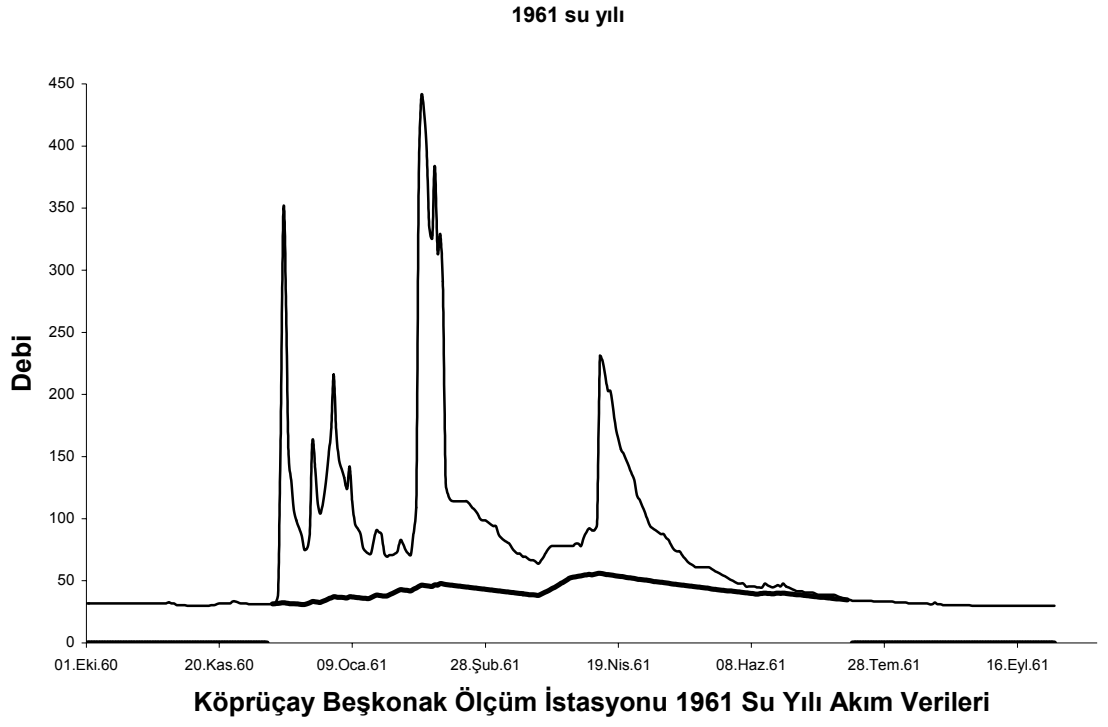
arasında ve yılın geri kalan kısmı için iki tane  $\beta$  katsayısı düzenlendi. Şekil 3.5 ve 3.6 de  $\beta$  katsayısının bulunmasıyla ilgili iki örnek gösterildi.

Çizelge 3.2. Yüzeysel Akış Çekilme Katsayıları

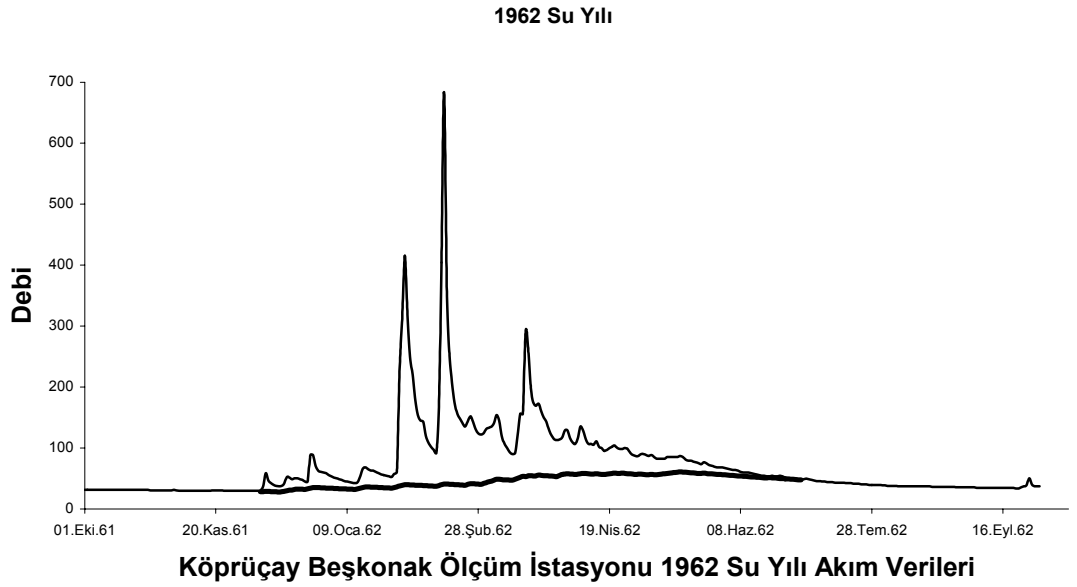
* Y.G.S AY	1 Günlük Yağış	2 Günlük Yağış	3 Günlük Yağış	4 Günlük Yağış	5 Günlük Yağış
<b>OCAK</b>	$\alpha_s = 0,2926Ln(x)$ + 0,0934	$\alpha_s = 0,2706Ln(x)$ + 0,0974	$\alpha_s = 0,2659Ln(x)$ + 0,0815	$\alpha_s = 0,2696Ln(x)$ + 0,052	$\alpha_s = 0,2166Ln(x)$ + 0,0485
<b>ŞUBAT</b>	$\alpha_s = 0,3038Ln(x)$ + 0,0816	$\alpha_s = 0,2919Ln(x)$ + 0,0715	$\alpha_s = 0,2886Ln(x)$ + 0,054	$\alpha_s = 0,2351Ln(x)$ + 0,0658	$\alpha_s = 0,2057Ln(x)$ + 0,043
<b>MART</b>	$\alpha_s = 0,2959Ln(x)$ + 0,0581	$\alpha_s = 0,261Ln(x)$ + 0,0626	$\alpha_s = 0,2455Ln(x)$ + 0,0602	$\alpha_s = 0,219Ln(x)$ + 0,0677	$\alpha_s = 0,1754Ln(x)$ + 0,0667
<b>NİSAN</b>	$\alpha_s = 0,4402Ln(x)$ + 0,0438	$\alpha_s = 0,216Ln(x)$ + 0,0625	$\alpha_s = 0,192Ln(x)$ + 0,0628	$\alpha_s = 0,2026Ln(x)$ + 0,0637	$\alpha_s = 0,182Ln(x)$ + 0,0527
<b>MAYIS</b>	$\alpha_s = 0,5755Ln(x)$ + 0,0324	$\alpha_s = 0,5445Ln(x)$ + 0,0328	$\alpha_s = 0,5246Ln(x)$ + 0,04		
<b>HAZİRAN</b>	$\alpha_s = 0,597Ln(x)$ + 0,0266	$\alpha_s = 0,5945Ln(x)$ + 0,0257	$\alpha_s = 0,5388Ln(x)$ + 0,0309		
<b>TEMMUZ</b>	$\alpha_s = 0,6514Ln(x)$ + 0,0102	$\alpha_s = 0,6505Ln(x)$ + 0,0105	$\alpha_s = 0,6241Ln(x)$ + 0,0009		
<b>AĞUSTOS</b>	$\alpha_s = 0,6406Ln(x)$ + 0,0151	$\alpha_s = 0,6484Ln(x)$ + 0,0159	$\alpha_s = 0,7843Ln(x)$ - 0,0286		
<b>EYLÜL</b>	$\alpha_s = 0,6011Ln(x)$ + 0,0189	$\alpha_s = 0,5341Ln(x)$ + 0,0238	$\alpha_s = 0,446Ln(x)$ + 0,0351	$\alpha_s = 0,2964Ln(x)$ + 0,0328	
<b>EKİM</b>	$\alpha_s = 0,368Ln(x)$ + 0,0554	$\alpha_s = 0,3621Ln(x)$ + 0,0534	$\alpha_s = 0,3074Ln(x)$ + 0,0679	$\alpha_s = 0,3048Ln(x)$ + 0,0468	$\alpha_s = 0,3193Ln(x)$ + 0,031
<b>KASIM</b>	$\alpha_s = 0,3071Ln(x)$ + 0,0725	$\alpha_s = 0,2823Ln(x)$ + 0,075	$\alpha_s = 0,2734Ln(x)$ + 0,0768	$\alpha_s = 0,287Ln(x)$ + 0,0301	$\alpha_s = 0,2955Ln(x)$ + 0,0267
<b>ARALIK</b>	$\alpha_s = 0,2991Ln(x)$ + 0,0846	$\alpha_s = 0,2849Ln(x)$ + 0,0851	$\alpha_s = 0,2769Ln(x)$ + 0,0863	$\alpha_s = 0,2746Ln(x)$ + 0,0583	$\alpha_s = 0,2621Ln(x)$ + 0,0711

**\*YGS= Yağışlı Gün Sayısı**

$$Ln(x) = Ln(Q_{max} / Q^*)$$



Şekil 3.6. 1961 yılı  $\beta$  katsayılarının Bulunmasında Kullanılan Grafik



Şekil 3.7. 1962 yılı  $\beta$  katsayılarının Bulunmasında Kullanılan Grafik

Çizelge 3.3. Taban Akışı Yükselme Katsayıları

	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
$\beta_1$	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2	1,2
$\beta_2$	4,4	5,2	5,4	5,4	5,2	5,2	6	4

	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
$\beta_1$	1,2	1,5	1,4	1,7	1,5	1,5	2	1,9
$\beta_2$	5	6,1	6	6,1	5,4	6	6,5	6,4

	1977	1978	1979	1980	ORTALAMA
$\beta_1$	2	1,8	1,9	2	1,72
$\beta_2$	6,5	6,3	6,4	6,6	6

Bulunan bu katsayıların ortalaması alındığında  $\beta_1 = 1,72$   $\beta_2 = 6$  olarak hesaplandı. Bu katsayılar yardımı ile 1981 – 1992 su yılları arasında taban akışı ayırımı yöntemlerinin uygunluğu dördüncü bölümde gösterildi.

