

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARAMETRİK HAVZA MODELLEMESİ İLE AKIM TAHMİNİ:
KÖPRÜÇAY NEHRİ HAVZASI

Kemal SAPLIOĞLU

Danışman: Doç. Dr. Mesut ÇİMEN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA -2010

TEZ ONAYI

Kemal SAPLIOĞLU tarafından hazırlanan “**Parametrik Havza Modellemesi ile Akım Tahmini: Köprüçay Nehri Havzası**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Mesut ÇİMEN (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :
Prof. Dr. M. Erol KESKİN (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Mesut ÇİMEN (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Serdal TERZİ (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Doç. Dr. Mustafa TOMBUL (İmza)
Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Özlem TERZİ (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mustafa KUŞCU

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Hidrolojik Sürece Dayalı Modeller.....	6
2.1.1. Düşük akım çekilme modelleri	6
2.1.2. Yağış akış modelleri.....	7
2.1.2.1. Kavramsal modeller	7
2.1.2.2. Kapalı kutu modeller	8
2.2. Veriye Dayalı Modeller.....	9
2.2.1. Yapay sinir ağları modelleri	9
2.2.2. Regresyon modelleri.....	13
2.2.3. Zaman serisi modelleri	13
2.3. Arazi Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kullanılan Yöntemler.....	15
2.3.1. Veri toplama yöntemleri.....	15
2.3.1.1. Yer üzerinde yapılan arazi ölçümleri ile veri toplama	16
2.3.1.2. Uydular ile uzaktan algılama	16
2.3.1.3. Klasik hava fotoğrafları	16
2.3.1.4. Dijital hava fotoğrafları	17
2.3.2. Uzaktan algılama yöntemiyle arazi kullanım çalışmaları	17
2.3.2. 1. Arazi örtüsü sınıflandırmaları	17
2.3.2.2. Kontrollü sınıflandırma	18
2.3.2.3. Kontrolsüz sınıflandırma	18
2.3.3. Arazi karakteristiklerinin belirlenmesi.....	19

2.4. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması	20
2.5. Taban Akışı Ayırması İle İlgili Çalışmalar	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal	26
3.1.1. Köprüçay Nehri havzasının genel özellikleri	26
3.1.2. Yağış parametresi ve istasyonlar	27
3.1.2.1. Havza modellemesinde kullanılan yağış istasyonları	28
3.1.3. Debi ölçüm istasyonları	36
3.1.4. Havza jeolojisi	39
3.1.4.1. Jeolojik devirler	41
3.1.5. Havza planlamasında eğim faktörü	42
3.1.6. Havza planlamasında mevsim faktörü	42
3.2. Yöntem	45
3.2.1. Rasyonel metot	45
3.2.1.1. Akış katsayısı	46
3.2.2. Thiessen çokgeni	47
3.2.3. Sayısal yükseklik modeli	47
3.2.4. Bulanık mantık	51
3.2.4.1. Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri	52
3.2.4.2. Üyelik fonksiyonları	54
3.2.4.3. Bulanıklaştırma	55
3.2.4.4. Durulaştırma	56
3.2.4.5. Bulanık kurallar ve sistemler	59
3.2.4.6. Grafik çıkarım teknikleri	60
3.2.5. Yapay sinir ağları	61
3.2.5.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi	62
3.2.5.2. Beyin sinir hücresi yapısı ile yapay sinir ağları yapısı	62
3.2.5.3. Bir yapay sinir ağı ve yapısı	66
3.2.5.4. Geri yayımlı yapay sinir ağı	68
3.2.5.5. Girdi ve çıktılarının normalize edilmesi ve normalize aralığının belirlenmesi	72
3.2.5.6. En iyi YSA modelinin seçilmesi	72
3.2.5.7. Akım tahmini için hibrit YSA modelleri	73

3.2.6. Ağırlıklı ortalama metodu.....	73
3.2.7. Harmonik ortalama metodu	74
3.2.8. Taban akışı ayırma metodu.....	74
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	76
4.1. Havza Alanı ve Su Toplama Kanallarının Belirlenmesi	77
4.1.1. Hücrelerin oluşturulması ve akış yönlerinin belirlenmesi.....	77
4.1.2. Havza sınırları ve su toplama kanallarının tespiti.....	79
4.2. Bitki Örtüsünün Belirlenmesi.....	80
4.3. Hücre Eğimlerinin Belirlenmesi	82
4.4. Hücre Jeolojisinin Belirlenmesi.....	82
4.5. Akış Katsayısının Belirlenebilmesi İçin Bulanık Mantık Modeli Oluşturulması.....	87
4.6. Akış ve Yağış Ölçüm İstasyonlarının Haritaya İşlenmesi	90
4.7. Yağış Ölçüm İstasyonu Verilerinin Düzenlenmesi ve Thiessen Çokgenleri Yöntemi ile Etki Alanlarının Belirlenmesi.....	90
4.8. Yağışlardan Sonra Meydana Gelen Akımların Belirlenmesi	92
4.9. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması	94
4.9.1. Aksu yağış verilerinin tamamlanması	94
4.9.2. Sütçüler yağış verilerinin tamamlanması	100
4.9.3. Kasımlar yağış verilerinin tamamlanması	105
4.9.4. Serik yağış verilerinin tamamlanması	111
4.9.5. Cevizli yağış verilerinin tamamlanması	117
4.10. Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması.....	119
4.10.1. Bolosan akım verilerinin tamamlanması	120
4.10.2. Kasımlar akım verilerinin tamamlanması.....	122
4.11. Taban Akışının Belirlenmesi	124
4.12. Yüzey Akışı Çekilme Katsayısının Belirlenmesi.....	135
4.13. Nehir Kollarında Modelin Kombinasyonu	135
4.14. Model Uygulaması ve Testi.....	136
5. SONUÇLAR.....	140
6. KAYNAKLAR.....	144
EK.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	182

ÖZET

Doktora Tezi

PARAMETRİK HAVZA MODELLEMESİ İLE AKIM TAHMİNİ: KÖPRÜÇAY NEHRİ HAVZASI

Kemal SAPLIOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mesut ÇİMEN

Su kaynaklarının doğru ve etkin biçimde kullanılabilmesi için gerekli analizlerin güvenilir şekilde yapılabilmesi gerekmektedir. Yapılan bu analizlerin güvenilir olması, çalışmanın yapılacağı alan üzerindeki veri sayısının çokluğu ve doğruluğundan geçmektedir. Fakat sayı olarak fazla ve nitelik olarak doğru veriyi elde etmek hem masraflı ve hem de zaman gerektiren bir olaydır. Bir takım hidrolojik ve hidrolik modellerin üretilmesi ve kullanılması ile bu eksikliğe bir çözüm bulmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada Mütferrik Orta Akdeniz suları içerisinde yer alan Köprüçay Nehri havzasının parametrik olarak modellenmesine çalışılmıştır. Havzanın tamamı 500x500 metre büyüklüğünde hücrelere bölünmüştür. Daha sonra bu hücreler yardımı ile havza sınırları ve su toplama kanalları belirlenmiştir. İşlemler tamamlandıktan sonra her hücreye eğim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü katmanlar halinde işlenmiştir. İşlenen bu özelliklerin yanı sıra mevsimsel etkiler de göz önünde bulundurularak her hücre için mevsime ait akış katsayıları bulanık mantık modeli kullanılarak tespit edilmiştir. Thiessen çokgenleri yardımı ile havzaya etki eden yağış istasyonları ve bunların havzadaki etki alanları bulunmuştur. Daha sonra havzaya etki eden yağış istasyonlarında bazı yıllara ait verilerin olmadığı tespit edilmiş ve bu

verilerin tamamlanabilmesi için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama, çoklu regresyon ve yapay sinir ağırları yöntemlerinden faydalanılarak modeller kurulmuştur. Kurulan bu modeller test edilerek hangi istasyonda hangi modelin kullanılabileceği tespit edilmiş ve bu modellere göre eksik olan yağış verileri tamamlanmıştır.

Bir sonraki aşamada, yağış verileri ve akış katsayıları kullanılarak her bir yağış sonucunda her bir hücrede oluşabilecek akış miktarı tespit edilmiştir. Bu aşamadaki modelin test edilebilmesi için havza üzerinde kurulmuş olan debi ölçüm istasyonlarından faydalanılmaya çalışılmış ancak bu verilerin sadece bir yağış sonucunda değil aynı zamanda önceki günlerde meydana gelen yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinden oluşması ve süreklilik arz eden bir çekilme olayına maruz kalmasından dolayı kıyas yapılamayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle akarsuyun taban akışının ayrılması ile ilgili yeni bir yöntem teklif edilmiş ve eldeki verilerle teklif edilen bu yöntem test edilmiştir. Taban akışının yanı sıra yüzeysel çekilmeler için her aya ait 12 adet çekilme katsayısı eldeki mevcut çekilme verileri ve Bousinesq denklemi yardımı ile tespit edilmiştir. Ayrıca modelde kullanılacak test verileri arttırıp eksik akım verilerinin tamamlanması için YSA kullanılarak bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem eldeki mevcut veriler ile test edilmiştir.

Sonuçta, akış katsayıları ve yağış değerlerinden elde edilen yüzeysel akış, teklif edilen taban akışı ayırma yöntemi kullanılarak belirlenen taban akışı ve yüzeysel çekilme katsayılarının kombine edilmesi ile parametrik havza modellemesi tamamlanmıştır. Sunulan bu model mevcut veriler yardımı ile test edilmiş ve kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın en önemli katkısı, göz önüne alınan akarsu havzasında ölçüm verisi bulunmayan herhangi bir noktada yapılacak olan bir akarsu yapısı ya da su yönetimi ile ilgili bir çalışmada kullanılmak üzere su kaynaklarında çok büyük öneme sahip akış hidrografi değerlerinin elde edilmesi olacaktır.

Anaktar Kelimeler: Köprüçay Nehri, havza modellemesi, akış, yağış, sayısal yükseklik modeli

2010, 183 sayfa

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

FORECASTING OF FLOW BY PARAMETRIC WATERSHED MODELLING: THE KÖPRÜÇAY RIVER BASIN

Kemal SAPLIOĞLU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mesut ÇİMEN

The necessary analyses must be done trustworthily for using water resources accurately and efficiently. Reliability of these analyses depends on the number and accuracy of the data relating to investigated area. But it is too difficult and costly work to obtain various accurate data. A solution method must be developed for this necessity, by obtaining and using hydrological and hydraulic models.

In this study, parametrically modeling of Köprüçay River Basin located in the middle of Mediterranean waters is studied. The entire basin is divided into cells with the size of 500 meters to 500 meters. Then, watershed boundaries and water collection channels are determined with the aid of these cells. After these operations are completed, the cellular information (slope, geological structure and vegetation) is entered in each layer. In addition to these processed features, flow coefficients are determined via fuzzy logic model by taking into account seasonal effects for each cell. Rainfall stations that are affecting on basin and their domains are found with the aid of Thiessen polygons. Then, it is determined that the data relating to some years of rainfall stations that are affecting the basin are not available and so, models are established by using weighted mean, harmonic mean, multiple regression and artificial neural networks for completing these data. After testing these models,

which of these models can be used at which station is determined and missing rainfall data have been completed according to these models.

In the next stage, the amounts of flow that may occur in each cell have been identified with rainfall data and flow coefficients. At this stage, flow measurements stations are used for testing this model, but a comparison can not be made due to these data are comprised of not only a result of rainfall but also surface and base flow that are happened the days before, and it is subjected to continuous recession. Therefore, a new method is proposed for separation of base flow and this new model is verified with available data. In addition to base flow, twelve recession coefficient relating to each month for is determined surface recession by using available recession data and Bousinesq equation. Furthermore, a new model is developed by using neural networks for increasing the numbers of test data that are used in model and completing the missing data, consequently this model is verified with the aid of existing data.

Finally, parametric basin model is completed with by combining surface flow that is obtained from flow coefficient and rainfall values, base flow that is determined by using proposed base flow separating model, and surface recession coefficient. Presented model is tested with existing data and it is validated. The most important contribution of this study is obtaining flow hydrograph, which can be used in a study about river structure that will be built at any point of the river basin with no measurement data or water method.

Key Words: Köprüçay River, basin modeling, runoff, rainfall, digital elevation model

2010, 183 pages

TEŞEKKÜR

Bu doktora tezi konusunu öneren ve çalışmada karşılaştığım zorluklarda bilgi, tecrübesini ve her aşamada desteğini esirgemeyen, değerli Danışman Hocam sayın Doç. Dr. Mesut ÇİMEN'e şükranlarımı sunarım.

Doktora tez çalışmamda önerilerde bulunup ufkumun gelişmesine yardımcı olan sayın Prof. Dr. M. Erol KESKİN'e, jeolojik yapısı ile ilgili bilgisinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Muhittin GÖRMÜŞ'e, yine çalışma alanının haritalanmasında konusunda faydalandığım sayın Yrd. Doç. Dr. Yalçın KALYONCUOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim.

1439-D-06 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na, tezde kullanılan hidrolojik verilerin teminini sağlayan Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'ne, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve manevi katkıda bulunan değerli eşim Öğr. Gör. Dr. Meltem SAPLIOĞLU ile oğlum Arda SAPLIOĞLU'na ve bana destek veren tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kemal SAPLIOĞLU
ISPARTA, 2010

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Bir akarsu hidrografında taban akışının ayrılması	22
Şekil 3. 1. Köprüçay Nehri havzası yer bulduru haritası (EİE, 2006)	27
Şekil 3. 2. Köprüçay Nehri havzası ve çevresindeki meteoroloji ölçüm istasyonları (Google Earth, 2009).....	35
Şekil 3. 3. Köprüçay Nehri üzerindeki akım ölçüm istasyonları ve yerleri (Google Earth 2009)	39
Şekil 3. 4. Köprüçay Nehri havzası jeoloji haritası (MTA,2010).....	40
Şekil 3. 5. Havzanın hücrelere bölünmesine ve yüksekliklerinin (m)bu hücrelere yazılmasına ait bir örnek	49
Şekil 3. 6. Hücresel akış yönlerinin tespit edilmesi.....	50
Şekil 3. 7. Klasik sistem (Şen, 2004)	53
Şekil 3. 8. Bulanık mantığın temel elemanları(Şen, 2004)	53
Şekil 3. 9. Bitişik dikdörtgen gösterim (Şen, 2004).....	55
Şekil 3. 10. Örtüşmeli üçgen gösterimi (Şen, 2004)	55
Şekil 3. 11.İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi (Şen, 2004).....	56
Şekil 3. 12. En büyük üyelik derecesi durulaştırması (Şen, 2004)	57
Şekil 3. 13. Sentroid yöntemi durulaştırması (Şen, 2004)	57
Şekil 3. 14. Örnek bulanık küme	58
Şekil 3. 15. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması.....	58
Şekil 3. 16. En büyük alan merkezi ile durulaştırma (Şen, 2004)	59
Şekil 3. 17. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması (Şen, 2004).....	61
Şekil 3. 18. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması (Şen, 2004).....	61
Şekil 3. 19. Biyolojik bir beyin sinir hücresi (Cedarcrest, 2010)	63
Şekil 3. 20. Yapay sinir ağı yapısı (The Code Project, 2010)	64
Şekil 3. 21. Transfer fonksiyonları	66
Şekil 3. 22. Geri yayılmalı yapay sinir ağının genel yapısı.....	69
Şekil 3. 23. Oluşturulan modelin grafiksel gösterimi	75
Şekil 4. 1. Akış yönlerinin belirlenmesi örneği (37,12-37,16 enlemleri ile 31,2559- 31,3059 boylamları arası)	78