Bulunan bu katsayılar ve taban akışı çekilme katsayıları, akarsu çekilmelerinin modellenmesinde Denklem 3.3'ü kullanırken gerekli olan maksimum taban akışının önceden belirlenmesinde kullanıldı.

## 4. BULGULAR

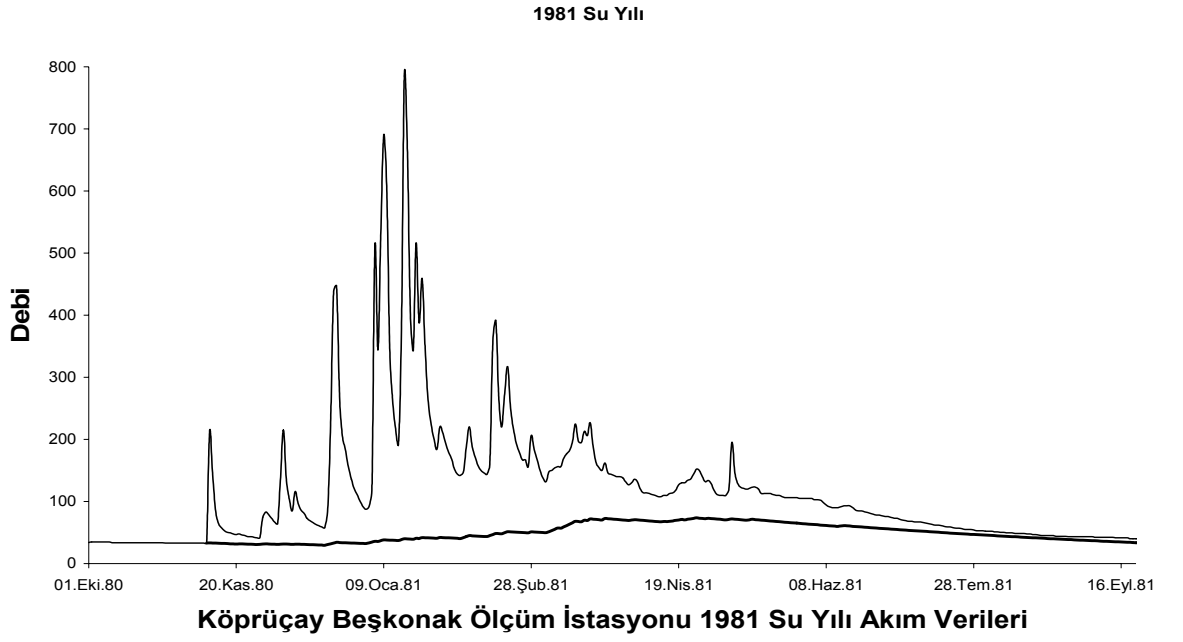
Köprüçay Beşkonak istasyonundan alına veriler ışığında Denklem 3.3 için gerekli olan dört parametrenin (yüzeysel akış çekilme katsayısı, taban akışı çekilme katsayısı, minimum taban akışı ve pik noktanın altında oluşacak maksimum taban akışı) elde edilmesi üçüncü bölümde gösterildi. Bu bölümde, Beşkonak ölçüm istasyonuna ait 1981 -1991 su yılları arasında elde edilmiş verilere Denklem 3.5'in uygulamasıyla Bir önceki bölümde taban akışı yükselmelerinde elde edilen katsayıların doğruluğu gösterildi.

### 4.1. Modellemenin Uygulanması

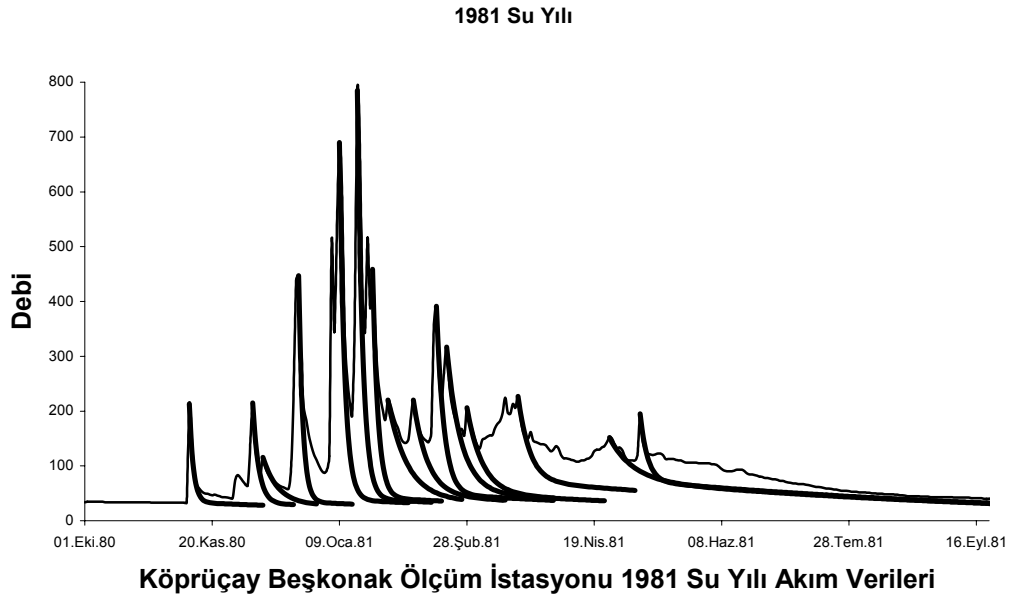
Modelleme adımları

- Birinci adım : Çekilme başlamadan önceki debi, yağış süresi ve yağışlar başlamadan önceki akarsu debisi belirlenip daha önceden oluşturulan tablolardan yararlanılarak akarsu çekilme katsayısı belirlendi.
- İkinci adım : Başlangıçtaki tabanakışı debisi belirlenerek çekilmenin modelleneceği tarihe kadar olan sürede yağışlı dönemler için daha önce belirlenen tabanakışı yükselme katsayısı ile tabanakışı yükseltip yağışsız dönemler için alçalma katsayısı ile düşürülerek o andaki maksimum tabanakışı bulundu.
- Üçüncü adım : Başlangıç debisi maksimum tabanakışı debisi ve daha önceden bulunan minimum tabanakışı modele konularak modelleme çalışması yürütüldü ve bulunan sonuçlar grafikler halinde gösterildi.