Şekil 4. 2. Havza sınırlarının belirlenmesi örneği (37,07-37,35 enlemleri ile 31,0359-31,1059 boylamları arası)	79
Şekil 4. 3. Su toplama kanallarının belirlenmesi örneği (37,28-37,32 enlemleri ile 31,1359-31,2059 boylamları arası)	80
Şekil 4. 4. Köprüçay Nehri havzası bitki örtüsü durumu	81
Şekil 4. 5. Köprüçay havzasının jeolojik yapısı	84
Şekil 4. 6. Bitki örtüsü girdisi alt kümeleri	87
Şekil 4. 7. Eğim girdisi alt kümeleri	88
Şekil 4. 8. Mevsim girdisi alt kümeleri	88
Şekil 4. 9. Jeolojik yapı girdisi alt kümeleri	89
Şekil 4. 10. Akış katsayısı çıktısı alt kümeleri	89
Şekil 4. 11. Yağış istasyonlarının etki alanları	91
Şekil 4. 12. Aksu yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları	95
Şekil 4. 13. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı	98
Şekil 4. 14. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı	98
Şekil 4. 15. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı	99
Şekil 4. 16. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 5 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı	99
Şekil 4. 17. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları	100
Şekil 4. 18. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı	103
Şekil 4. 19. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı	104
Şekil 4. 20. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı	104
Şekil 4. 21. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 9 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı	105
Şekil 4. 22. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları	106

Şekil 4. 23. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı.....	109
Şekil 4. 24. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı.....	109
Şekil 4. 25. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı.....	110
Şekil 4. 26. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 10 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı	110
Şekil 4. 27. Serik yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları.....	111
Şekil 4. 28. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı	115
Şekil 4. 29. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı.....	115
Şekil 4. 30. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı	116
Şekil 4. 31. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 11 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı	116
Şekil 4. 32. Cevizli yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları.....	117
Şekil 4. 33. Cevizli yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı.....	119
Şekil 4. 34. 1989 akım gözlem yılına ait gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım değerlerinin saçılım diyagramı	122
Şekil 4. 35. 2004 akım gözlem yılına ait gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım değerlerinin saçılım diyagramı	124
Şekil 4. 36. 1980 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri	126
Şekil 4. 37. 1985 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri	126
Şekil 4. 38. 1992 su yılı Kasımlar akım verileri ve taban akışı değerleri	127
Şekil 4. 39. 1995 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri	127
Şekil 4. 40. 1996 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri	128
Şekil 4. 41. 1997 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri	128
Şekil 4. 42. 2001 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	130
Şekil 4. 43. 2002 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	131

Şekil 4. 44. 2003 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	131
Şekil 4. 45. 2004 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	132
Şekil 4. 46. 2005 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	132
Şekil 4. 47. 2006 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	133
Şekil 4. 48. 2001 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	133
Şekil 4. 49. 2002 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri testi.....	134
Şekil 4. 50. 2000 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları..	136
Şekil 4. 51. 1980 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları..	138
Şekil 4. 52. 1981 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları..	138
Şekil 4. 53. 1982 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları..	139
Şekil 4. 54. 1983 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları..	139

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Köprüçay Nehri havzası jeolojik yapısının sınıflandırılması.....	41
Çizelge 3. 2. Jeolojik devirlerin tablosal gösterimi (Tübitak, 2010).	42
Çizelge 3. 3. Kasımlar yağış gözlem istasyonundan alınan verilerin aylık olarak değişimi (mm)	43
Çizelge 3. 4. Bolosan akım gözlem istasyonundan alınan verilerin (aylık ortalama akış) aylık olarak değişimi(m^3/sn).....	44
Çizelge 3. 5. Aylara göre debi/yağış oranı değişimleri.....	44
Çizelge 4. 1 Havza jeolojik yapısının havza oluşumundaki payları.....	83
Çizelge 4. 2 Bulanık mantık modelinde kullanılmak üzere ayrılan zemin sınıfları ve arazide bulunma yüzdeleri.....	86
Çizelge 4. 3 Aksu yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması	97
Çizelge 4. 4 Sütçüler yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması...	103
Çizelge 4. 5 Kasımlar yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması...	108
Çizelge 4. 6 Serik yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması...	114
Çizelge 4. 7 Bolosan akım gözlem istasyonu için oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması.....	121
Çizelge 4. 8 Kasımlar akım gözlem istasyonu için oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması.....	123
Çizelge 4. 9 Taban akışı yükselme ve alçalma katsayıları.....	129
Çizelge 4. 10 Ortalama yüzeysel çekilme katsayıları.....	135
Çizelge 4. 11. Model test sonuçları	137

1.GİRİŞ

Toplumun ekonomik ve sosyal gelişimini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan suyun planlı ve programlı olarak kullanılması, özellikle küresel ısınmanın yaşandığı günümüz dünyasında büyük önem kazanmaya başlamıştır. Yerüstü ve yer altı su kaynakları olarak iki gruba ayırabileceğimiz tatlı su kaynakları zaman ve alan ölçeğinde sınırlı bir niteliğe sahiptir. Bu nedenle, suyun alan ve zaman içerisindeki dağılımının iyi analiz edilmesi, var olan su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi son derece önemlidir. Böylece eldeki mevcut su kaynaklarının değerlendirilip analizlerin yapılarak uygun projelerle en iyi şekilde kullanılması sağlanmış olacaktır.

Dünyamız yaklaşık olarak 1384,12 milyon km³ su ihtiva etmektedir. Bu miktarın %97,39' u yani 1348 milyon km³ lük kısmı denizlerde, 27,82 milyon km³'ü buzullarda, 8,062 milyon km³ lük kısmı yeraltında bulunmaktadır. İnsanoğlunun en çok ve en rahat kullanımına sahip olduğu göller ve akarsular ise 0,0225 milyon km³ su içermektedir. Geri kalan 0,013 milyon km³ lük kısmı da atmosferdeki su buharını oluşturmaktadır. Ülkemizde ise yıllık 105 milyar m³ lik kullanılabilir su potansiyeli olup, bu miktarın sadece 32 milyar m³ lük kısmı verimli olarak kullanılabilmektedir (Kılınç vd., 2003).

Kişi başına düşen su miktarı verilerine bakıldığında dünya ortalamasının yıllık 7348 m³ olduğu görülmektedir. Okyanusya ve Latin Amerika Ülkeleri ise kişi başına düşen su miktarında 36619 m³ ve 23103 m³ lük paylarla su zengini ülkeler sıralamasında başı çekmektedir. Bu ülkeleri sırasıyla Kuzey Afrika (23103 m³), Doğu Avrupa ve Orta Asya (14659 m³), Afrika (7485 m³), Batı Avrupa (5183 m³) ve Asya (3283 m³) ülkeleri takip etmektedir. Dünya çapında ise su bakımından en fakir ülkeler kişi başına 1250 m³ su düşen MENA (Orta Doğu) bölgesindeki ülkelerdir. Türkiye'de ise bu rakam yılda 1620 m³ olduğu görülmektedir. Bu rakamlar ise Türkiye'nin aslında sanıldığı gibi su zengini bir ülke olmadığını, aksine kullanılabilir kaynak bakımından su fakiri olmaya aday bir ülke olduğunun göstergesidir(Kılınç vd., 2003).

Su kaynakları ile ilgili analizlerin doğru bir biçimde yapılabilmesi için su kaynaklarının değerlendirme safhasında doğru ve uzun vadeli ölçümlerin elde edilmesi son derece önemlidir. Gelişmiş ülkelerde bu ölçümler çok sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesine rağmen ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerle az gelişmiş ülkelerde doğru ve uzun süreli veri elde edilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda eldeki güvenilir verilere dayanarak doğruluğundan şüphe edilen veya uzun süreli ölçümü bulunmayan noktalardaki hidrolojik verilerin, mevcut ya da yeni geliştirilecek metotlarla iyileştirilmesi veya elde edilmesi gerekebilmektedir. Ayrıca havzalar üzerinde yapılacak modelleme çalışmaları ile de havzanın bütünü için en iyi su kullanımını sağlayacak çalışmalar yapılabilir.

Su fakiri olmayan fakat kişi başına düşen yaklaşık yıllık 1620 m³ suyun düştüğü ülkemiz gelecekte bulunduğu kuşak itibari ile küresel ısınmadan en çok etkilenecek ülkelerin başında gelmesi ve hızlı nüfus artışı göstermesi sebebi ile su fakiri ülkeler arasına girmeye adaydır. Su kaynakları potansiyelimizin ortaya konulabilmesi için bu kaynaklar üzerine gözlemlerin yapılarak değerlendirilmesi ve en iyi fayda için projelendirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Su yönetiminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için, özellikle sulama, su temini, taşımacılık, enerji üretimi gibi pek çok konuda en büyük faydalardan birine sahip olan akarsular ve bu akarsulara ait havzalar üzerindeki çalışmalar ile yine bu akarsulara ait akım tahmini metotları önem kazanmaktadır. Bu noktada havza ve havza planlaması gibi terimlerin doğru algılanması, uygun çözümlerin oluşturulabilmesi için önemli ölçüde gereklidir.

Havza veya nehir havzası; yüzey ve yer altı sularını içeren ve tüm yüzey sularının derele ve nehirler aracılığı ile taşınarak tek bir nehir ağzı, delta veya haliçten denize ulaştığı kara parçasıdır. Bazı durumlarda ise yüzeysel sular çıkışı olmayan göl veya doğal çukurlara da boşalabilmektedir. Bu tip havzalar kapalı havza olarak adlandırılmaktadırlar. Kısaca havza, akışını bir yüzeysel su yolu üzerinde alınan bir çıkış noktasına gönderen yüzey olarak tanımlanır. Bu şekilde tanımlanan akarsu havzasına, üzerine düşen yağışı çıkış noktasındaki akış haline dönüştüren bir sistem

gözüyle bakılabilir. Bir havzayı komşu havzalardan ayıran su ayırım çizgisinin topografik ayırım çizgisileriyle çakıştığı, yani çıkış noktasından başlayarak arazideki en yüksek noktalardan geçtiği kabul edilebilir (Bayazıt, 1995).

Havzalar enerji, içme suyu, tarımsal ve sanayi su ihtiyaçlarının karşılanması gibi pek çok suya dayalı problemin çözümünde önceliğe sahip olgulardır. Ancak bu ihtiyaçların karşılanması her zaman doğal yollarla olmamakta, insan müdahalesi gerektirebilmektedir. Ayrıca havzanın jeolojik, topografik ve buna benzer koşullarından dolayı oluşabilecek taşkın gibi olumsuz etkilerden korunabilmesi için de yine insan müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeplerden dolayı havza sınırları içerisinde, baraj, su iletim ve dağıtım sistemleri, nehir kıyısı seddeleri ve su arıtma yapıları gibi yapıların yapılması gerekebilmektedir. Sermayeye yönelik ve fiziksel olan bu yapılar üzerine yapılan çalışmalar su kaynakların geliştirme çalışmaları olarak tanımlanmaktadır. Çevre ve sağlık ihtiyacı gibi pek çok ihtiyacın karşılanması için yapılan çalışmalara ise su kaynakları yönetimi çalışmaları denilmektedir. Su kaynakları yönetimi ve geliştirme çalışmalarının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için de havzaların iyi irdelenmesi ve planlanması gerekmektedir. Bu nedenle, yapılacak çalışmalar için havza yönetimi kavramının önemi büyüktür.

Havza yönetim kavramı, özellikle son yüzyıl içerisinde sanayi devrimindeki yeniliklere ve hızlı nüfus artışına paralel olarak gelişmiştir. Havza yönetim anlayışı gelişmeden önce, havza üzerinde sadece belirli bir bölgenin su ve sulama ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan dağınık su yapılarından oluşan sistemler mevcuttu. Ancak bu gelişmiş su kullanımı ile havzanın toplam su potansiyelinden doğru şekilde faydalanmak mümkün olmamaktaydı. Günümüzde de pek çok havzada yeterli planlama çalışması yapılmadığı için tam performansta verim alınamamaktadır. Nehirlerin menba kısmından gelişmiş güzel alınan sular, rastgele açılan su kuyuları gibi nedenler, havzadaki akarsudan alınacak verimin düşmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, yanlış sulama ve yanlış su kullanımı politikaları ile arazi üzerinde tuzlanma meydana gelebilecek ve bu nedenle de tarımcılık sektörü de zarar görebilecektir. Bu sebeple dünya çapında havza yönetimi konusunda bir

mutabakat sağlanmış ve 1956 yılında Birleşmiş Milletler (BM) havza planlamasına resmi destek vermiştir. Ayrıca aynı dönemde BM sekreteri, ekonomik kalkınmada en gerekli unsurlardan birinin nehir havzası yönetimi olduğunu belirtmiştir (Ludwik, 1978).

Ülkemizde ise su kaynaklarının geliştirilmesi ile ilgili ilk önemli teşkilat 1929 yılında Bayındırlık Bakanlığına (Nafia Vekaleti) bağlı Sular Umum Müdürlüğü adı altında Atatürk'ün talimatı ile kurulmuştur. Bu teşkilat üzerinden, 1950 li yıllardan önce tek amaçlı münferit ihtiyaçları karşılamak üzere planlamalar yapılır iken 1954 yılında Devlet Su İşleri Umum Müdürlüğü Teşkilat ve Vazifeleri hakkında kanunun yürürlüğüne girmesi ile tam kapsamlı bir havza yönetim anlayışına geçilmiştir (Bilen, 2009).

Bu çalışmada ise Müteferrik Orta Akdeniz Suları içerisinde yer alan Köprüçay Nehri ve bu nehrin havzasına yönelik parametrik havza modellemesi yapılmaya çalışılmıştır.

Tezin ilk bölümünde su kaynaklarının önemi, kullanım şekilleri ve en iyi kullanım için gerekli olan havza planlaması hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca dünyada ve ülkemizde havza yönetimi kavramlarının çıkış noktaları hakkında da genel bilgi vermeye çalışılmıştır.

İkinci bölümde dünyada ve ülkemizde havza planlaması ile ilgili yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların içerikleri hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışma alanı olarak seçilen Köprüçay Nehri ve havzası hakkında genel bilgi verilmiş, oluşturulan havza planlamasında kullanılan materyaller incelenmiştir. Bu bölümün ikinci kısmında model oluşturulurken kullanılan yöntemler ve modeli oluşturmada kullanılan parametreler ile bu parametrelerin elde edilmesi için kullanılan metotlar hakkında bilgi vermeye çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde, oluşturulan modelin işlem adımları sırasıyla anlatılmıştır. Dördüncü bölümün ikinci kısmı olan bulgular kısmında ise model sonucu elde edilen akım değerleri havza üzerinde mevcut bulunan akım gözlem istasyonlarından alınan ölçülmüş veriler ile karşılaştırılması yapılmış, modelin doğruluğu araştırılmıştır.

Son bölümde ise model ve modelden elde edilen sonuçlar tartışılarak, modelin yeterliliği irdelenmiştir. Gelecekte bu modele benzer modellerin diğer havzalar üzerinde kullanılıp kullanılamayacağı tartışılıp modelin sağladığı katma değerlerin neler olduğu üzerinde belirtilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Havza planlaması ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu akarsu akımının tahmin edilmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Akarsu akımlarının tahmini üzerine yapılan çalışmalar ise hidrolojik sürece ve veriye dayalı çalışmalar olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

2.1. Hidrolojik Sürece Dayalı Modeller

Akarsu akımı üzerine yapılan sürece dayalı modeller düşük akım modelleri ve yağış - akış modelleri olarak iki alt başlık altında incelenmektedir. Akarsudaki akım miktarı, yağış akış modellerinde, yağışın olduğu zaman dilimleri ile belirlenirken, düşük akım çekilmesi modellerinde yağışın olmadığı, akarsuyun yeraltındaki kaynaklara doğru yada yer altı suyunun akarsuya doğru akışa geçtiği kurak dönemlerde, çekilme katsayıları kullanılarak belirlenmektedir.

2.1.1. Düşük akım çekilme modelleri

Bu çalışmalar, akarsu akımının yağan yağmurlar tarafından beslenmediği kurak dönemlerde akarsuda meydana gelecek akımların tahmin edilebilmesi için geliştirilen çalışmalardır. Bu konu ile ilgili ilk çalışma 1877 yılında Bousinesq'nin süreklilik denklemini kullanarak oluşturduğu matematiksel modele 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), yaptığı çalışmada akarsudaki debinin iki bileşenden oluştuğunu ve bu iki bileşenin de ayrı ayrı çekilmesinin elde edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar ise bu iki çalışmanın üzerine inşa edilmiş matematiksel modelleme çalışmalarıdır.

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

2.1.2. Yağış akış modelleri

Yağış akış modelleri bazı fizikselliğe veya deneyselliğe dayalı denklemler yardımı ile oluşturulan yöntemler olarak tanımlanabilir. Yağış akış modelleri iki ana alt modelin kombinasyonu ile oluşturulabilmektedir. Bunlar yağış akış dönüşümünün belirlenmesi ve akım toplama kanallarında meydana gelen akımın düzenlenmesi ile oluşturulan modellerdir.

Yağış akış modelleri, orta ve geniş alanlı ve uzun süreli kullanım alanına sahip olsalar da genel olarak kısa süreli ve gerçek zamanlı akım tahmininde geniş bir kullanıma sahiptirler. Örneğin 1973 yılında Pitman tarafından geliştirilen ve çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan Pitman modeli, Güney Afrika'da aylık akım tahmini için kullanılmıştır (Hughes, 2004).

En yaygın olarak kullanılan yağış akış modellerini arasında parametrik modeller ve kapalı kutu modelleri mevcuttur.

2.1.2.1. Kavramsal modeller

Parametrik modeller genellikle yağın yağışın akışa geçiş sürecinde sızma, buharlaşma ve terleme, yer altı akışı, eğim, bitki örtüsü, havza jeolojisi ve diğer başka parametrelerin kombine edilmesi ile oluşturulan modellerdir. Bu modellerin en büyük dezavantajı her bir parametrenin tespitinin oldukça zor olması ve bu parametrelerin etkisinin zaman ve uzayla sürekli olarak değişiyor olmasıdır. Bu

nedenle bu modeller oluşturulurken genellikle kabuller ve bazı basitleştirmeler yapılmaktadır. Modellerden doğru sonucun alınabilmesi için sürekli olarak deneme yanılma yapılması gerekmektedir. Ayrıca bir havza için kurulan bir modelin diğer bir havza için kullanılabilme olasılığı oldukça düşüktür.

2.1.2.2. Kapalı kutu modeller

Bu modellerde, havzanın bir alt sistemi veya bütünü için davranışı ayrıntılı olarak incelenmeyip, matematiksel olarak bir davranış fonksiyonları takımı ile temsili esastır. Havzaya yağışı akışa dönüştüren kapalı bir kutu olarak bakılır. Sistemin davranış fonksiyonu havzada ölçülen yağış ve akış değerlerine dayanarak belirlenir (Türker, 2003).

Davranış fonksiyonu bir kere belirlenmiş olan bir sistemin her hangi bir girdi döneminde ürettiği çıktıların belirlenmesi kolay bir iş haline gelir. Kapalı kutu yaklaşımında, sistem girdisinin yerel dağılımı genellikle dikkate alınmaz. Yani, girdinin üniform dağılmış ve tek noktada gözlenebilen bir değişken olduğu kabul edilir (Güldal, 1997).

Bu modeller parametrik modellere göre daha basittirler, ancak diğer modellere göre hata payları oldukça yüksektir. Kapalı kutu modelleri lineer ve nonlineer olmak üzere sınıflara ayrılırlar. Nonlineerliği çok belirgin olmayan sistemlerin lineer modellerle temsili yeterli sayılabilecek yaklaşıklıkta sonuçlar verdiği için pratik olarak kabul görmüş bir uygulamadır. Örneğin, havza yüzeyaltı sistemini temsil eden, artık yağış ile yüzeysel akış arasındaki ilişkiyi belirleyen birim hidrograf lineer bir kapalı kutu modelidir. Bütün olarak ele alındığında ise havza davranışının nonlineerliği göz ardı edilemeyeceğinden nonlineer modellerin kullanılması gerekir(Türker, 2003).

2.2. Veriye Dayalı Modeller

2.2.1. Yapay sinir ağıları modelleri

Veriye dayalı yöntemler içerisinde, özellikle son 15 yılda oldukça popüler hale gelmiş olan yapay sinir ağıları (YSA) ile yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar doğrusal olmayan problem çözümleri için çok uygun çalışmalardır. Bu yöntemin hidrolojide kullanıldığı konularda pek çok çalışma literatürde mevcuttur. İklim değişikliği senaryoları (Frakes and Yu, 1999), akarsu hidroğrafının eldesi (Ahmad and Simonovic, 2005; Jain and Srinivasulu, 2006), havza akışının tahmini (Lischeid and Uhlenbrook, 2003; Wu et al., 2005), yağışın ve alansal yağışın tahmini (Toth et al., 2000; Burian and Durrans, 2002), buharlaşma tahmini (Bruton et al., 2000; Keskin ve Terzi, 2006; Kişi, 2006), sediment tahmini (Li and Gu, 2003; Agarwal et al., 2005; Sarangi et al., 2005; Cıgızoglu ve Kişi, 2006; Raghuwanshi et al., 2006), su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi (Newham et al., 2003), yüzey altına sızma ve zemin nemi tahmini (Yang et al., 1997; Anctil et al., 2004; Sy, 2006) gibi çalışmalarda ve pek çok yüksek lisans ve doktora tezlerinde (Markus, 1997; Wang, 2006) YSA modelleme tekniği kullanılmıştır.

Akarsu akımlarının tahmini üzerinde YSA ile yapılmış pek çok çalışma literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalar, genellikle, a) veri gruplarının b) gizli tabaka(lar)daki neronların c) ileri/geri besleme durumlarının d) transfer fonksiyonların e) girdi değişkenlerinin modele etkisini incelemektedir. Literatürde akım tahminine yönelik yapılmış ve göze çarpan çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Hsu et al. (1995a) çeşitli hidrolojik işlemlerin karakteristiklerini fiziksel denklemler kullanarak tanımlamanın güç olduğu problemlerde, YSA modellerinin faydalı ve etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, üç tabakalı ileri yayılmalı YSA modellerin yapısının ve parametrelerinin belirlenmesi için en küçük kareler Simplex metodunu kullanmışlar ve havzaların lineer olmayan davranışını simule etmek için böyle modellerin potansiyelini göstermişlerdir. Bir YSA modelinin orta ölçekteki bir havzanın yağış-akış bağıntısının lineer dış kaynak girdili otoregressif (ARMAX) model ile kavramsal SAC-SMA modelinden daha iyi bir gösterimi olduğunu

belirtmişler ve YSA modelinin diğer modellere göre alternatif olabileceğini ifade etmişlerdir.

Dawson ve Wilby (1999), çok tabakalı algılayıcı (multi layer perceptron, MLP) ile radyal tabanlı fonksiyon ağı (radial basis function network, RBF), YSA modelleri ile birlikte çoklu lineer regresyon modeli ve sıfır mertebe tahmin modelinin kıyaslamasını, İngiltere'deki Mole nehri için 15 dakikalık yağış-akış verisini kullanarak yapmışlardır. Çok tabakalı nöron ağı modelinin diğer modellere göre daha kullanışlı olduğunu belirtmişler ve radyal tabanlı fonksiyon ağı modelinin de diğer iki modele göre daha iyi olduğuna vurgu yapmışlardır.

Maier ve Dandy (2000) su kaynakları değişkenlerinin öngörüsü ve tahmini için YSA'nın büyük bir hızla geliştiğini belirtmişlerdir. Bu gibi modellerin oluşturulmasında performans kriteri seçiminin, mevcut verinin bölünmesi kapsayan ön işlemlerin, uygun model girdilerinin, ağ yapısının belirlenmesinin ve bağlantılar arası ağırlıklar (eğitimdeki) ile model geçerliliğinin belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla, su kaynakları değişkenleri ile ilgili yapılmış 43 adet makaleyi incelemişler ve bu makalelerin 2 si hariç tamamının ileri beslemeli ağları kullanmış olduklarını belirtmişlerdir. Bu ağların da büyük çoğunluğunun geriye yayılma algoritmasını kullandığını gözlemlemişlerdir. Mevcut verinin en iyi değere bölünmesi, verilerin ön işlemi ve model girdilerinin uygun seçimi ile ilgili konuların ise nadiren karşılaşıldığını vurgulamışlardır. Bununla birlikte, uygun bir durum kriteri seçimi ve ağ geometrisi ile içsel ağ parametrelerin optimizasyonu işleminin genellikle ya kötü bir şekilde tanımlandığını ya da yetersiz olarak ortaya konduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, yukarıda sayılan faktörlerin hepsinin farklı modeller arasında anlamlı bir sonuca ulaşmak için, yetersiz ve en iyi olmayan bir model performansı sergileyebileceğine işaret etmişlerdir.

Sudheer et al. (2002), yağış-akış modeline dayanan YSA'da ağ yağısı dizaynı için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım, havza için işlemi daha iyi gösteren birim girdi vektörünün belirlenmesinde veri serisinin karşı- (cross-), oto- (auto-) ve kısmi-oto- (partial-auto-) korelasyonu gibi istatistiksel özelliklerini ve eğitim için

standart bir algoritmayı kullanmaktadır. Metodolojik veriler kullanılarak Hindistan'daki bir nehir havzası verisi için kullanılmıştır. Sonuçlar oldukça başarılı bulunmuş ve bir YSA modelinde gerekli olan hesaplama zamanını ve çabayı azalttığı görülmüştür

Anctil et al. (2003) tarafından oluşturulan üç parçalı kavramsal yağış-akış modellerinden (GR4J, IHAC ve TOPMO) bir-gün sonraki ve üç-gün sonraki akım tahminlerinin çıktısının güncellendirilmesi için YSA modeli ile test edilmişlerdir. YSA dan elde edilen sonuçların, bir parametrelili güncelleştirme şeması ve basit güncelleştirme şemasına göre üstün bulunduğu göstermişlerdir. Daha sonra YSA ile diğer üç parçalı modeller birleştirmişler ve elde edilen sonuçlara bakıldığında YSA modeli tek başına birleştirilmiş modele göre daha üstün olduğunu bulmuşlardır.

Bowden et al. (2005) YSA'nın kullanımının su kaynakları konularında artmakta olduğunu, fakat uygun model girdilerinin oldukça az dikkate alındığını belirtmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada YSA modeline girdinin belirlenmesi için iki yöntem kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bunlardan birincisi, girdi ve çıktı parametrelerinin arasındaki bağımlılığı karakterize etmek için ortak bilgi kriterinin bir ölçüsünü kullanan modelden bağımsız yaklaşımdır. İkincisi ise, bağımsız girdileri elde etmek ve girdi uzayının boyutunu azaltmak için kullanılan özgün organizasyon haritalarıdır (SOM). Bu çalışmada her iki girdi belirleme tekniğini test etmiş ve uygulamışlardır.

Cıgızoğlu (2005), su kaynakları çalışmalarında kullanılan YSA uygulamalarında ileri beslemeli geriye yayılım (FFBP) metodunun diğerlerine göre daha çok kullanıldığını belirterek, kesikli (intermittent) nehir akımı tahmininde genelleştirilmiş regresyon sinir ağının (GRNN) FFBP'ye göre daha üstün olduğunu belirtmiştir. GRNN simülasyonlarının lokal minimum değerlere yol açmadığını ifade etmiştir.

Cıgızoğlu ve Kişi (2005), YSA ile akım tahmin performansının veri uzunluğuna bağlı olabileceğini göz önüne almışlar ve verilerin YSA ile eğitim aşamasında k-bölüm parçalanması (k-fold parttioning) olarak adlandırılan istatistiksel bir metodu

incelemişlerdir. Metodun ileri beslemeli yayılma algoritması için faydalı olacağını bulmuşlardır. Bu faydanın verinin tamamı yerine bir kısmının ele alınmasıyla ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Ayrıca Levenberg-Marquardt, birleşmiş eğim (conjugate gradient) ve eğim azalması (gradient descent) gibi üç farklı geri yayılma algoritması arasında tahmin performansı ve yakınsama hızı kıyaslaması sonucunda Levenberg-Marquardt tekniğinin üstün olduğunu ifade etmişlerdir.

Kumar et al. (2005), sigmoid transfer fonksiyonlu çoklu tabaka neron ağı (MLP) üzerindeki çalışmaların bazı sınırlamalara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, radyal tabanlı fonksiyonun (RBF) MLP den daha üstün olduğu yolunda bir inanın olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenlerle, çalışmada MLP ve RBF ye dayalı YSA modellerinin performansı Hindistan'daki iki nehir akımında değerlendirilmiştir. Ağ tipi seçiminin, model tahmini doğruluğunda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Dolayısıyla, her iki modelinde bazı sınırlamalara sahip olduğu belirtilmiş ve MLP nin en iyi gizli noktalarının sayısını sabitlemek için uzun bir deneme-yanılma yönteminin gerektirdiğini, RBF nin ise ağ yapısının uygun eğitim algoritması kullanılarak sabitlendiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, bunlar arasında bir üstünlüğün belirlenmesinin zor olduğunu vurgulamışlardır.

Panagoulia (2006), Yunanistandaki dağlık bir havzada çeşitli iklim rejimlerinde düşük ve yüksek akımları simule etmek, üç tabakalı ileri yayılmalı YSA modelinin güvenilirliğini araştırmak için, lineer en küçük kareler ve simplex optimizasyonunun birleştirilmesiyle oluşmuş bir algoritma kullanmıştır. Bu YSA modeli üç farklı iklim tipi için kalibre edilerek test edilmiştir. Tam bir periyot için YSA modelinin hem düşük ve hem de yüksek akımlar için kavramsal zemin nem hesap (SMA) modelinden daha iyi sonuçlar elde ettiğini belirtmişlerdir.

Tayfur ve Singh (2006), olaya dayalı yağış-akışın tahmini için YSA ve bulanık mantık yöntemlerini kullanmışlar ve kinematik dalga yaklaşımına göre bu modelleri test etmişlerdir. Bu amaçla sigmoid fonksiyonunu ve geriye yayılımlı algoritmayı kullanarak üç tabakalı ileri beslemeli YSA modelini geliştirmişlerdir. Bulanık mantık modelinde ise girdi ve çıktı değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonlarını

kullanmışlardır. Üç modelde de deneysel veriler için uygun olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmanın, küçük havzalar için uygulanan tahmin modellerinden, YSA ve bulanık mantık modellerinin akım hidrografi eldesinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Nayak et al. (2007), YSA ve bulanık mantık tekniklerini potansiyel yağış-akış ilişkisini modellemek için kullanmışlardır. Bu amaçla, YSA mimarisi içerisine bulanık mantık yorumlama sistemini ilave etmişlerdir. Çalışmada, üyelik fonksiyonlarının parametreleri lineer olmayan bir optimizasyon yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Teklif ettikleri modeli ABD'deki iki havzaya uygulamışlardır. Varyansın %92'den yüksek çıktığı modelin kullanımının diğer havzalarda da uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Modelin YSA'ya dayalı bulanık yorumlama sistemine (ANFIS) göre daha iyi ve alternatif bir model olduğunu ifade etmişlerdir.

2.2.2. Regresyon modelleri

Veriye dayalı modeller arasında yer alan regresyon modelleri, akarsu akımlarının tahmini için çok sıklıkla kullanılan metotlar arasında yer almaktadır. Avantajı çok basit ve kullanışlı olmasıdır. İlk regresyon modelleri arasında Linsley et al. (1958) tarafından yapılan grafiksel teknik verilebilir. Daha sonraki yıllarda Zuzel et al. (1975) tarafından geliştirmiş çoklu regresyon modeli ve Smith'in (1991) teklif ettiği parametrik olmayan regresyon modelini bu konuyla ilgili yapılmış belli başlı çalışmalar arasında sayılabilir.