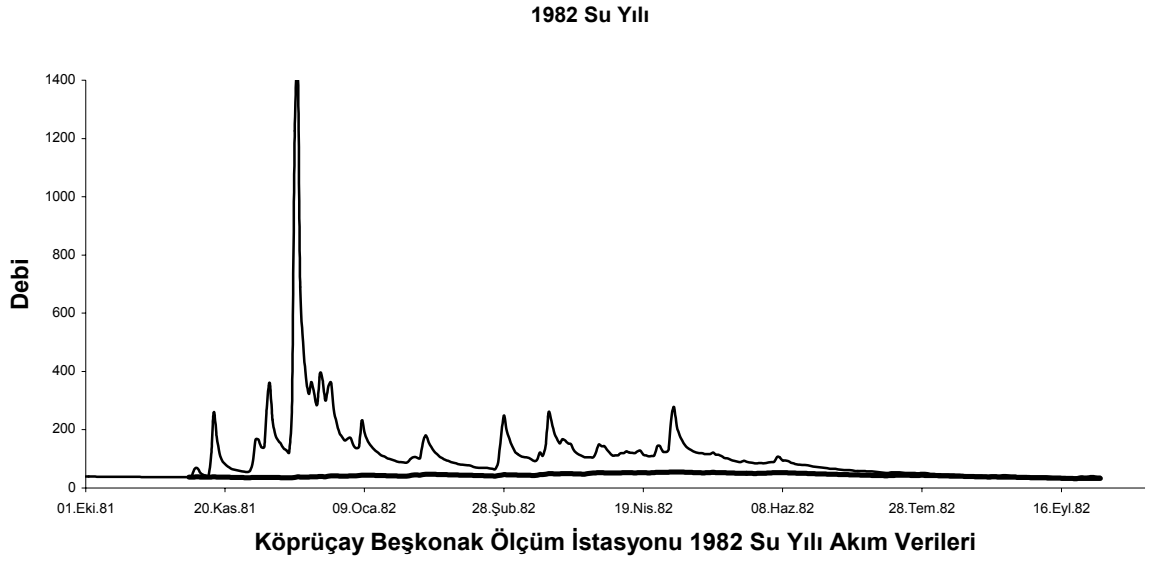




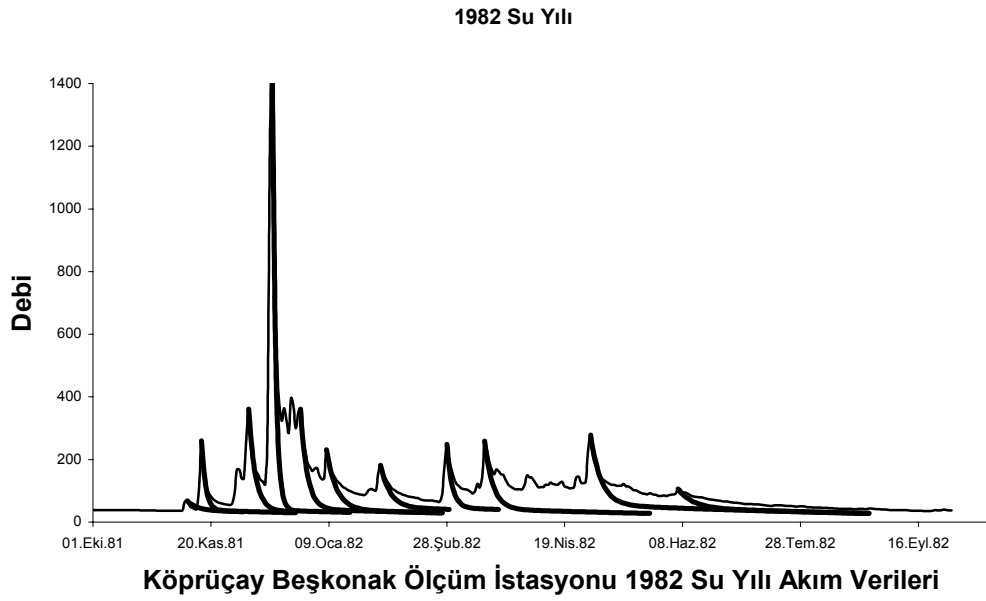
Şekil 4.1. 1981 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



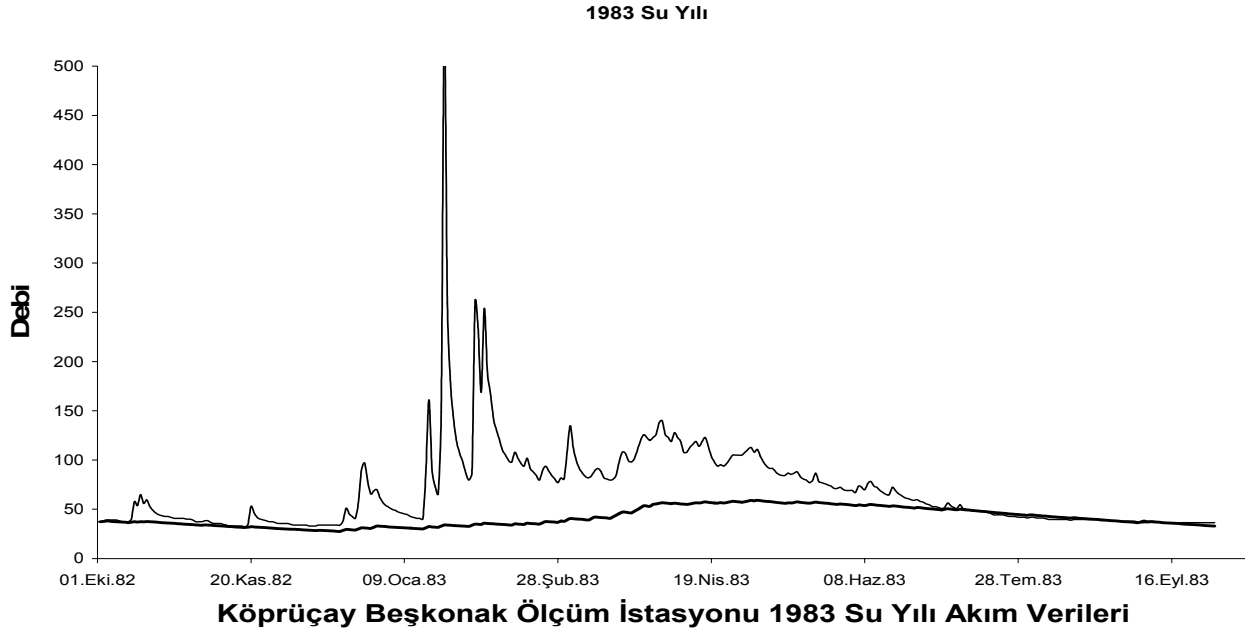
Şekil 4.2. 1981 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



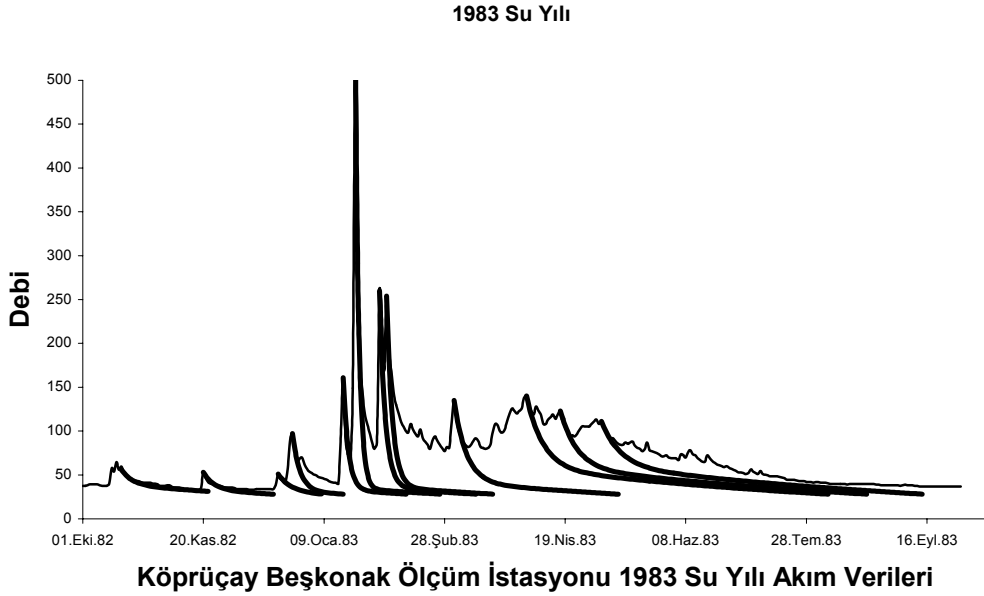
Şekil 4.3. 1982 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



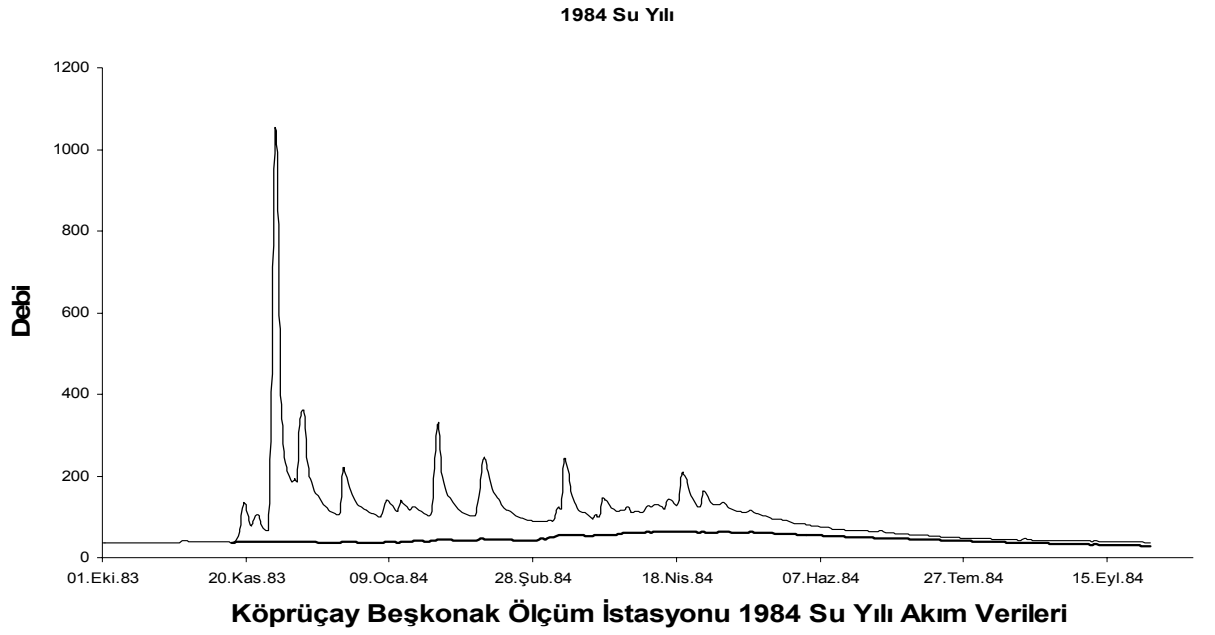
Şekil 4.4. 1982 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