2.2.3. Zaman serisi modelleri

Veriye dayalı modeller içerisinde bir başka önemli yer tutan çalışma ise zaman serisi modelleridir. Bu modeller arasında en çok kullanılanlar ARMA, AR, ARIMA, PARMA ve SARIMA modelleri sayılabilir. Mevsimsel olmayan seriler için ARMA, mevsimsel modeller için ARIMA ve SARIMA ve periyodik ARMA modeli olarak ta PARMA kullanılmaktadır. Bu üç tip modelin kullanılması literatürde çok geniş şekilde yer almıştır (McKerchar and Delleur, 1974; Thompson et al, 1985).

Bu modellerden en çok kullanılanı istatistik bir yöntem olarak ARMA modelidir(Üstün, 2008). Bu modeller oluşturulurken verilerde periyodiklik saptanırsa düşük dereceli periyodik ARMA modelleri, hidrolojik zaman serilerini modellemede kullanılabilir (Tao and Delleur, 1976). ARMA modelinde yüksek dereceden periyodiklik Rasmussen et.al. (1996) tarafından incelenmiştir. Rezervuar işletmesi için günlük akış tahmin modelleri Hsu et.al. (1995 b) tarafından çalışmıştır. Çalışmada kullanılan modelde yağış tahminleri ve ilk koşullardan yola çıkarak dolaysız akış, taban akışı ve buharlaşma tariflenerek akış tahminlerine geçilmiştir. Model parametreleri Gauss-Newton algoritmasına göre belirlenmiştir. Model performansı beş değişik hata ölçüm yöntemi ile test edilmiştir. Sonuçlar, yağış tahminlerinin % 60'ı aşan doğrulukla yapıldığı takdirde akış model hatasının % 30'un altında kaldığını göstermiştir. Bu sonuç günlük rezervuar operasyonlarında yeterli bir yaklaşıklık olarak kabul edilebilmektedir.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda akış modellemelerinde nonlinear dinamik model kullanılmıştır (Islam and Sivakumar, 2002). Yapılan bu çalışmada Danimarka'daki Lindenberg havzasındaki 1 Ocak 1975 ile 31 Aralık 1993 arasında 15 yıllık günlük akış verisi değişik teknikleri kullanarak çalışmışlardır. Öncelikle akış davranışı hakkında ön bilgi edinmek için otokorelasyon fonksiyonu ve Fourier üs spektrumu kullanmışlardır. Daha sonra korelasyon integral analizi, yanlış en yakın komşu algoritması ve nonlinear tahmin metodu ile daha kapsamlı inceleme yapmışlardır. Bütün bu metotlar faz-uzay düşüncesinden hareket etmektedir. Bu, serilerin dinamiğinin belirlenmesi için tek değişkenli akış serilerinin çok değişkenli faz-uzay olarak incelenmesidir. Sonuç olarak korelasyon katsayısı 0,99 ve verimlilik katsayısı 0,98 elde etmişlerdir.

Bu çalışmalara eş zamanlı olarak yağış-akış modellemelerinde transfer fonksiyonu kullanılarak da çalışmalar yapılmıştır (Camarasa and Tilford, 2002). Yapılan bu çalışmada yağış-akış transfer fonksiyonun İspanya'daki mevsimlik akışlara uygulaması yapılmıştır. Akış simülasyonları iki küçük havza olan Carraixet ve Poyo havzalarında denenmiştir. Birbirine çok yakın havzalar olmalarına rağmen jeolojik özellikleri farklılıklar göstermektedir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda akış

simülasyonlarının yağışın havza tepkisinde baskın olduğunu göstermiştir. Ayrıca modelin ölçüm tertibatı olmayan diğer istasyonlara da uygulanabilmesi için çalışma yapılmıştır. Bu uygulama ile ölçüm yapılan havzanın yağışa çabuk tepki gösteren bir havza olması durumunda iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

2.3. Arazi Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kullanılan Yöntemler

Günümüzde bilgisayar destekli veri analizi ve görselleştirme araçları, su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve yönetimi çalışmalarında önemli rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda yapılan dünya çapındaki çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yaygın olarak kullanılmaktadır (Girgin vd., 2004).

Harita üzerinden incelenen bölgeye ait çok sayıda bilgi günümüz teknolojileri ile artık daha kolay bulunabilmektedir. Eş yükselti eğrileri, eğimler, su toplama çizgileri, havza alanı ve bitki örtüsü gibi pek çok kritik bilgi uzaktan algılama yöntemleriyle araziye gitmeden tespit edilebilmektedir. Bu metotlar sayesinde hidroloji içerisinde büyük öneme sahip havza modellemesi için gerekli olan hayati bilgiler kolaylıkla elde edilebilmektedir.

2.3.1. Veri toplama yöntemleri

Bir bölgedeki üzerinde çalışma yapılacak konunun doğruluğundan emin olmak ve aynı zamanda hızlı karar verebilmek için o bölgeye ait topografya, bitki örtüsü, yükseklik ve eğim gibi pek çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin toplanması için çeşitli yöntemler mevcuttur (Alparslan vd. 2004). Bu yöntemleri sıralamak gerekirse:

- Yer üzerinde yapılan arazi ölçümleri ile veri toplama
- Uydu ile uzaktan algılama
- Klasik hava fotoğrafı
- Dijital hava fotoğrafı

2.3.1.1. Yer üzerinde yapılan arazi ölçümleri ile veri toplama

Jeodezik yöntemler ve aletlerden faydalanarak yapılan doğrultu ve uzunluk ölçmeleri esasına göre yapılır. Bu yöntemle son derece hassas veri toplanmaktadır. Ancak bu yöntemde ölçüm alanının büyük ve toplanması gereken verinin çok olduğu durumlarda çok fazla zaman ve emek harcanması gerekmektedir. Bazı durumlarda sadece veri toplama işlemi aylar hatta yıllar alabilmektedir. Bu yöntemin büyük arazilerde ve havzalarda kullanılabilmesi için son derece büyük bir ekibe ve çok fazla ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Yöntemin bu yanları dezavantajı olarak değerlendirilebilir. Bu yüzden yöntemin kullanılması fazla yaygın değildir. Şayet çalışılacak bölge dar ve elde edilmesi gereken veri miktarı az ise bu durumda en sağlıklı yöntem olarak göze çarpmaktadır.

2.3.1.2. Uydular ile uzaktan algılama

Özellikle düzenli aralıklarla çok fazla verinin elde edilmesi gerektiği durumlarda son derece gerekli bir veri toplama sistemidir. Uydular aracılığı ile alınan görüntülerden araziye ilişkin çok değişik bilgilere sahip olunabilmekte ve bu verilerin elde edilmesi de son derece hızlı geçekleşebilmektedir. Ancak bu görüntülerin uydu sadece bu bölgeden geçerken alınabilmesi ve de havanın o anki koşullarının uygun olması gerekliliği bu yöntemin dezavantajı olarak değerlendirilebilir. Buna ek olarak bazen ufak bir alanın bile, uydunun belirli çekim aralıklarına sahip olması nedeniyle bir paftadan daha fazla pafta görüntüsü alınarak birleştirilmesi gerekliliği yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir. Ayrıca uydu görüntüsünden alınacak görüntünün çözünürlüğü de çalışmayı yapacak olan kişinin ihtiyaçları doğrultusunda olması gerekmektedir. Bazı durumlarda alınan fotoğraflardan istenen ayrıntılar elde edilememektedir.

2.3.1.3. Klasik hava fotoğrafları

Klasik hava fotoğrafları ile istenilen zamanda ve istenilen yerde özel uçaklar yardımıyla fotoğraf filmleri kullanılarak elde edilen görüntülerdir. Verilerin

tekrardan sayısallaştırılması aşamasındaki zaman ve emek kaybı ve çok sayıda bant film kullanılarak bu filmlerin birleştirilmesi bu yöntemi zorlaştıran etmenlerdendir.

2.3.1.4. Dijital hava fotoğrafları

Dijital ortamda renkli ve kızıl ötesi hava fotoğrafları uzaktan algılama teknolojisine yeni bir boyut katmıştır. Bu sistemler çok hafif olup balonlar ve uçaklara kolayca monte edilebilmektedir. Havada iken anlık görüntülerin bilgisayar ortamında görülebilmesi de diğer bir avantajdır. Ayrıca çekilen fotoğrafın sayısal olması ayrıyeten ayrıca sayısallaştırma yapmak için zaman gerektirmemesi de diğer bir avantajdır. Direkt olarak bilgisayarda görüntülenebilmesi açısından çok fazla kapasitede fotoğraf çekebilme imkanı sayesinde de önemli bir avantaj sağlamaktadır. Maliyetinin de diğer yöntemlere göre ucuz oluşu tercih edilmesindeki başka bir etmendir.

2.3.2. Uzaktan algılama yöntemiyle arazi kullanım çalışmaları

Uzaktan algılamayla elde edilmiş bilgiler yeryüzündeki pek çok bilgiyi içinde barındırır. Bu bilgiler yeryüzünden yayılan elektromanyetik dalgaların uydular aracılığı ile toplanmasıyla elde edilir. Her bir hatta o bantın hassasiyetinin gösterildiği özelliklere ait yansıma değerleri bulunur. Birden fazla bant bir araya gelip bir görüntü oluşturabileceği gibi tek bir bantta bir görüntü oluşturabilir (Sabins, 2000).

2.3.2. 1. Arazi örtüsü sınıflandırmaları

Uydu verilerinin içerdiği veriler ham haldedir ve karmaşık görünen bu verileri bilgiye dönüştürmek için çeşitli istatistiksel analizler ve istatistiksel yorumlama teknikleri kullanmak gereklidir. Verileri bilgiye dönüştürmek için kullanılan en yaygın yöntem görüntü sınıflandırmalarıdır. Görüntü sınıflandırma, bir görüntü veri setinden anlamlı sayısal konu haritaları üretme işlemidir. Sınıflandırma sonucu elde edilen görüntü tematik harita olarak adlandırılmaktadır. Sınıflandırma içinse yaygın olarak, kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma adı altında iki metot kullanılmaktadır (Çelik vd., 2004).

2.3.2.2. Kontrollü sınıflandırma

Sınıf aynı türe ait görüntü elemanları yada belli biyofiziksel özelliklerle tanımlanan arazi ve alan türü olarak tanımlanmaktadır. Sınıflandırma için bilgi sınıfları ve spektral sınıflar arasındaki farkın bilinmesi gerekmektedir. Bilgi sınıfları arazinin kullanıcı tarafından belli kriterlere göre ayrılmasıyla oluşturulan anlamlı ve belli tanımları olan sınıflardır. Tematik sınıf olarakta adlandırılan bilgi sınıfları; tarım alanı, yerleşim alanı ve orman alanı gibi sınıflardır. Spektral sınıflar ise uydu görüntülerinin çeşitli bantlarında kaydedilen elektromanyetik enerjinin benzer özelliklerine göre gruplanması ile elde edilen sınıflardır. Bir spektral sınıfın kullanıcı tarafından belirlenen bilgi sınıfıyla her zaman eşdeğerde olması beklenemez. Ancak bazen bir bilgi sınıfıyla spektral sınıfın eş tutulabileceği durumlar söz konusu olabilir (Erdas Field Guide, 2003).

Kontrollü sınıflandırma analizcinin kontrolünde yapılan bir çalışmadır. Bu uygulamada analizci alanı sınıflandırırken kendi inisiyatifine ve kullanacağı bilgilere göre sınıflandırma yapabilmektedir. Poligonal bir alan belirleyerek veya bir cisim işaretlenip piksel karşılaştırması ile benzer cisimlerin yakalanarak arazi üzerinde bir sınıflandırmaya gidilebilmektedir. Kontrollü sınıflandırmada ilk yapılacak iş kaç sınıfa ayrılması gerektiği ve bu sınıfların neler olduğunun belirlenmesidir. Daha sonra ise bu doğrultuda belirtilen şekillerde sınıflandırmalara ayrılmaktır. Sınıflandırma işlemi yapıldıktan sonra ise görüntü üzerinde bazı düzeltme ve iyileştirme çalışmaları yapılabilmektedir. Buda komşuluk analizi denilen bir analizle yapılabilir. Birbirine yakın özellikteki değere sahip olan farklı renkteki sınıflar bir bütün haline getirilerek çok karmaşık yapılar sadeleştirilebilmektedir.

2.3.2.3. Kontrolsüz sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma, görüntüdeki veri hakkında yeterli yer bilgisine sahip olunmadığı durumlarda tercih edilen bir metot dur. Bu sınıflandırma şeklinde bir ön bilgiye ihtiyaç yoktur sadece kaç sınıfa ayrılması gerektiği bilgisi önem kazanmaktadır. Bu sınıflandırma şeklinde benzer piksellerin otomatik olarak

eşleştirilmesiyle yapılmaktadır. Belirlenen bazı sınıflar arazi üzerinde hiçbir şeyi temsilde etmeyebilir. Belirlenen bu sınıflar daha sonra başka haritalar yardımıyla tespit edilerek neyin neyi temsil ettiği elde edilebilmektedir.

2.3.3. Arazi karakteristiklerinin belirlenmesi

Son yıllarda meydana gelen teknolojik ilerleme havza karakteristiklerinin ve havza alanının belirlenmesini daha kolay bir şekle getirmiştir. Bir arazinin karakteristik özelliklerini belirleyebilmek için çeşitli yöntemler mevcuttur.

Dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan modelleme çeşidi Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) dir. SYM yer yüzeyini tanımlamada kullanılan bir kıyas değerine göre örneklenmiş düzenli olarak toplanmış yükseklikler modelidir. Buna karşılık Sayısal Arazi Modeli (SAM) olarak adlandırılan yapıysa yükseklik bilgileri ve yüzey karakteristiklerine ait eğim değişimleri, su akım doğrultuları gibi bazı açıklanabilir yükseklik kodlamalarını da içermektedir (Wood, 1996).

Diğer önemli veri yapılandırmalarından biri de düzensiz üçgen ağları (TIN-Triangulated Irregular Network) dır. Bu yapı üst üste binmeyen üçgenlerden oluşan ve uzayda dağıtılmış düzensiz noktaların tümünü içine alan bir veri setinden oluşur. Bu setteki tüm noktalar genellikle komşu Thiessen poligonlarının merkezlerini birleştiren bir yöntem olan Delunay üçgenlemesi ile birbirlerine bağlantılıdır. Ayrıca noktaların x,y ve z koordinatları bilinen noktalar olduğu ve noktaları birleştiren üçgen yüzeylerin her birinin düzlem olduğu kabul edilmektedir (Kumler, 1994). Yeryüzü modellemelerinde düzensiz üçgen ağlarının olmasının en önemli faydalarından birisi engebeli ve nokta yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde nokta yoğunluğunun fazla olması ve düz bölgelerde daha az sayıda nokta bulunmasına izin vermesidir. Diğer bir yararı ise tepe, çukur, sırt ve vadi gibi önemli yüzey noktalarının veri toplama yöntemine bağlı olarak gerçek yerlerinde gösterilebilmesine imkan sağlar (Gülgen, 2004).

2.4. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

Su kaynaklarının doğru kullanılabilmesi ve yapılacak olan su yapılarının doğru projelendirilip doğru yürütülebilmesi için birçok parametrenin (yağış, akış, sızma, buharlaşma, bitki örtüsü, vb) doğru analiz edilip etkisinin iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Yağış da bu parametrelerin en önemlilerinden bir tanesidir. Bu parametrenin doğru bir şekilde ölçümlerinin yapılabilmesi, su kaynaklarının yönetimi ve işletilmesi aşamalarında oldukça önemlidir. Planlama yapılırken planlama yerinin veya ona yakın olan yerlerin geçmişe yönelik verilerinin elde edilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Ölçüm bulunmayan yerlerde oluşturulacak geçici bir veri toplama sistemi ile birkaç senelik veriler toplanıp aynı havza içerisinde bulunan diğer ölçüm istasyonlarıyla entegresi sağlanarak geçmişe yönelik verilerde elde edilebilmektedir. Bu nedenle yağış tahmini veya eksik verilerin tamamlanması metotları oldukça önem kazanmıştır. Doğru yapılacak bir analiz neticesinde birkaç yıllık ölçüm ile geçmişe yönelik tüm veriler, az bir hata ile tamamlanabilecektir. Ayrıca, geleceğe yönelik herhangi bir sorundan dolayı oluşacak bir veri eksikliği yağış tahmin metotları ile giderilebilecektir. Yağış tahmini modellerini deneysel ve dinamik olmak üzere iki ana başlık altında toplamak mümkündür.

Deneysel yaklaşımlar genellikle tarihi bazlı ve aralarında önemli ölçüde korelasyon bulunan verilere dayanan metotlardır. Bunlardan en önemlileri yapay sinir ağları, stokastik, bulanık mantık ve veri tabanlı grup modelleridir (Zaw and Naing, 2008) Dinamik yaklaşımlar ise iklimsel şartların ve atmosferde meydana gelen değişimlerin bir araya getirilerek oluşturulan denklem takımlarına dayanmaktadır.

Sen (2003) çalışmasında uzun süreli ve yaz aylarında görülen muson yağmurlarının modeli için güçlü bir regresyon tekniği kurmuştur. Bu modeli oluştururken Asya'daki kar yağışını, kuzey batı Avrupa sıcaklık değerlerini, Avrupa'da ve Asya da meydana gelen basınçları, Arap denizinde meydana gelen yüzey sıcaklıklarını ve bir önceki yıl Hint okyanusunda meydana gelen sıcaklık değerlerini kullanmıştır. Sonuç olarak, %4 lerde kalan bir hata payıyla modelini oluşturmuştur. Singhrattna et al.(2005) Tayland genelinde çoklu lineer regresyon modeli oluşturmuşlardır. Bu

modelde deniz seviyesi, deniz yüzeyi sıcaklığı ve güneysel Elnino titreşim indeksi kullanılmıştır. Model sonucunda %60 lık bir korelasyon elde edilmiştir.

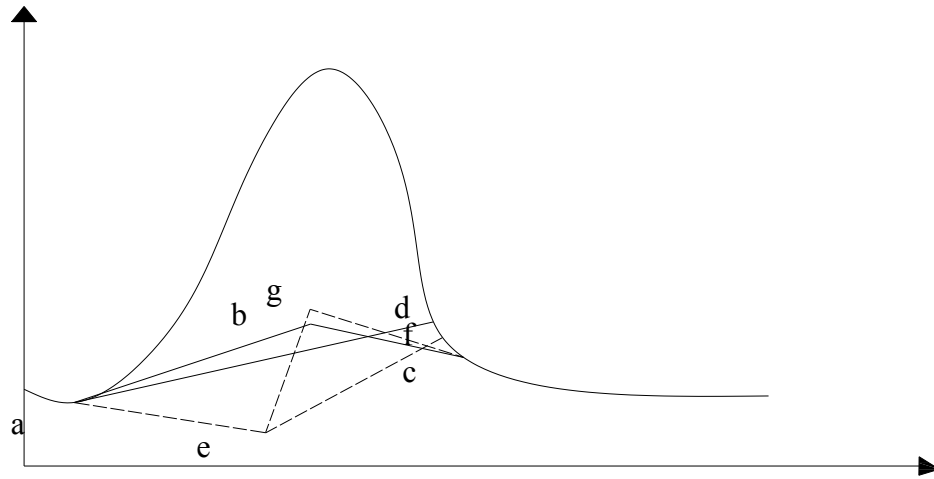
2.5. Taban Akışı Ayırması İle İlgili Çalışmalar

Son yıllarda iklim değişimi, nüfus artışı ve sanayileşmenin gelişmesi gibi faktörler suya olan talebin hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, su bütçesinin planlanması ve yürütülmesi ile ilgili konular büyük önem kazanmaya başlamıştır. Akarsulardaki su miktarının ölçümü ve tahmini gibi konular ise su bütçesi planlaması ve yürütülmesi aşamalarında önemli bir konuma sahiptirler. Akarsu debilerinin belirlenmesindeki en iyi yöntem akarsu üzerinde yapılacak ölçümlerdir. Ancak akarsu üzerinde istenilen her hangi bir noktada akım ölçümlerinin yapılması ekonomik olmamakla birlikte, geçmiş zamanlardaki akım değerlerinin de bilinmiyor olması yeni akım ölçüm istasyonlarının kurulmasında bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ölçüm yapılan istasyonlardaki akım değerlerinden çeşitli tahmin yöntemleri yada havzanın hidrolojik, jeolojik ve morfolojik özelliklerine dayanan fiziksel modeller ile akım tahmini çalışmaları uygulanabilmektedir. Akarsu akımının tahmin edilebilmesi için, akarsu akımının bileşenlerinden biri olan ve özellikle kurak mevsimlerde akarsu akımının büyük bir kısmını oluşturan taban akışının belirlenmesi de bu ölçekte çok önemli bir konudur. Taban akışı, yüzeysel akımın gecikmeli kısmı ile yeraltı suyundan oluştuğu için, çeşitli sayısal modeller içerisinde tanımlanabilmektedir (Yu ve Schwartz, 1999).

Taban akışı ayırma yöntemleriyle ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Ayırma yöntemleri grafiksel, matematiksel ve deneysel olarak üç grupta incelenebilir. Chapman (1999) tarafından yapılan bir çalışmada grafiksel metotların temelini oluşturan akarsu akımı ile taban akışının ayrıldığı noktaları belirtmiştir. Chapman'a göre, akarsu akımı ile taban akışının ilk ayrıldığı nokta, yağışların başladığı ve akarsu akımının yükselme eğilimine geçtiği zaman adıdır. Akarsu akımı ile taban akışının tekrar bir araya geldikleri yer ise akarsu debilerinin logaritmik olarak çizildiğinde düz bir çizgi halini aldığı ve böylece akarsu akımının hemen hemen tamamının taban akışından oluştuğu nokta olarak tanımlanmıştır.

Grafiksel metotlarda bu iki durum oldukça yaygın olarak görülmektedir. Bu iki bölge arasında ise taban akışının değişiminin gösterimi farklı şekillerde tanımlanmıştır.

Şekil 2.1’de en çok kullanılan grafiksel metotlar gösterilmiştir. Bu metotlarda taban akışının yüzeysel akıştan ayrıldığı kısım yani yağışların başladığı ve akarsu akışının çekilme döneminden yükselme dönemine geçtiği nokta (a), ilk nokta olarak seçilmektedir. Genellikle taban akışının pik noktalarının (b,e,g) ve akarsu akışının tamamen taban akışından meydana geldiği noktaların (c,d,f) belirlenmesinde farklılıklar oluşmaktadır.



Şekil 2. 1. Bir akarsu hidrografında taban akışının ayrılması

Taban akışı ayırma yöntemlerinde kullanılan farklı bilgisayar programları da mevcuttur. Bu programlar içerisinde çeşitli taban akışı ayırma yöntemleri uygulanmaktadır. HYSEP programı bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlardandır. HYSEP programı kullanılarak, akarsu akımı hidrografı, taban akışı ve yüzeysel akış bileşenlerine ayrılır. Bu amaç için HYSEP programı sabit aralık, kayan aralık ve yerel minimum grafiksel metotlarını kullanır(Sloto ve Crouse, 1996).

İlerleyen yıllarda yapılmış taban akışı ayırma ile ilgili diğer bir çalışmada tek pikli ve çok pikli akımların ayrılması için 2 yöntem üzerinde durulmuştur (Çimen ve

Saplıoğlu, 2004a). Bu çalışmada tek pikli ve çok pikli akımların ayrılması için ayrı ayrı yöntemler teklif edilmiştir. Grafiksel olarak uygulanan bu metot da akım hidrografının bittiği noktadan başlayarak başlangıç noktasına doğru gelinerek taban akışının ayrılması sağlanır. Köprüçay Nehri Beşkonak ölçüm istasyonu üzerindeki aylık ortalama akım verileri için kullanılan bu çalışma da tek pikli akımlar için ayrı çok pikli akımlar için ayrı bir yöntem izlenmiştir.

Matematiksel taban akışı ayırma metotları ise üç kategoride toplanmaktadır. Bunlarda ilki yeraltı suyu ile dere arasındaki etkileşim için Boussinesq (1877) tarafından teklif edilmiş olan ve daha sonraları akarsu akımı çekilmelerinde de kullanılan bir boyutlu çözümlerdir.

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (2.1)$$

Burada Q_0 başlangıç debisini, α akarsu çekilme katsayısını ve t ise zamanı göstermektedir. Bu metot kurak dönemlerde akarsuyun azalan kolu üzerinde akım çekilmesi katsayısının belirlenmesi içinde kullanılabilmektedir. Bousinesq denklemi yardımı ile yeraltı suyunun dereceli olarak beslenmesi, drenaj havzasının hidrolik karakteristikleri, taban akışı çekilme eğrisinin fiziksel yapısı gibi çalışmalar yapılmıştır (Meyboom, 1961; Wright, 1970; Mendoza et. Al., 2003; Barnes, 1939; Çimen ve Saplıoğlu, 2004b).

Taban akışının belirlenmesinde, hidrografın tamamlanmasını beklemeden her gün oluşabilecek taban akışını belirleyebilmek amacı ile yükselme katsayısı kavramı kullanılarak taban akışı ayırma yöntemleri geliştirilmiştir (Saplıoğlu, 2005; Saplıoğlu ve Çimen, 2010). Bu çalışmada iki ayrı mevsimsel dönem için iki adet yükselme katsayısı ve taban akışı çekilme dönemleri içinde bir adet çekilme katsayısı oluşturulmuştur. Aksoy ve Wittemberg (2010) tarafından yapılan çalışmada ise her dönemde kullanılması gereken çekilme katsayısının farklı olduğu kabulüne dayanan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak oniki adet çekilme katsayısı tespit edilmiş daha sonra bu katsayılar Forier serileri kullanılarak üçe düşürülmüş ve Fortran dilinde bir program yazılmıştır.

Matematiksel taban akışı ayırma metotlarından ikincisi ise, yüksek frekansta veya hızlı akıştaki akarsu akımından düşük frekanstaki taban akışını ayırma yöntemi olarak tanımlanan sayısal filtreleme metotlarıdır(Stewart et. Al.,2007). Tek parametrenin kullanıldığı sayısal filtreleme yöntemi ilk kez Lyne ve Hollick (1979) tarafından önerilmiştir. Bu yöntem daha sonra farklı araştırmacılar tarafından da uygulanmıştır(Chapman, 1987; Nathan ve McMahon, 1990]. Chapman (1991) tarafından yapılan çalışmada tek parametrelili sayısal filtreleme yöntemi düzenlenerek aşağıdaki formül teklif edilmiştir.

$$Q_b(i) = \frac{k}{2-k} Q_b(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q(i) \quad (2.2)$$

Burada Q_b taban akışı, Q akarsuda meydana gelen akım, i gün sayısı, k ise bir katsayıdır. k katsayısını belirlemek için akımın tamamen taban akışından meydana geldiği dönem kullanılmaktadır. Bu dönem, yağışların tamamen bittiği, akarsuda yüzeysel çekilmenin tamamlandığı ve akarsu akımının sadece yeraltından beslendiği dönemdir. Böylelikle taban akışının gerçek karakteristiğini gösterebilecek bir katsayı (k) elde edilebilmektedir. Bu katsayı sayesinde yüzeysel akışın meydana geldiği dönemde de taban akışının doğru bir şekilde belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Daha sonraki yıllarda Boughton (1993) tarafından iki parametrelili bir algoritma önerilmiştir. Aşağıdaki ifade tek parametrelili sayısal filtre denkleminde bulunan $1-k$ 'nin yerine C katsayısının konulması ile oluşturulmuştur.

$$Q_b(i) = \frac{k}{1+C} Q_b(i-1) + \frac{C}{1+C} Q(i) \quad (2.3)$$

Taban akışını ve yüzeysel akışın ayrı ayrı katsayılarla yükselip alçaldığı ve birbirinden bağımsız olarak hareket ettiği varsayımında bulunan Jakeman ve Hornberger (1993), üç parametrelili algoritmayı (IHACRES) teklif etmişlerdir.

$$Q_b(i) = -\frac{\alpha_s \beta_s + \alpha_q \beta_s}{\beta_q \beta_s} Q_b(i-1) + \frac{\beta_s}{\beta_q + \beta_s} [Q(i) + \alpha_q Q(i-1)] \quad (2.4)$$

Burada, α_s ve β_s yavaş akış durumundaki katsayıları, α_q ve β_q hızlı akış durumundaki katsayıları gösterir. Bu ifadede $C = \beta_s/\beta_q$ ve $k = -\alpha_s - \alpha_q\beta_s/\beta_q$ konularak aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$Q_b(i) = \frac{k}{1+C} Q_b(i-1) + \frac{C}{1+C} [Q(i) + \alpha_q Q(i-1)] \quad (2.5)$$

IHACRES modelinde, uzun dönemde akarsu akımının taban akışına oranını belirleyebilmek için taban akışı indeksi (BFI) kullanılmaktadır

$$BFI = \frac{C(1+\alpha_q)}{1+C-k} \quad (2.6)$$

Kurt (2007) yaptığı çalışmasında grafik yöntemler, yersel minimum metot ve sayısal filtreleme yöntemlerini aylık ve günlük verilere uygulayarak test etmiştir.

Üçüncü tip matematiksel modeller ise yoğunluk dengesi metotlarıdır. Bu metotlarda akarsuyun çeşitli bileşenlerden meydana geldiği ve bu bileşenlerin her birinin bir veya daha fazla kimyasal özelliği (örneğin silis ve oksijen izotop oranı) olduğu kabul edilir (Tekeli vd., 2000). Genellikle akımın yüzey akışı ve taban akışı olmak üzere iki bileşeni belirlenmiştir Fakat bazı çalışmalarda akım, yüzey akışı, yüzey altı akışı ve taban akışı bileşeni olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır (Rice ve Hornberger, 1998). Bu tip modeller genellikle 1 km² den küçük alanlı havzalarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Günyaktı ve Altınbilek (1991) akım hidrografını yağış, kar erimesi, yüzey altı suyu ve yeraltı suyu olarak dörde ayırmıştır. Ayrılan bu bileşenleri değişik izotop konsantrasyonları ile takip etmişlerdir. Uhlenbrook et al. (2002) ise daha büyük ölçekli havzalar için ancak yüzeysel ve taban akışı olmak üzere iki bileşen üzerinde çalışma yapılabileceğini belirtmişlerdir.