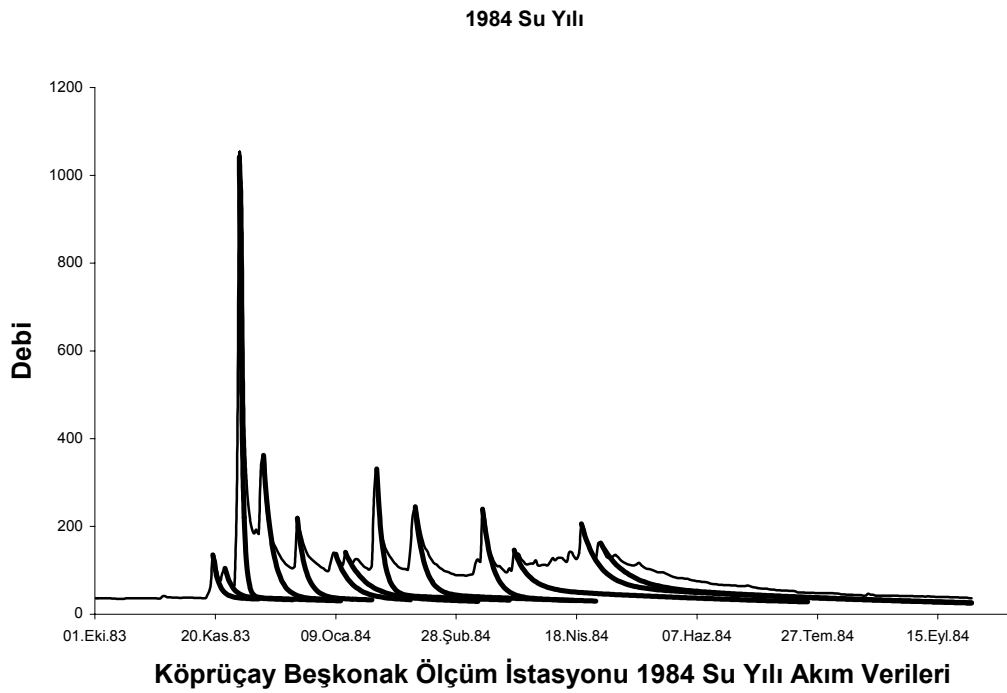
Şekil 4.5. 1983 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



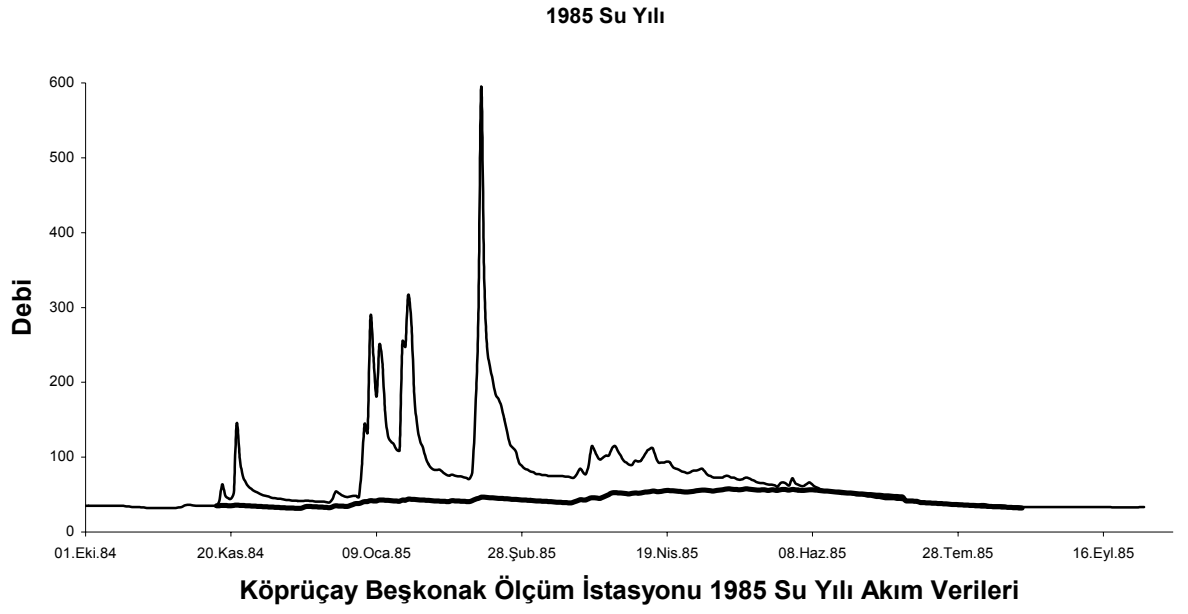
Şekil 4.6. 1983 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



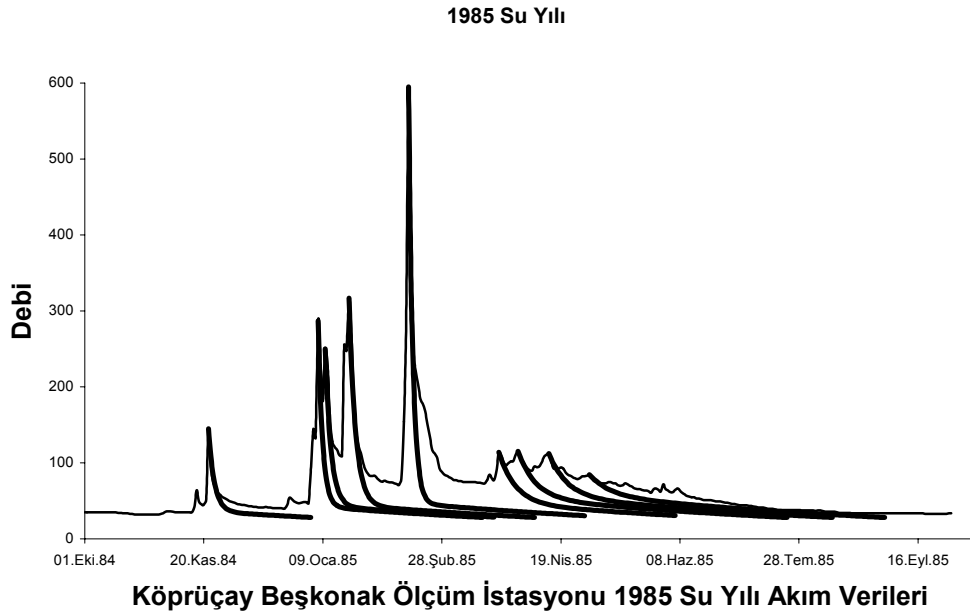
Şekil 4.7. 1984 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