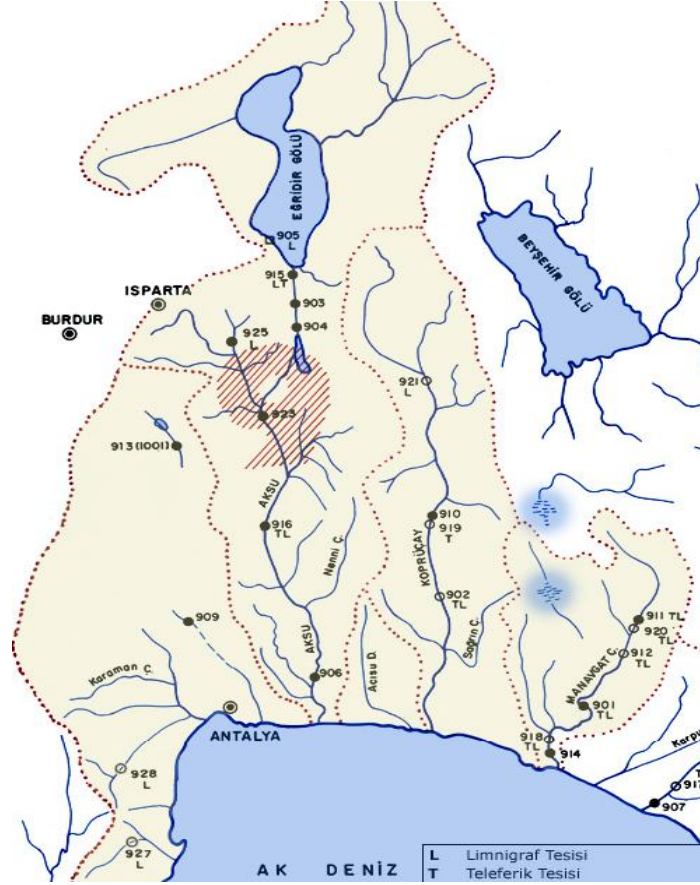
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada oluşturulan parametrik havza modellemesi, Köprüçay Nehri havzası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümün materyal kısmında Köprüçay Nehri havzasına ait genel bilgilerin yanı sıra bu havza üzerinde bulunan ve modelde kullanılan yağış ve akış ölçüm istasyonları hakkında da bilgiler verilecektir. Ayrıca Köprüçay Nehri havzasının jeolojik yapısı ve bitki örtüsü hakkında da detaylı bilgiler sunulacaktır. Yöntem kısmında ise havza sınırları ile su toplama kanallarının tespiti için kullanılan sayısal yükseklik modeli, akış katsayısını bulmak için geliştirilen modelde kullanılan bulanık mantık metodu, akış ve yağış verilerinde bulunan eksik verilerin tamamlanması için kurulan modellerde kullanılan yapay sinir ağları metodunun kullanımı ve özellikleri de detaylı şekilde anlatılmaya çalışılacaktır. Ayrıca yağış ölçüm istasyonlarının havza üzerinde temsil ettikleri bölgelerin belirlenmesi amacı ile kullanılan Thiessen çokgenleri yönteminden de bahsedilecektir. Bütün bunlara ilave olarak, havza üzerindeki akışta etkin bir parametre olan akış katsayısı hakkında da bilgiler verilecektir.

3.1. Materyal

3.1.1. Köprüçay Nehri havzasının genel özellikleri

Köprüçay Nehri Anamas dağının Eğirdir Gölü'ne yakın olan batı eteğinde bulunan Oluk ve Köprü menbaalarından doğmaktadır. Daha sonra yol boyunca doğusundan Kocadere kolu batısından ise Sağırın kolu akıma katılmaktadır. Akım Serik düzlüğü boyunca devam etmekte ve Akdenize dökülmektedir (Şekil 3.1). Havzaya bağlanan kollar hariç 156 km uzunluğunda olan nehir 2498 km² lik bir yağış toplama alanına sahiptir. Yıllık ortalama $3,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ akışa sahip olan bu nehir bölgenin en önemli nehirleri arasındadır. Nehir havzası, Anamas dağı (2337 m), Dipoyraz dağı (2980 m), Dolup dağı (2033 m), Bozburun dağı (2504 m) ve Keriz dağı (2020 m) gibi çok fazla yükseltiye sahiptir. Havzanın geri kalan kısmındaki düzlükler ise oldukça azdır. Bu düzlüklerden en büyüğü nehrin sol kıyısında bulunan Sağırın düzlüğü ve sağ kıyısında ise Bucak – Akbaşı düzlüğüdür (Fizibilite raporu, 1983).



Şekil 3. 1. Köprüçay Nehri havzası yer bulduru haritası (EİE, 2006)

3.1.2. Yağış parametresi ve istasyonlar

Yağış parametresi havza modellemelerinde kullanılan en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Küçük ölçekli havzaların modellenmesinde yada yağış akış modellerinin kurulmasında bu parametrelerin küçük zaman dilimlerinde değeri gerekli iken havzanın boyutları büyüdükçe gün boyu meydana gelen toplam yağış miktarı değeri yeterli olabilmektedir (Beven, 2003). Yağış – akış modelleri oluşturulurken kullanılacak verilerin havzayı yada problemi tam anlamıyla temsil edebilecek kapasitede seçilmesi modelin güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Modelde kullanılan istasyonlar ve bu istasyonlara ait detaylı bilgiler aşağıda anlatılacaktır. Buna ek olarak her yağış istasyonunun havzada temsil ettiği bölgenin tespit edilebilmesi açısından Thiessen çokgenleri kullanılmıştır. Thiessen çokgenlerine ait bilgiler bu bölümün yöntem kısmında verilecek, uygulama kısmı ise

dördüncü bölümde anlatılacaktır. Ayrıca eldeki tüm istasyonların göz önüne alınan zaman dilimlerinde yağış verilerinin bulunmadığı gözlemlenmiş ve bu verileri tamamlamak içinde yapay sinir ağları metodu ile modeller kurulmuştur. Üçüncü bölümün metot kısmında yapay sinir ağlarının kullanım alanları ve yapıları ile detaylı bilgiler verilecektir. Oluşturulan yağış tahmin modelleri ise dördüncü bölümde geniş şekilde anlatılacaktır.

3.1.2.1. Havza modellemesinde kullanılan yağış istasyonları

Havzanın içerisinde ve dışarısında bulunan ve havzayı düşük veya yüksek seviyede temsil edebileceği düşünülen istasyonlara ait günlük yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Bu istasyonlara ait verilerin uzunluğu, koordinatları ve havzayı temsil yetenekleri analiz edilerek modellemede kullanılabilecek olanları ayrılmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan havza ve çevresindeki ölçüm istasyonları ve özellikleri aşağıdaki gibidir (Şekil 3.2).

- Kumdanlı yağış ölçüm istasyonu, 38,334 kuzey enlemi ve 30,99 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1030 m dir. Havzanın kuzeyinde bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 50 km mesafededir. İstasyona ait 1984 - 1994 yıllarını içine alan 11 yıllık yağış verisi mevcuttur. 11 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 390,86 mm dir.
- Sütçüler yağış ölçüm istasyonu, 37,491 kuzey enlemi ve 30,971 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 962 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 10 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1992 yıllarını içine alan 18 yıllık yağış verisi mevcuttur. 18 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 949,92 mm dir.

- Kasımlar yağış ölçüm istasyonu, 37,533 kuzey enlemi ve 31,184 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1177 m dir. Bu ölçüm istasyonu havzanın sınırları içerisinde dir. İstasyona ait 1987 - 1992 yıllarını içine alan 6 yıllık yağış verisi mevcuttur. 6 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1043,77 mm dir.
- Kızılkaya yağış ölçüm istasyonu, 37,304 kuzey enlemi ve 30,447 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 799 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 50 km mesafededir. İstasyona ait 1987 - 1989 yıllarını içine alan 3 yıllık yağış verisi mevcuttur. 3 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 417,06 mm dir.
- Kızılcadağ yağış ölçüm istasyonu, 37,02 kuzey enlemi ve 29,979 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1506 m dir. Havzanın güney batısı sınırına daha yakın olan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 97 km mesafededir. İstasyona ait 1984 yılına ait 1 yıllık yağış verisi mevcuttur. 1 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 385,6 mm dir.
- Serik yağış ölçüm istasyonu, 36,934 kuzey enlemi ve 31,00 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 34 m dir. Havzanın güney batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 2 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1986 yıllarını içine alan 12 yıllık ve 1989 - 1996 yıllarını içine alan 8 yıllık yağış verisi mevcuttur. Toplamda ise bu istasyona ait 20 yıllık yağış verisi mevcuttur. 20 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1154,86 mm dir.
- Güzelsu yağış ölçüm istasyonu, 36,892 kuzey enlemi ve 31,848 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1042 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 46 km mesafededir. İstasyona ait 1989 - 1994 yıllarını içine alan 6

yıllık yağış verisi mevcuttur. 6 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1744,92 mm dir.

- Köprülü yağış ölçüm istasyonu, 36,734 kuzey enlemi ve 32,185 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 876 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 82 km mesafededir. İstasyona ait 1984 - 1986 yıllarını içine alan 3 yıllık yağış verisi mevcuttur. 3 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1529,9 mm dir.
- Güzelbağ yağış ölçüm istasyonu, 36,747 kuzey enlemi ve 31,914 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1028 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 56 km mesafededir. İstasyona ait 1988 - 1991 yıllarını içine alan 4 yıllık yağış verisi mevcuttur. 4 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1632,5 mm dir.
- Isparta yağış ölçüm istasyonu, 37,764 kuzey enlemi ve 30,582 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1006 m dir. Havzanın kuzey batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 40 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 510,73 mm dir.
- Senirkent yağış ölçüm istasyonu, 38,109 kuzey enlemi ve 30,55 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 961 m dir. Havzanın kuzey batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 58 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 656,91 mm dir.
- Yalvaç yağış ölçüm istasyonu, 38,292 kuzey enlemi ve 31,181 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1099 m dir. Havzanın kuzey doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza

sınırına 40 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1979 yıllarını içine alan 5 yıllık ve 1986 - 2008 yıllarını içine alan 23 yıllık yağış verisi mevcuttur. 28 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 512,11 mm dir.

- Uluborlu yağış ölçüm istasyonu, 38,075 kuzey enlemi ve 30,462 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1166 m dir. Havzanın kuzey batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 57 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 610,86 mm dir.
- Korkuteli yağış ölçüm istasyonu, 37,063 kuzey enlemi ve 30,196 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 992 m dir. Havzanın güney batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 80 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 386,81 mm dir.
- Manavgat yağış ölçüm istasyonu, 36,785 kuzey enlemi ve 31,435 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 8 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 21 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1124,786 mm dir.
- Bağkonak yağış ölçüm istasyonu, 38,215 kuzey enlemi ve 31,274 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1154 m dir. Havzanın kuzey doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 30 km mesafededir. İstasyona ait 1987 - 1995 yıllarını içine alan 9 yıllık yağış verisi mevcuttur. 9 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 458,38 mm dir.

- Gelendost yağış ölçüm istasyonu, 38,122 kuzey enlemi ve 31,017 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 951 m dir. Havzanın kuzey doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 18 km mesafededir. İstasyona ait 1983 - 1987 yıllarını içine alan 5 yıllık yağış verisi mevcuttur. 5 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 513,58 mm dir.
- Aksu yağış ölçüm istasyonu, 37,799 kuzey enlemi ve 31,07 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1223 m dir. Bu ölçüm istasyonu havzanın içerisinde bulunmaktadır. İstasyona ait 1983 yılına ait 1 yıllık ve 1985 - 2000 yıllarını içine alan 16 yıllık yağış verisi mevcuttur. 17 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 894,27 mm dir.
- Ağlasun yağış ölçüm istasyonu, 37,653 kuzey enlemi ve 30,542 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1142 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 45 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1987 yıllarını içine alan 13 yıllık ve 1989 1990 yıllarını içine alan 2 yıllık yağış verisi mevcuttur. 15 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 774,64 mm dir.
- Bucak yağış ölçüm istasyonu, 37,451 kuzey enlemi ve 30,583 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 800 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 50 km mesafededir. İstasyona ait 1977 - 1998 yıllarını içine alan 22 yıllık yağış verisi mevcuttur. 22 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 703,42 mm dir.
- Bozova yağış ölçüm istasyonu, 37,222 kuzey enlemi ve 30,284 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 889 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 68 km mesafededir. İstasyona ait 1984 - 1997 yıllarını içine alan 14 yıllık yağış

verisi mevcuttur. 14 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 359,66 mm dir.

- Dağ yağış ölçüm istasyonu, 37,197 kuzey enlemi ve 30,518 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 814 m dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 49 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1985 yıllarını içine alan 11 yıllık yağış verisi mevcuttur. 11 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 780,52 mm dir.
- Cevizli yağış ölçüm istasyonu, 37,196 kuzey enlemi ve 31,772 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1084 m dir. Havzanın doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 34 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1991 yıllarını içine alan 17 yıllık yağış verisi mevcuttur. 17 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1490,7 mm dir.
- Akseki yağış ölçüm istasyonu, 37,056 kuzey enlemi ve 31,77 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1330 m dir. Havzanın doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 38 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 1976 yıllarını içine alan 2 yıllık, 1979 – 1997 yıllarını içine alan 19 yıllık ve 1999 – 2001 yıllarını içine alan 3 yıllık yağış verisi mevcuttur. 24 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1384,01 mm dir.
- Gündoğmuş yağış ölçüm istasyonu, 36,808 kuzey enlemi ve 31,994 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 886 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 67 km mesafededir. İstasyona ait 1984 - 1985 yıllarını içine alan 2 yıllık yağış verisi mevcuttur. 2 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1570,7 mm dir.
- Burdur yağış ölçüm istasyonu, 37,721 kuzey enlemi ve 30,319 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1074 m

dir. Havzanın batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 66 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 425,86 mm dir.

- Antalya yağış ölçüm istasyonu, 36,909 kuzey enlemi ve 30,79 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 51 m dir. Havzanın güney batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 30 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1103,73 mm dir.
- Alanya yağış ölçüm istasyonu, 36,538 kuzey enlemi ve 32,006 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 47 m dir. Havzanın güney doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 72 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1115,98 mm dir.
- Eğirdir yağış ölçüm istasyonu, 37,846 kuzey enlemi ve 30,869 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 922 m dir. Havzanın kuzey batısında bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 15 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2009 yıllarını içine alan 35 yıllık yağış verisi mevcuttur. 35 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 820,57 mm dir.
- Beyşehir yağış ölçüm istasyonu, 37,678 kuzey enlemi ve 31,728 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1141 m dir. Havzanın doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 42 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2006 yıllarını içine alan 32 yıllık yağış verisi mevcuttur. 32 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 495,9 mm dir.

- Seydişehir yağış ölçüm istasyonu, 37,419 kuzey enlemi ve 31,849 doğu boylamında bulunmaktadır. İstasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1120 m dir. Havzanın doğusunda bulunan bu istasyon yaklaşık olarak havza sınırına 47 km mesafededir. İstasyona ait 1975 - 2006 yıllarını içine alan 32 yıllık yağış verisi mevcuttur. 32 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 758,79 mm dir.



Şekil 3. 2. Köprüçay Nehri havzası ve çevresindeki meteoroloji ölçüm istasyonları
(Google Earth, 2009)

3.1.3. Debi ölçüm istasyonları

Bir havzada kurulan veya kullanılan modellerin doğruluğunu tespit etmek için kullanılan en önemli parametrelerden bir tanesi ölçülmüş akarsu akımı değerleridir. Bu yüzden akım gözlem istasyonlarının mevcudiyeti ve bu mevcudiyetin fazlalığı oldukça önemlidir. Ayrıca bu istasyonların nehir kolları boyunca homojen olarak dağılmış olması da bir o kadar önem arz etmektedir. Modellemenin oluşturulduğu Köprüçay Nehri üzerinde de kurulan modelin doğruluğunun istatistiksel olarak ispatlanabilmesi için yeterli derecede akım gözlem istasyonu mevcuttur (Şekil 3.3).

Köprüçay Nehri üzerinde belirli noktalarda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından kurulmuş olan 12 adet akım gözlem istasyonu mevcuttur. Bunlardan 4 tanesi Elektrik İşleri Etüt İdaresinden alınan 902 nolu Beşkonak, 910 nolu ve 919 nolu Bolasan istasyonları ve 921 nolu Kasımlar akım gözlem istasyonudur. Diğer 8 tanesi ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan 9-03 nolu Kısık, 9-29 nolu ve 9-101 nolu Karakaya istasyonları, 9-86 Belence, 9-87 Kocaosman, 9-100 Yanıkköy, 9-02 Yenice ve 9-90 Sorkun akım gözlem istasyonlarıdır.

37,141 kuzey enlemi ve 31,187 doğu boylamında bulunan 902 nolu Beşkonak akım gözlem istasyonu, Antalya Serik havzasının 36 km kuzeyinde Beşkonak nahiyesinde Köprüçay Nehri üzerindedir. Yaklaşık olarak yağış alanı 2072,8 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 95 m dir. İstasyona ait 1940 -2006 akım yıllarına ait 67 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,302 kuzey enlemi ve 31,191 doğu boylamında bulunan 910 nolu Bolasan akım gözlem istasyonu, Antalya'ya bağlı Serik kazasının Beşkonak nahiyesine 18 km mesafede Köprüçay Nehri üzerindedir. Yaklaşık olarak yağış alanı 1545,2 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 475 m dir. İstasyona ait 1963 – 1971 akım yıllarına ait 9 yıllık debi ölçümü mevcuttur. Bu istasyon 1972 yılında kapatılmış olup yerine 919 nolu istasyon açılmıştır.

37,305 kuzey enlemi ve 31,190 doğu boylamında bulunan 919 nolu Bolasan akım gözlem istasyonu, Serik - Manavgat yolunun yaklaşık 5. km.sindeki Serik ilçesine bağlı Çaltepe köyü çevresindedir. Yaklaşık olarak yağış alanı 1538,4 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 370 m dir. İstasyona ait 1985 -2004 akım yıllarına ait 20 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,521 kuzey enlemi ve 31,204 doğu boylamında bulunan 921 nolu Kasımlar akım gözlem istasyonu, Isparta'ya bağlı Kasımlar kasabasının 4 km. güney-doğusunda Köprüçay ile Kartos çayının birleştii noktanın yaklaşık 50 m. mansabındadır. Yaklaşık olarak yağış alanı 1005,5 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 738 m dir. İstasyona ait 1992 -2004 akım yıllarına ait 13 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,828 kuzey enlemi ve 31,112 doğu boylamında bulunan 9-90 nolu Sorkun-Amanas akım gözlem istasyonu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Isparta'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 21,4 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 1360 m dir. İstasyona ait 1987 - 1994 akım yıllarına ait 8 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,814 kuzey enlemi ve 31,086 doğu boylamında bulunan 9-02 nolu Yenice-Zindan boğazı akım gözlem istasyonu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Isparta'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 61,7 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 1250 m dir. İstasyona ait 1960 - 2001 akım yıllarına ait 42 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,653 kuzey enlemi ve 31,161 doğu boylamında bulunan 9-100 nolu Başak-Yanıkköy akım gözlem istasyonu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Isparta'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 223 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 1067 m dir. İstasyon 1991 yılında daha önceden kapatılan 9-87 nolu Başak-Kocaosman istasyonunun yerine açılmıştır. İstasyona ait 1991 - 2001 akım yıllarına ait 11 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,649 kuzey enlemi ve 31,159 doğu boylamında bulunan 9-87 nolu Başak-Kocaosman akım gözlem istasyonu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Isparta'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 272 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 1051 m dir. İstasyona ait 1987 - 1988 akım yıllarına ait 2 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

37,608 kuzey enlemi ve 31,158 doğu boylamında bulunan 9-86 nolu Aksu-Belence akım gözlem istasyonu, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Isparta'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 349 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 1000 m dir. İstasyona ait 1987 - 2001 akım yıllarına ait 15 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

36,973 kuzey enlemi ve 31,189 doğu boylamında bulunan 9-101 nolu Köprüçay-Karakaya akım gözlem istasyonu, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Antalya'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 2330 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 20 m dir. İstasyona ait 1992 - 2001 akım yıllarına ait 10 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

36,971 kuzey enlemi ve 31,184 doğu boylamında bulunan 9-29 nolu Köprüçay-Karakaya akım gözlem istasyonu, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Antalya'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 2362 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 15 m dir. İstasyona ait 1965, 1977, 1979 ve 1980 akım yıllarına ait 4 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

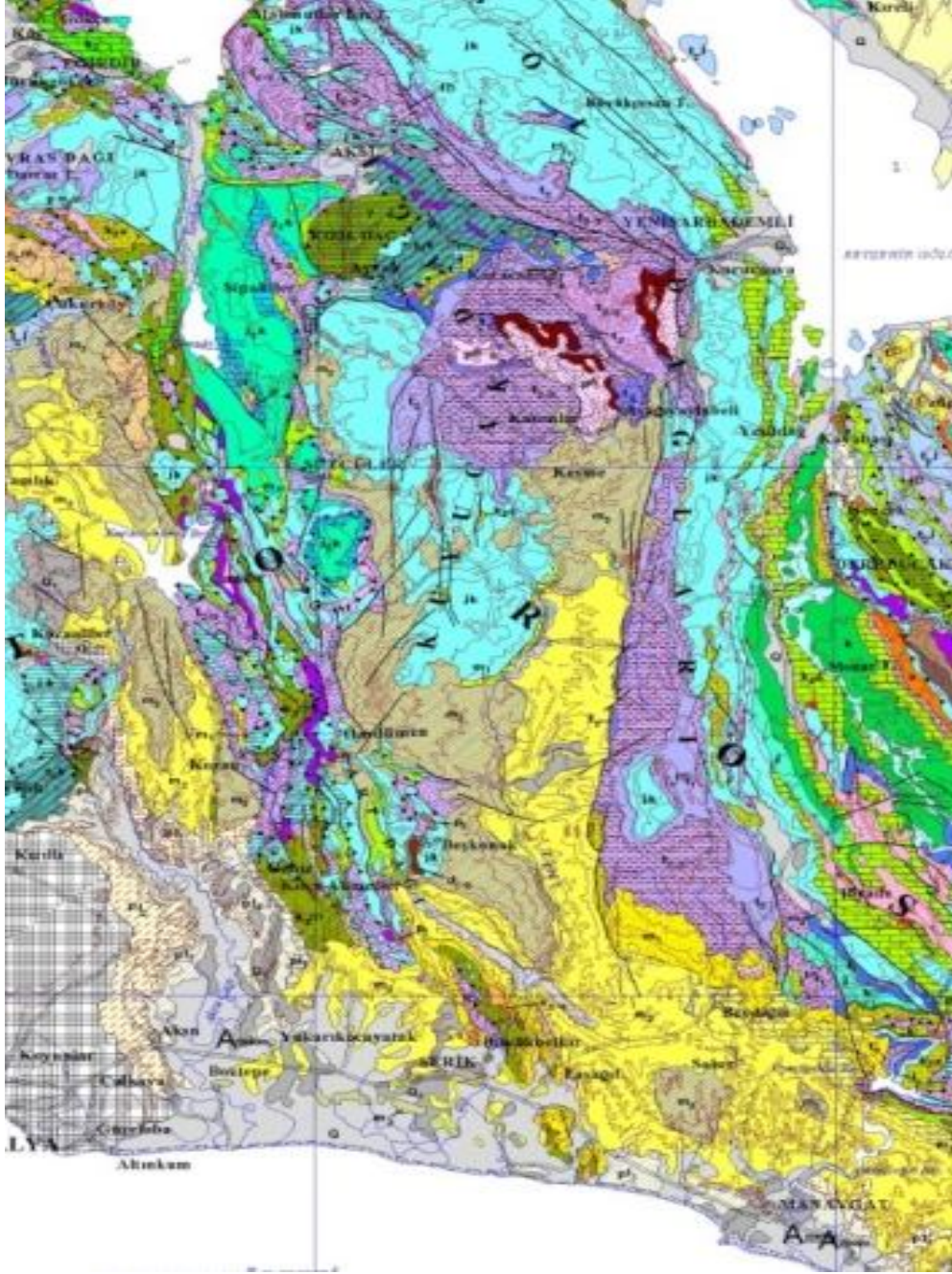
36,967 kuzey enlemi ve 31,181 doğu boylamında bulunan 9-03 nolu Köprüçay-Karakaya akım gözlem istasyonu, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Antalya'ya bağlı olan bir istasyondur. Yaklaşık olarak yağış alanı 2375 km² olan bu istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği ise 10 m dir. İstasyona ait 1959 - 1963 akım yıllarına ait 10 yıllık debi ölçümü mevcuttur.



Şekil 3. 3. Köprüçay Nehri üzerindeki akım ölçüm istasyonları ve yerleri (Google Earth 2009)

3.1.4. Havza jeolojisi

Havza modellemesinde kullanılan parametrelerden olan bölge jeolojisi Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğünün internet sitesinden alınan 1/500.000 ölçekli jeolojik haritasının Konya paftasının incelenmesiyle elde edilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Köprüçay Nehri havzası jeoloji haritası (MTA,2010)

Bu haritaya göre Köprüçay Nehri havzasının bulunduğu bölge jeolojik devirlerine ve bu devirlerin kendi içerisinde zaman ve dönemine göre ayrıca zeminsel sınıfına göre ayrıldığı gözlemlenmiş ve bu ayrılmalar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Köprüçay Nehri havzası jeolojik yapısının sınıflandırılması

Jeolojik Devir	Sembolü	Zeminsel Özelliği
Alt miyosen	m ₁	Neritik kireçtaşı
Üst miyosen	m ₂	Kırıntılar
Üst miyosen	m ₂	Kırıntılar ve kireçtaşı
Orta-üst triyas	t ₂₋₃	Karbonatlar ve kırıntılar
Üst triyas	t ₃	Neritik kireçtaşı
Kuvaterner	Q	Ayrılmamış
Kuvaterner	Q ₁	Ayrılmamış karasal kırıntılı
Jura kratese	jk	Neritik kireçtaşı
Mezozoik	y	periodit
Orta triyas-kratese	t ₂ k	Radyolarid çört
Orta jura kratese	J ₂ k	Neritik kireçtaşı

3.1.4.1. Jeolojik devirler

Dünyanın oluşumundan günümüze kadar yeryüzünün jeolojik yapısı kambriyen öncesi devirler olan Proterozoik ve arkeyanın yanı sıra kambriyen sonrası devir olan fanerozoik olmak üç ana devirden oluşmuştur. Fanerozoik dönem ise 3 alt zamandan (senozoik, mezozoik ve paleozoik) oluşmuştur. Bu dönemlerde kendi içerisinde dömenlere ve zamanlara ayrılmışlardır. Bütün bu oluşumları zaman sıralaması Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Jeolojik devirlerin tablosal gösterimi (Tübitak, 2010).

DEVİR	ZAMAN	DÖNEM	BÖLÜM
Fanerozoik Devir (545 myö-Günümüz)	Senozoik (65.5 myö- Günümüz)	Kuaterner (1.81 myö-Günümüz)	Holosen (0,01 myö -Günümüz)
			Pleistosen (1,81-0,01 myö)
		Neojen (23.8 myö-1.81 myö)	Pliyosen(5,32-1,81 myö)
			Miyosen(23.8-5,32 myö)
		Paleojen (65.5 myö-23.8 myö)	Oligosen(33.7-23.8 myö)
			Eosen (55.0-33.7 myö)
			Paleosen(65.5-55.0 myö)
	Mezozoik (251.4 myö-65.5 myö)	Kretase (142 myö-65.5 myö)	
		Jura (205.1 myö-142 myö)	
		Trias (251.4 myö- 205.1 myö)	
	Paleozoik (545 myö-251.4 myö)	Permiyen (292 myö-251.4 myö)	
		Karbonifer (354 myö-292 myö)	
		Devoniyen (417 myö-354 myö)	
		Silüryen (440 myö- 417 myö)	
		Ordovisyen (495 myö- 440 myö)	
		Kambriyen (545 myö -495 myö)	
Kambriyen Öncesi (545 milyon yıl ve öncesi)	Proterozoik Devir (2500 myö- 545 myö)		
	Arkeyan Devir (3600 myö-2500 myö)		

3.1.5. Havza planlamasında eğim faktörü

En önemli parametrelerden biri olan eğim faktörü yağışın akışa geçmesini azaltan veya arttıran bir faktördür. Eğimi fazla olan yerlerde yağın yağışın büyük kısmı akışa gerçerken eğimin az olduğu yerlerde yağın yağışın büyük bir kısmı yeraltına sızmaktadır.

3.1.6. Havza planlamasında mevsim faktörü

Akarsu akımlarının modellenmesinde mevsimselliğin etkisi son derece etkili olabilmektedir. Zeminin doygunluğu, bitkisel örtüde meydana gelen değişimler, yağış rejimlerinde meydana gelen değişimler ve yeraltı suyu seviyelerindeki artış ve azalışlar gibi pek çok faktör mevsimselliğin önemini arttırmaktadır. Yağış akış

bağıntılarında özellikle akış katsayısı çok büyük önem arz etmektedir. Akış katsayısını ise etkileyen faktörlerin başında zeminde meydana gelen sızma ön plana çıkmaktadır. Zeminde meydana gelen sızma havzada mevcut bitki örtüsü, jeolojik yapı ve eğim gibi pek çok faktörün yanı sıra zeminin doygunluk derecesine de bağlıdır. Şayet zemin doygun ise sızma az olacak ve akış katsayısı da buna bağlı olarak yükselecektir. Tam tersine zeminin suya doygun olmadığı durumda da sızma fazla olacak dolayısı ile yağış sonrası meydana gelen akış miktarı sınırlı miktarda kalacaktır. Ülkemizin de içinde bulunduğu kuzey yarım kürenin şartları itibari ile yaz aylarının sonları toprağın suya en az doygun olduğu dönemlerdir. Tam tersine ilkbahar ayları ise toprağın doygunluk derecesinin en üst seviyesine çıktığı aylardır.

Çalışma havzasında mevsimselliğin etkisinin araştırılması amacı ile 1987-1993 yılları arası Kasımlar yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler ile Bolosan akım ölçüm istasyonundan alınan veriler karşılaştırılarak yağın yağış miktarı ile buna karşılık akarsuda meydana gelen akış miktarları mevsimsel olarak kıyaslanmaya çalışılmıştır. Çizelge 3.3’de mevsimsel olarak bu ölçüm bölgesine ait yağış ve akış bilgileri verilmiştir. Bu veriler sayesinde havzada meydana gelen yağış ve akış arasındaki ilişkinin mevsimsel olarak değişimi gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3. 3. Kasımlar yağış gözlem istasyonundan alınan verilerin aylık olarak değişimi (mm)

İSTASYON ADI/NO: KASIMLAR / 7369												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1987	106,8	87,1	196,3	87,5	151,7	73	36	7,7	1,5	12,7	163,8	137,8
1988	71,1	241	206,9	168,6	62,8	43,6	15,2	12,4	1,9	59,2	204,6	236,8
1989	34,8	106,5	130,7	26,1	105,8	13,5	9,7	1,8	7,1	170,9	266	108,6
1990	33,1	189,3	70	81,8	119,4	8,2	6,7	0,4	38,6	34,7	30,9	189,7
1991	67,1	130,3	30,1	115,7	83,8	7,1	39,4	17,6	28,1	119,6	67,3	580,5
1992	52,3	34	206,1	76	36,2	47,6	29,4	41	4,4	7,4	167,4	155

Çizelge 3. 4. Bolosan akım gözlem istasyonundan alınan verilerin (aylık ortalama akış) aylık olarak değişimi(m^3/sn)

İSTASYON ADI/NO: BOLOSAN / 919												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1987	50,8	23,8	41	35,6	60,6	31,4	8,34	2,02	0,553	0,731	11,6	49,9
1988	11,7	45	88	87,9	45,2	16,1	5,74	2,26	0,686	0,861	36,8	60,3
1989	10,1	15,2	38,5	21,6	44,1	5,62	1,78	0,329	0,046	7,81	64	49,5
1990	16,6	44,3	34,3	23,9	21,4	8,96	2,51	0,209	2,12	1,28	1,59	26,4
1991	4,08	18,9	16,2	26,5	11,7	4,45	1,65	1,36	1,1	3,67	5,19	52,7
1992	15,9	12,5	41,4	55,8	29,5	13,3	5	1,78	0,736	0,415	11,5	28,1

Çizelge 3. 5. Aylara göre debi/yağış oranı değişimleri

Yağış/Debi												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1987	0,48	0,27	0,21	0,41	0,40	0,43	0,23	0,26	0,37	0,06	0,07	0,36
1988	0,16	0,19	0,43	0,52	0,72	0,37	0,38	0,18	0,36	0,01	0,18	0,25
1989	0,29	0,14	0,29	0,83	0,42	0,42	0,18	0,18	0,01	0,05	0,24	0,46
1990	0,50	0,23	0,49	0,29	0,18	1,09	0,37	0,52	0,05	0,04	0,05	0,14
1991	0,06	0,15	0,54	0,23	0,14	0,63	0,04	0,08	0,04	0,03	0,08	0,09
1992	0,30	0,37	0,20	0,73	0,81	0,28	0,17	0,04	0,17	0,06	0,07	0,18
ortalama	0,30	0,22	0,36	0,50	0,44	0,54	0,23	0,21	0,17	0,04	0,11	0,25

Çizelge 3.3 ile Çizelge 3.4’de verilen yağış değerleri ve bu değerlere karşılık mevcut aya ait ortalama akım değerleri kıyaslandığında Çizelge 3.5 deki yağış akış değerleri elde edilmiştir. Aylık yağışların akışa geçişlerinin kıyaslanması için oluşturulan bu tabloda meydana gelen değerlerin ortalaması alınarak hangi ayların birbirine benzer özellikler gösterdiği bulunarak aylar kendi içerisinde 4 kategoriye ayrılmıştır.