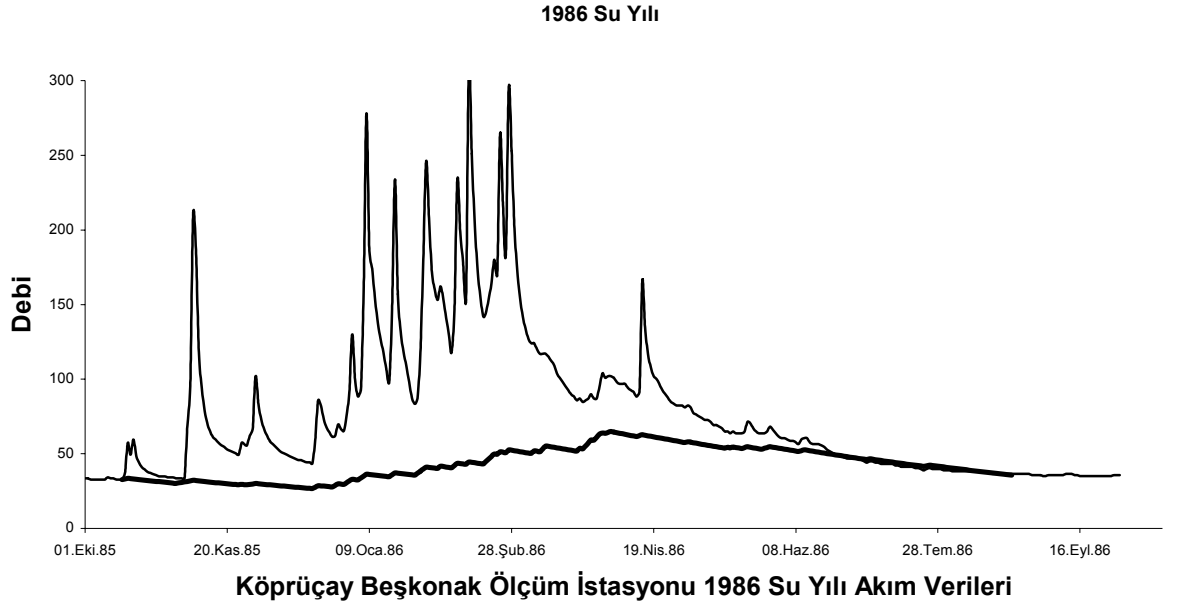
Şekil 4.8. 1984 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



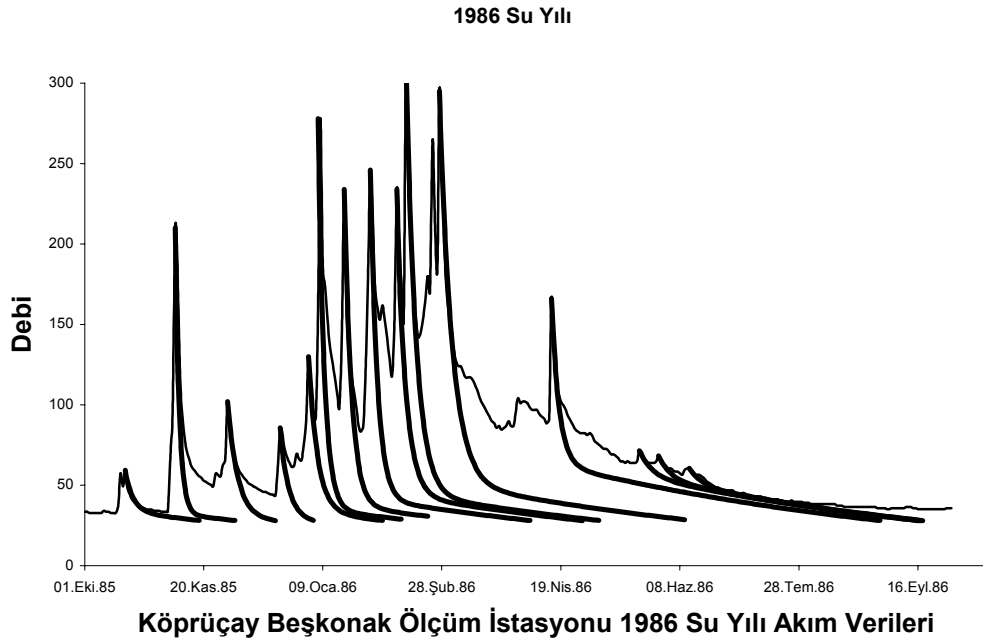
Şekil 4.9. 1985 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



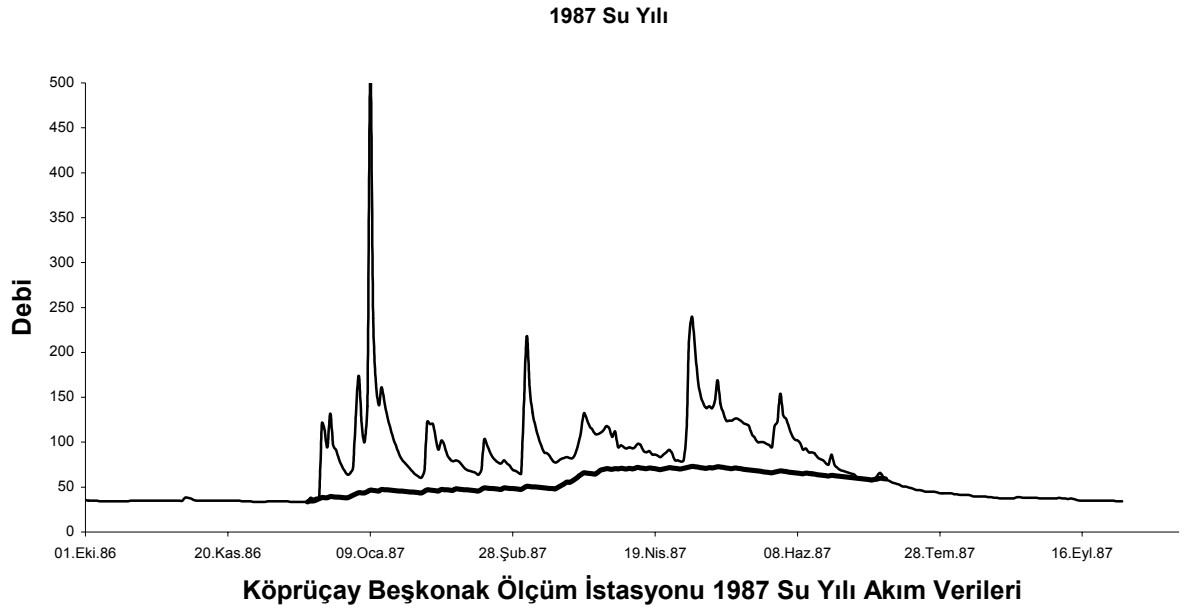
Şekil 4.10. 1985 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



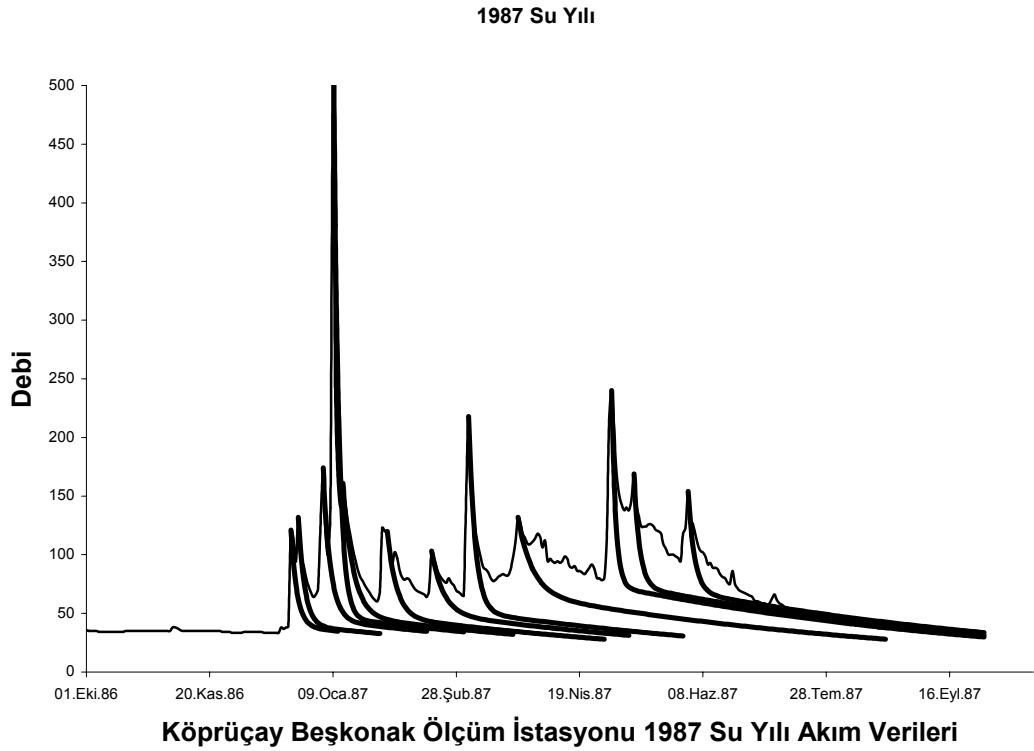
Şekil 4.11. 1986 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



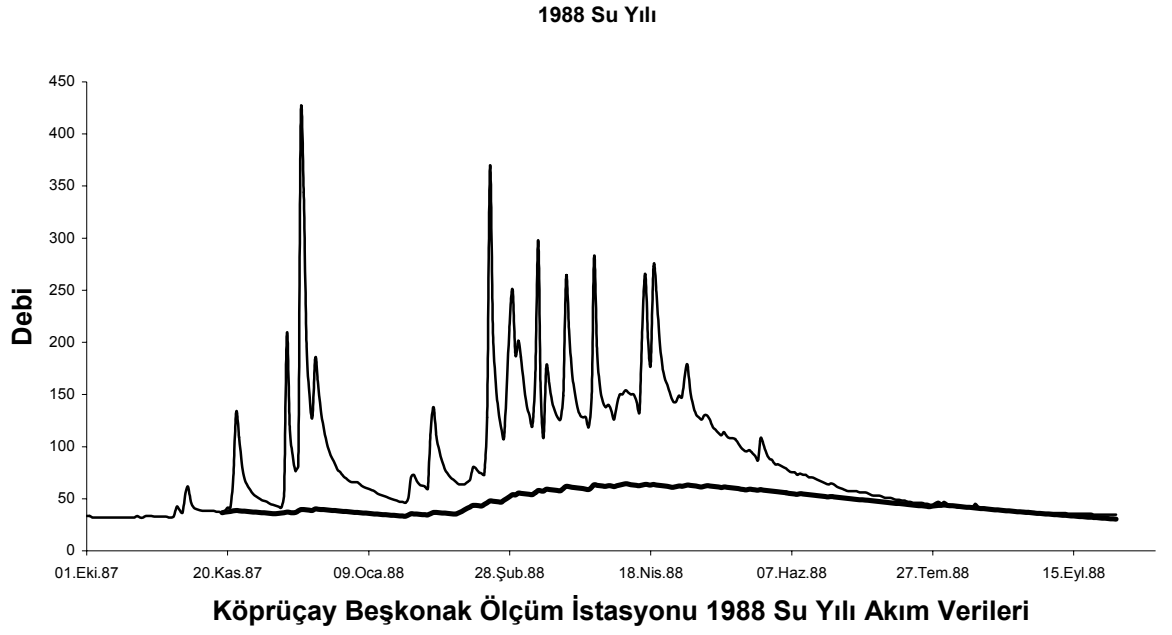
Şekil 4.12. 1986 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



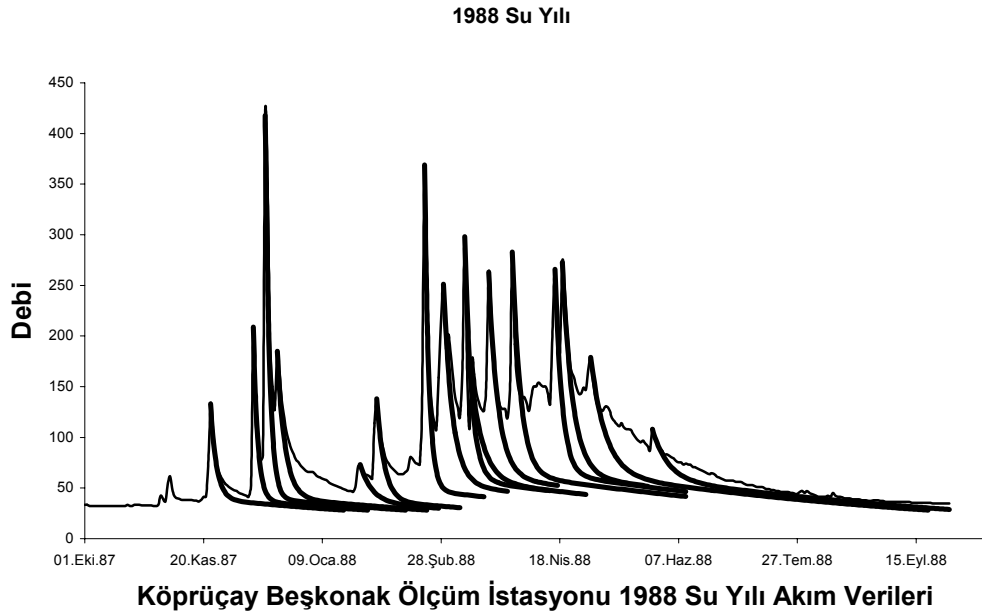
Şekil 4.13. 1987 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



Şekil 4.14. 1987 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri

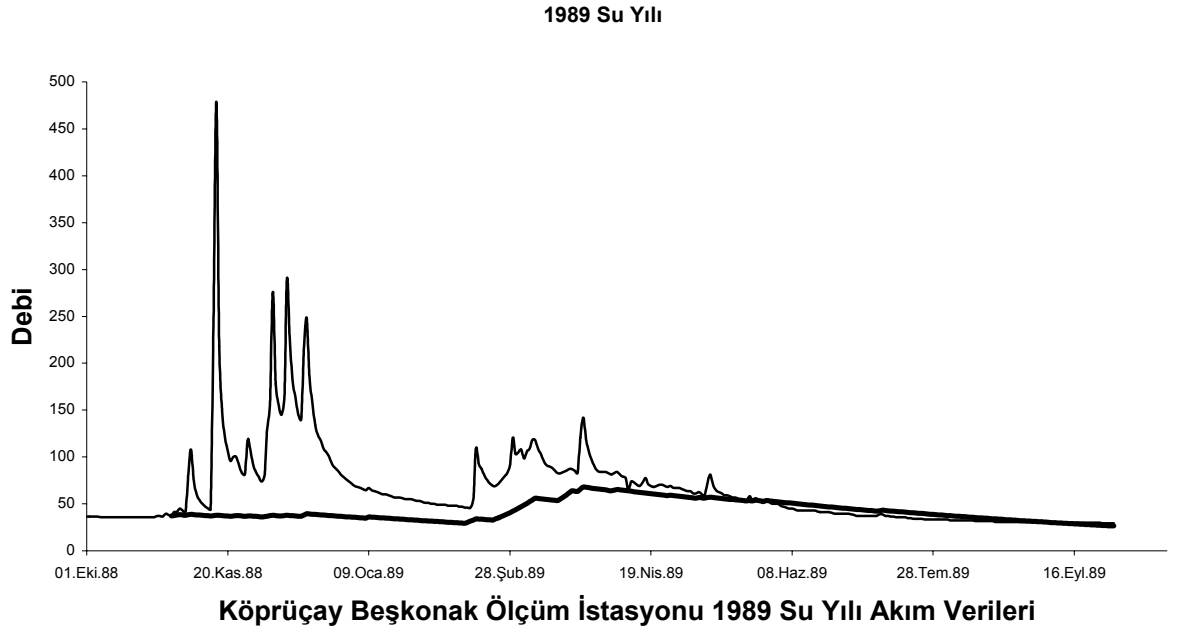


Şekil 4.15. 1988 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri

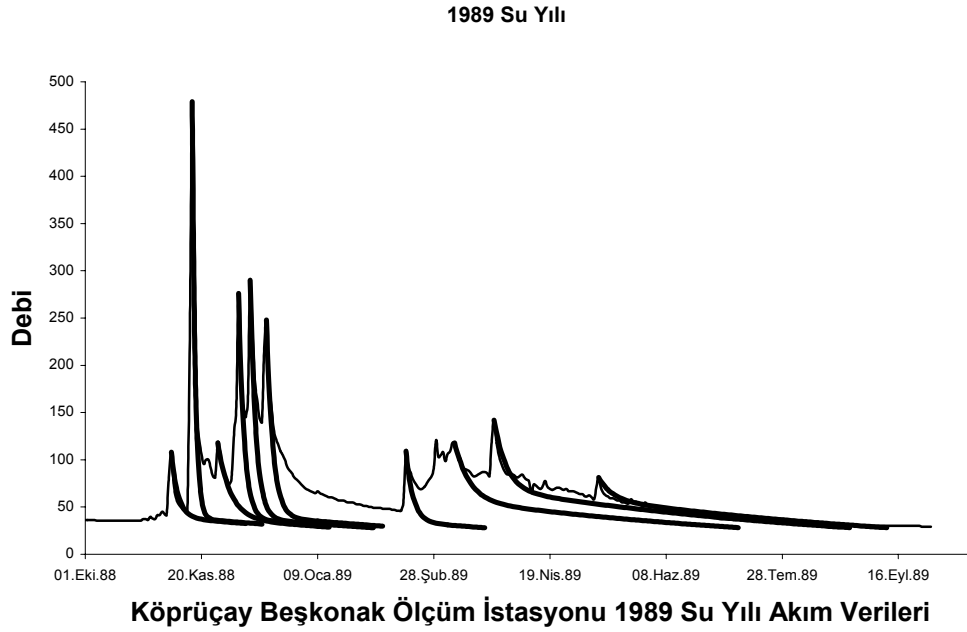


Şekil 4.16. 1988 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri

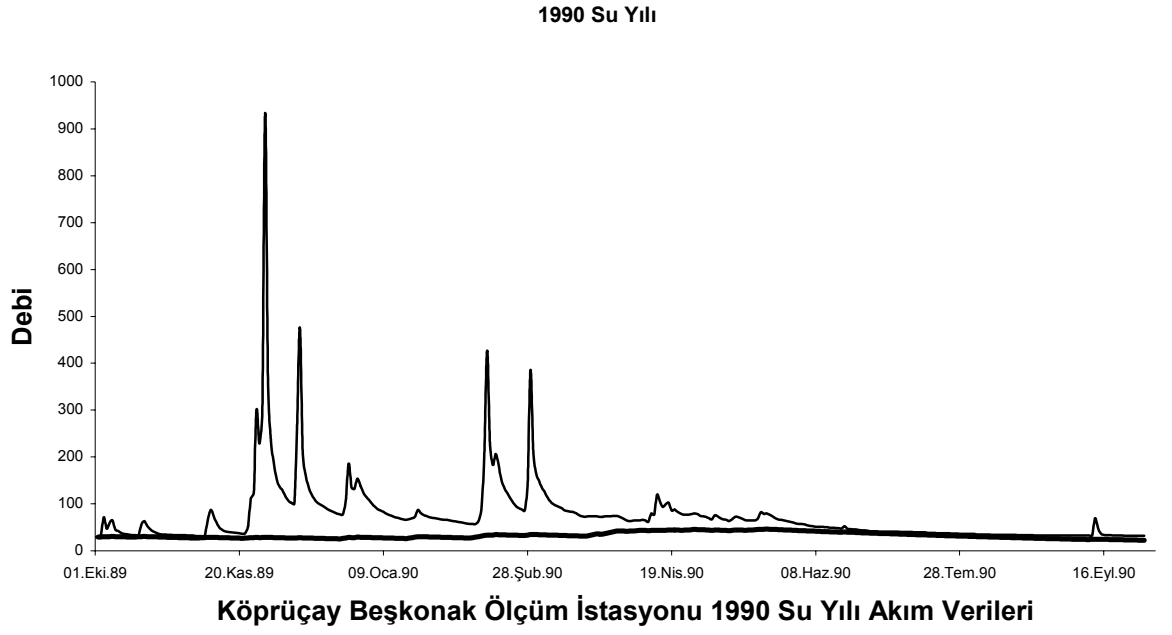




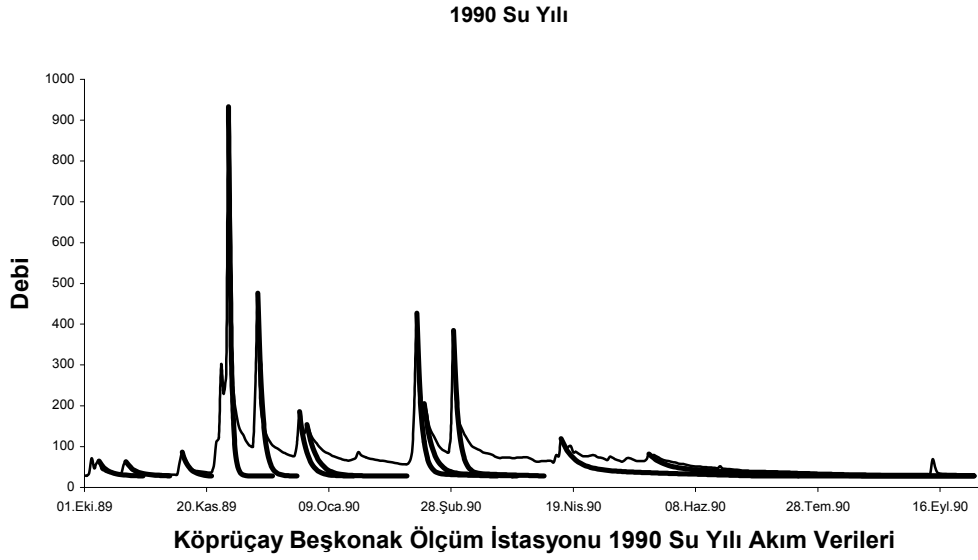
Şekil 4.17. 1989 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



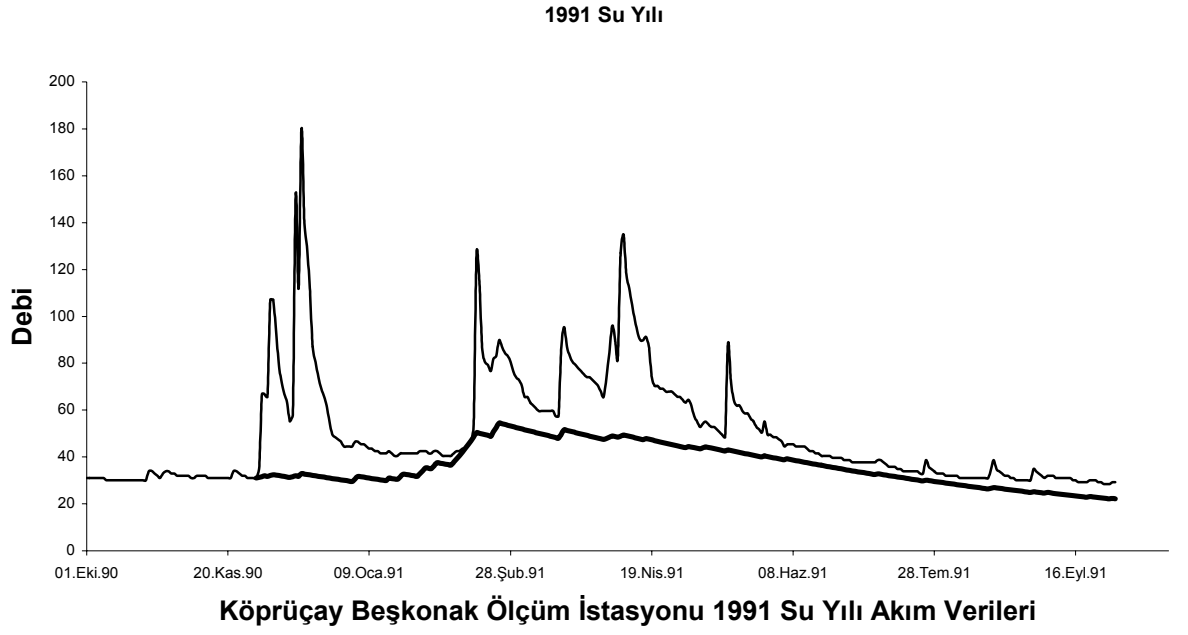
Şekil 4.18. 1989 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



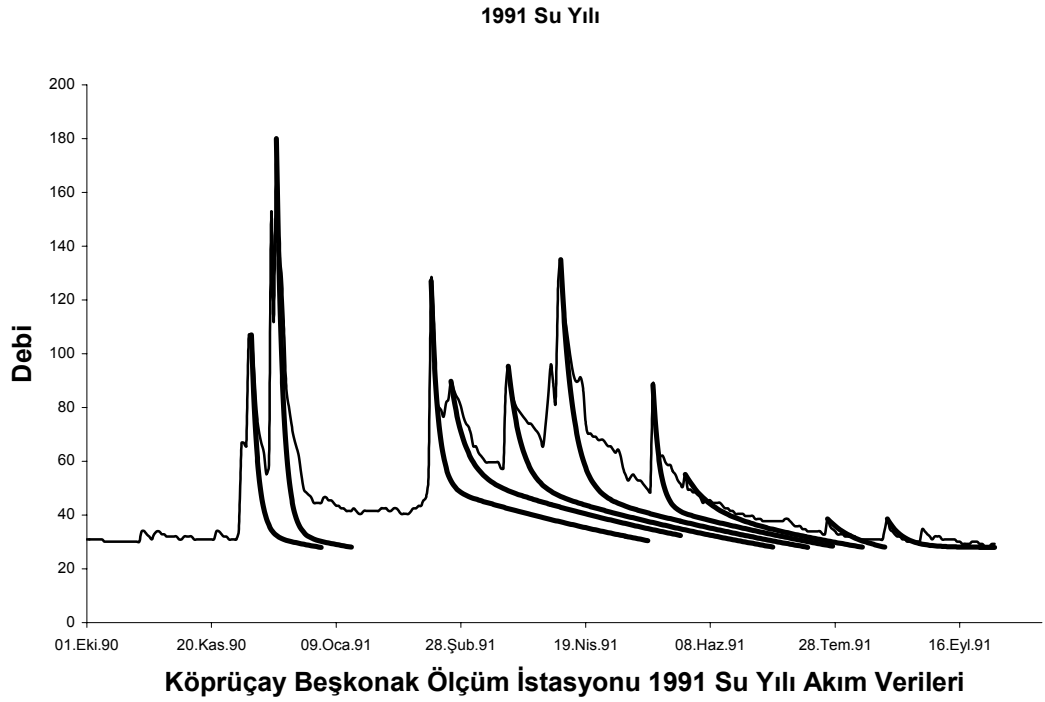
Şekil 4.19. 1990 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



Şekil 4.20. 1990 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri



Şekil 4.21. 1991 Su Yılı Hesaplanan Taban Akışı Değerleri



Şekil 4.22. 1991 Su Yılı Modelleme Sonucu Değerleri

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, akarsu çekilmelerinin önceden tahmin edilebilmesi için yeni bir model geliştirildi. Model, Köprüçay-Beşkonak Akım Gözlem İstasyonundan alınan verilere uygulandı. Yüzeysel akış ve taban akışı çekilme katsayıları, minimum taban akışı ve taban akışının yükselen kısmı için gerekli olan katsayıların elde edilmesi için izlenen yollar belirtildi ve gerçek akarsu hidrografları üzerinde çekilmeler gösterildi. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1- Akarsu çekilmelerinin modellenmesi için yeni bir denklem teklif edilmiş ve bu denklemin Köprüçay – Beşkonak akım gözlem istasyonundan alınan verilere uygulanabileceği görülmüştür.
- 2- Yüzeysel akım çekilme katsayılarının bulunmasında mevsimlerin dolayısıyla ayların ve çekilme başlamadan önceki yağışlı gün sayısının etkili olduğu görülmüştür.
- 3- Taban akışı çekilme katsayısının bulunması için akımın tamamen taban akışından oluştuğu kurak yaz dönemlerinin kullanılması gerektiği düşünülmüştür.
- 4- Minimum taban akışının tespitinde, gözlem istasyonundan elde edilen tüm akım verilerinin en küçüğünün kullanılması gerektiği görülmüştür.
- 5- Akarsu çekilmelerinin önceden tahmin edilebilmesi için gerekli olan taban akışı miktarının çekilme başlamadan belirlenebilmesi için taban akışı yükselme katsayısının bulunması gerektiği ileri sürülmüş ve akarsu akım verileri üzerinde yapılan çalışmalarla doğruluğu gösterilmiştir.
- 6-Taban akışı yükselme katsayılarının mevsimlere göre değiştiği ve yaz ayları için ayrı kış ayları için ayrı katsayıların kullanılması gerektiği düşünülmüştür.

**KAYNAKLAR**

- Aksoy, H., Bayazıt, M. 2001, Probabilistic approach to modelling of recession curves. *Hydrological Sci*, 46(2) April 269-285.
- Anderson, M.G. and Burt, T.P., 1980. Interpretation of recession flow. *J. of Hydrol.*, 46:89-101.
- Arnold, J.G., R.S. Muttiah, R. Srinivasan, and P.M. Allen. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the upper Mississippi basin. *J. of Hydrology* 227(2000):21-40.
- Barnes, B.S., 1939. The structure of discharge – recession curves. *Trans. Am. Geophys. Union*. 20: 721 – 725
- Bates, B.C. and Davies.P.K., 1988. Effect of baseflow separation procedures on surface runoff models. *J. of Hydrol.*,103:309-322.
- Bayazıt, M. Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1991.
- Bingham, R. H. 1986. “Regionalization of low-flow characteristics of Tennessee streams.” U.S. Geological Survey Water Resources Investigations, Rep. 85–4191, U.S. Geological Survey, Reston, USA.
- Birtles, A.B., 1978. Identification and separation of major base flow components from a stream hydrograph. *Water Resour. Res.*, 14(5):791-803.
- Boussinesq, J., 1877. Essai sur la theorie des eaux courantes. Memoires presentes par divers savants a I Academic des Sciences de I Institut National de France, Tome XXIII No 1. (Cited by Hall (1968).)
- Box, G. E. P., and Jenkins, G. M. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco.
- Brutsaert, W. and Nieber, J.L. 1977, “Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau” *Water Resour Res.*, 13(3): 637-643.
- Clausen, B., 1992. Modelling stremflow recession in two Danish streams. *Nord. Hydrol.*, 23(2): 73 – 88.
- Chapman, T. G. 1991. `Comment on ``Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analyses" by R. J. Nathan and T. A. McMahon', *Wat. Resour. Res.*, 27, 1783-1784.
- Chapman, T. G. and Maxwell, A. I. 1996. `Baseflow separation comparison of numerical methods with tracer experiments', in *Hydrol. and Water Resour. Symp.* Institution of Engineers Australia, Hobart. pp. 539-545.

- Çimen, M. Saphioğlu, K., 2004, A procedure For Separation Of Baseflow, Balwois Ohrid, FY Republic of Macedonia 25-29 May
- Demuth, S., 1989. Research basin studies. In: Flow regimes from experimental and network data (FRIEND) Institute of Hydrology. Wallingford, UK.
- Demuth, S. and Hagemann, L., 1993. Case study of regionalising base flow in SW Germany applying a hydrogeological index. In : flow regimes from international experimental and network data (FRIEND), Vol. I: hydrological Studies. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Dickinson, W. T., Holland, M. E., and Smith, G. L. 1967. An experimental rainfall runoff facility, Hydrology Paper 25. Colorado State University, Fort Collins.
- Eckhardt K. 2005, How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydr. Pro. 19,507-515
- Feasibility Report on Beşkonak Hydroelectric Power Development Project, Turkey 1983
- Gottschalk, L. And Perzyna, G., 1993. Low flow distribution along a river. IAHS Publ.213
- Grip, H., 1977 Recession – en tidsinvariant process? Vannet i Norden, 10 (2):50-53
- Hughes A.D. Hannart P. and Walkins D.2003, Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly streamflow data. Ins for Water Research Rhodes University South Africa vol.29 No 1
- James L.D and Thompson, W.O. “Least squares estimation of constants in a linear recession model” Water Resour.Res., 6(4), 1062-1069, 1970.
- Jones, P.N. and McGilchrist, C.A., 1978. Analysis of hydrological recession curves. J.Hydrol., 36:365-374.
- Kelman, J., 1980. A stochastic model for daily streamflow.J.Hydrol., 47 :235-249
- Knisel, W.G., 1963. Baseflow recession analysis for comparison of drainage basin and geology.J.Geophys. Res, 68 :3649-3653
- Linsley, Ray K. 1982 Hydrology for engineers McGraw-Hill International Book London
- Lyne, V., and M. Hollick, 1979. Stochastic time – variable rainfall – runoff modelling, I.E. Aust., Canberra
- Nutbrown, D.A. 1975 “Normal mode analysis of the linear equation of groundwater flow” Water Resour. Res., 11(6), 979-987.
- Nutbrown, D.A. and Downing, R.A., 1976 Normal-mode analysis of structure of baseflow-recession curves. J.Hydrol., 30:327-340

- Otnes, J. 1953, "Uragulerte elvers vassføring i torrvarsperioder" *Nor. Geogr. Tidsskr.*, 14, 210-218.
- Otnes, J., 1978. Torrvaerskurven In: J. Otnes and E. rvetad (editors) *Hydrologi i Praksis*. Ingeniørforlaget, Oslo, pp. 227-233
- Riggs, H.C., 1964. The base-flow recession curve as an indicator of ground water. *Hydrol. Sci. Bull. Journal*, 63 : 352-363
- Sing, K. P. and Stall, J.B., 1971. Derivation of base flow recession curves and parameters. *Water Resour. Res.*, 7(2): 292 – 303
- Sloto, R.A., and Crouse, M.Y., 1996, HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4040.
- Smakhtin, V. U. 2001. "Low-flow hydrology: A review." *J. Hydrol.*, 240~3-4!, 147-186.
- Spolia, S.K. and Chander, S., 1974. Modelling of surface runoff systems by an ARMA model. *J. Hydrol.*, 22:317-332
- Şen, Z., *Su Bilimi ve Yöntemleri*, Su vakfı yayımları İstanbul, 2003
- Tallaksen, L.M., 1989. Analysis of time variability in recession. *IAHS Publ.*, 187 : 85-96
- Tallaksen L. M., 1995 A review of baseflow recession analysis *Journal of Hydrology*, 165 :349 – 370
- Toebes, C. and Strang D.D. 1964, "On recession curves, 1-Recession equations" *J. Hydrol, NZ*, 3(2), 2-15.
- Tschinkel, H.M., 1963. short-term fluctuation in streamflow as related to evaporation and transpiration. *J. Gephys. Res.*, 68(24): 6459-6469
- Vogel, R. M., and C. N. Kroll, 1992, Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics, *Water Resour. Res.*, 28(9), 2451-2458.
- Weisman, R.N., 1977. The effect of evapotranspiration on streamflow recession. *Hydrol. Sci. Bull.*, XXII (3-9): 371-377
- Werner, P. W. and Sundquist, K. J. 1951. 'On the groundwater recession curve for large watersheds, in IASH General Assembly, Brussels, *IAHS Publ.*, 33, 202-212.
- Wittenberg, H., 1999, Baseflow Recession and Recharge as Nonlinear Storage Processes", *Hydrological Processes*, 13, 715-726.

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Kemal SAPLIOĞLU

Doğum Yeri : Kastamonu

Doğum Yılı : 1979

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1992-1995 Kastamonu Abdurrahman Paşa Lisesi

Lisans : 1996-2000 Selçuk üniversitesi Mühendislik Mimarlık  
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

2000-2002 (Şantiye Şefliği) Hasyapı Konya

2002 (Arş.Gör) SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi (Devam  
Ediyor)