Bu oranlar incelendiğinde, en düşük akış/yağış oranına sahip Eylül, Ekim ve Kasım ayları 1. Kategori, ikinci en düşük yağış akış oranına sahip Aralık, Ocak, Şubat, Temmuz ve Ağustos ayları 2. Kategori, diğerlerine oranla daha fazla yağış akış

oranına sahip Mart ayı 3. Kategori ve en fazla yağış akış oranına sahip Nisan, Mayıs ve Haziran ayları ise 4. Kategori olarak düzenlenmesi düşünülmüştür.

3.2. Yöntem

3.2.1. Rasyonel metot

Rasyonel metot yağış ile akış arasındaki bağıntının tespit edilebilmesi için Mulvaney (1851) tarafından ortaya atılmıştır. İlerleyen yıllarda, Kuichling (1889) tarafından yapılan çalışmada, şehir merkezlerinde bir yağış sonucunda atık su şebekelerinde oluşacak maksimum debileri belirlemek için kullanılmıştır. Bu metodun ilk kullanımları olan bu örnekler genellikle havza karakteristiği için önemli bir parametre olan pik debilerin tahmininde kullanılmıştır. Sonraki yıllarda buna benzer çalışmalar İngiltere’de Llyod-Davies (1906), Fransa’da Caquot (1941) ve Orta Avrupa’da Imhoff (1964) tarafından yapılmıştır. Bu modeller yağış şiddetine göre meydana gelebilecek pik debi tahmininde kullanılmıştır.

Çok basit bir yöntem olan rasyonel metot, Kuzey Amerika’da drenaj sistemlerinin hesaplanması için kullanılan yöntemler arasında en çok kullanılan metotlar arasına girmiştir. Daha sonraları rasyonel metot, bir akış hidrografının bütünüünün hesaplanabilmesi için kullanılmaya başlamıştır. Rossmiller (1983), şiddet – frekans – süre eğrilerine dayanarak karar verdiği bir yağış yoğunluğu sabitini kullanarak hidrograf oluşturmaya çalışmıştır. Bunu yaparken rasyonel metodu kullanmış ve rasyonel hidrograf formülü geliştirmiştir. Smith ve Lee (1984) yapmış oldukları çalışmada akış katsayısı ve konsantrasyon (toplanma) zamanına bağlı bir rasyonel hidrograf geliştirmişlerdir. Bu metot akış benzeşimi yapmak için değişken zamanlı yağış yoğunluğunu kullanmaktadır. Bununla birlikte bu metot geçirimsiz tabakaların akarsu akımına olan katkılarını ve gecikmeli akışların katkısını ayırt edememektedir. Bu yüzden uzun süreli kuraklıklardan sonra gelen yağışlar için doğruya çok yakın sonuçlar vermesine karşın ardı ardına gelen yağışlardan meydana gelen akışın hesaplanmasında sorun teşkil edebilmektedir. Guo (2001) zaman konsantrasyonunu hesaba katabilmek için yeni bir formül ile rasyonel hidrograf metodunu geliştirmiştir. Bu metot geliştirilirken sınırlı sayıda veri kullanılması modelin biraz daha

geliştirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Ayrıca model hidrografın başlangıç kısmındaki sızma ve gecikmeli akımları tahmin edememesi de kullanımı zorlaştıran etmenlerdendir. Crobeddu et al. (2007) tarafından kentsel bölgelerde meydana gelen bir yağış sonucunda kent çıkışında oluşacak olan akış hidrografının tahmin edilebilmesi için rasyonel metodu geliştirmeye çalışmışlardır. Çoğu fiziksel olarak kolaylıkla bulunabilen çok az parametre gerektirmesinden dolayı günümüzde de en popüler yöntemlerden bir tanesidir (Yen ve Akan, 1999).

Rasyonel metot genellikle su yapılarının projelendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Projelendirme safhasında proje kesitinde oluşabilecek maksimum debi belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Ayrıca havza modelleme çalışmalarında, bir yağış sonucunda oluşabilecek debinin belirlenmesinde de kullanılabilmektedir.

Rasyonel metodun en genel formülü Denklem 3.1’de verildiği gibidir.

$$Q = c.i.A \quad (3.1)$$

Burada Q yağış sonunda meydana gelen akış miktarı, c havzaya ait akış katsayısı, i yağış şiddeti, A ise havza alanını göstermektedir.

3.2.1.1. Akış katsayısı

Akış katsayısı yağan yağışın ne kadarının sızdığı ne kadarının akışa geçtiğini gösteren bir büyüklüktür. İdeal şartlarda akış katsayısı akış hacminin yağış hacmine oranıdır. Akış katsayısına etkiyen en büyük etmenler bitki örtüsü, jeolojik yapı, eğim ve mevsimsel etkilerdir. Seçilen bölgenin özellikleri farklılık gösteriyor ise bu durumda akış katsayısı Denklem 3.2 deki gibi hesaplanabilir.

$$C = \frac{a_1C_1+a_2C_2+\dots+a_nC_n}{a_1+a_2+\dots+a_n} \quad (3.2)$$

Burada $C_1, C_2, \dots, C_n$ farklı özellikteki bölgelerin akış katsayısını gösteriyor iken $a_1, a_2, \dots, a_n$ bu bölgelerin alanlarını temsil etmektedir.

Genel olarak su geçirmez satırlar %90-95, Dik çıplak satırlar %80-90, dalgalı çıplak satırlar %60-80, düz çıplak satırlar %50-70, dalgalı otlaklar %40-65, yaprak döken ormanlar %35-60, çam ormanları %25-50, meyva bahçeleri %15-40, taban ziraat arazileri %15-40 ve yamaç ziraat arazileri %10-30 akışa sahiptirler. Ayrıca yollar %70-90, iş ve endüstri bölgeleri %50-95 ve yerleşim bölgeleride %30-75 akış oranına sahiptirler (Bayazit 1995).

3.2.2. Thiessen çokgeni

Havza içerisinde ve dışarısında bulunan yağış istasyonlarının hangilerinin havzayı temsil yeteneğinin olduğunu ve bu temsilin ne oranda bulunduğunu gösteren yöntemlerden bir tanesi Thiessen çokgenleridir. Yöntem uygulanırken havza sınırları içerisindeki ve havza sınırları dışındaki tüm istasyonlar koordinatlarına göre harita üzerine yerleştirilir. Bu işlem bittikten sonra birbirine en yakın olan istasyonlar düz bir çizgi ile birleştirilerek üçgenler meydana getirilir. Daha sonraki aşamada ise bu üçgenlerin kenarlarının orta noktalarından dikler çıkılır. Oluşan yeni şekilde her bir istasyonun etki sahası ve bu sahanın büyüklüğü tespit edilebilir.

3.2.3. Sayısal yükseklik modeli

Havza hidrolojisi ve modellemesi gibi konularda, en önemli konuların başında havzanın sınırlarının belirlenmesi ve havzadan geçen nehrin yerinin tam olarak belirlenebilmesi gelmektedir. Günümüze kadar pek çok araştırmacı bu konuda değişik yöntemler denemişlerdir. Bunlardan bir tanesi nehir üzerindeki her nokta üzerinde dolaşarak GPS ile ölçümünün alınması, bir diğeri ise sayısal ve sayısal olmayan haritalar üzerinde çalışma yapılmak suretiyle bir takım verilere ulaşılmasıdır. Bu yöntemlerden ilki olan GPS ölçümü özellikle büyük havzalar ve büyük nehirler için oldukça zor ve zaman alıcı bir yöntemdir. İkinci yöntemde ise veri bakımından oldukça güçlü ve hassas haritalar gerektirmektedir. İki yöntemin ise

en önemli ortak tarafı oldukça çok zaman almalarıdır (Mueller, 1979). Genellikle en yaygın kullanılan model ise sayısal yükseklik modelidir (SYM). SYM havzanın küçük hücrelere bölünerek bu hücrelerin ortalama yüksekliklerinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Bu yöntem uygulanırken havzanın koordinatlarının ve bu koordinatlara karşılık gelen yükseltilerin çok hassas olarak ölçülmesi gerekir.

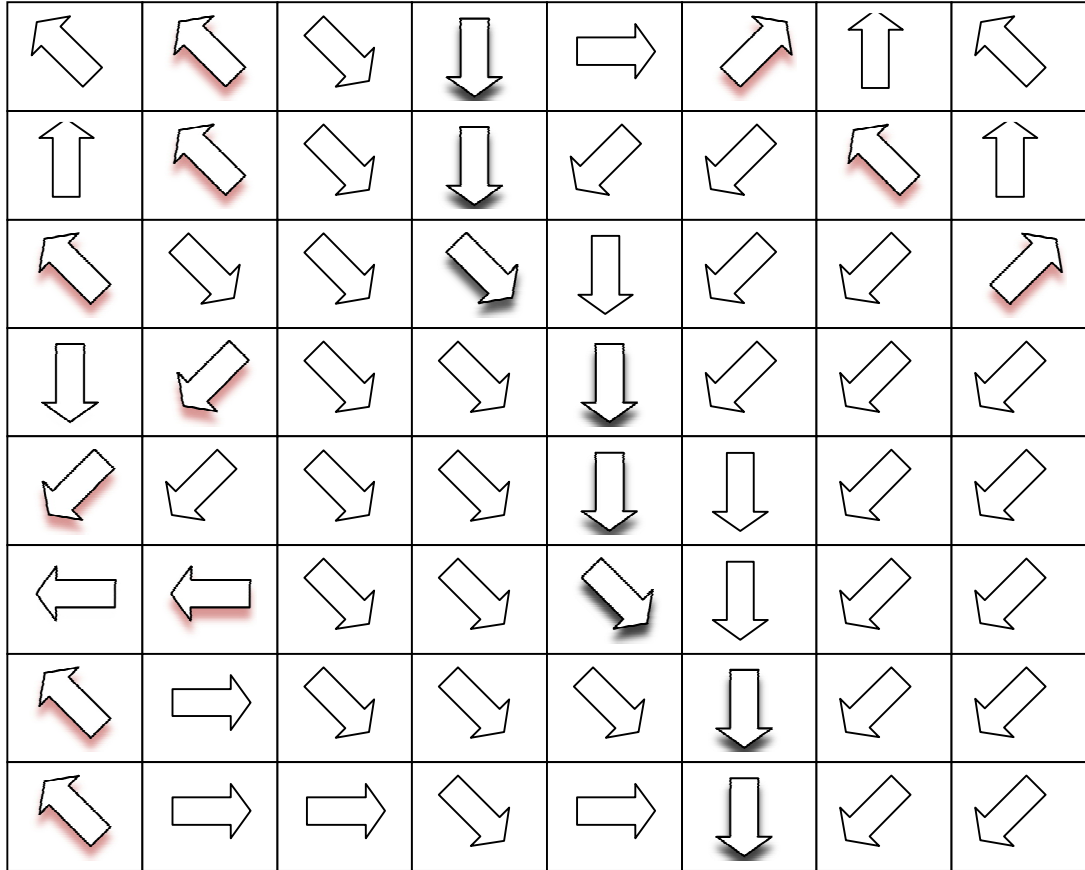
Peuker ve Douglas (1975), arazi yüzeyindeki iç bükey kısımları SYM yardımı ile ortaya çıkararak bir arazinin su toplama çizgilerini tespit etmişlerdir. Mark (1984) yapmış olduğu çalışmada Peuker ve Douglas (1975) ın yapmış olduğu çalışmaya ek olarak arazi yüzeyinin bir benzerinin sayısal ortama aktarılması ile akış doğrultularının belirlenebileceğini ve bununla su toplama çizgilerinin gösterilebileceğini öne sürmüştür. Yine aynı yıl Yeoli (1984), topografik yapı ile kartografik tanımları kullanan bir algoritma ile arazinin karakteristik çizgilerini çıkartmaya çalışan STRUCT programını geliştirmiştir. Seemuller (1989) çalışma alanındaki tüm su toplama bölgelerini ağacın dallarına benzeterek tüm dalları sırasıyla toplayıcıya bağlamıştır. Tarboton vd. (1991) akış yönünü belirlemek için kullanılan eğimin bulunmasına yönelik çalışmada bulunmuştur. Martz ve Garbrecht (1992) su toplama çizgilerinin kesişim noktalarının bir dizin içinde tutularak işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekliliğini vurgulamıştır. Meisels et al. (1995) ise su toplama çizgilerinin iskelet yapısını çıkarmayı denemiştir. GRASS programını kullanan Wood (1996) su toplama ve su dağıtma çizgilerini görüntü işleme teknikleri ile tespit etmiştir. Turcotte et al. (2001) Turcotte Sayısal Nehir ve Göl Ağı adında yeni bir model tanımlayarak bu modeli SYM ile beraber kullanmış ve böylelikle su toplama çizgilerini ve su havzalarını tespit etmeyi amaçlamıştır. Jones (2002) yaptığı çalışmada Öncelikli ilk araştırma algoritması adını verdiği bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın temelinde SYM içinde bulunan düşük seviyeli noktaların çizgi sürekliliğini bozduğu ve bir ağ yapısının oluşmasına engel olduğu düşüncesi ile düşük noktalı seviyeleri çıkarması bulunmaktadır. Gülgen (2003), çalışmada kendinden önce yapılan çalışmaları özetlemiştir ve arazi üzerinde karakteristik çizgilerin otomatik olarak türetilmesiyle ilgili bir çalışma yapmıştır.

Pike (1993) yayınladığı geomorfolojinin biyografisi ile ilgili makalesinde o güne kadar yayımlanmış 100'ün üzerinde SYM çalışmasını özetlemiştir. Araştırmacıların bazıları SYM' den elde edilen sonuçları yaptıkları çalışmaların bir aracı olarak kullanmışlardır (Burrough and McDonnel, 1998; Fekete et al., 2001; Jenson and Domingue, 1988; Moore et al., 1991; Olivera et al., 2002; Verdin and Verdin, 1999). Bazıları ise kullandıkları programlar ile Sayısal Yükseklik Modelini koordineli şekilde kullanmışlardır. Olivera (2001) HEC-HMS yağış akış modelini, Olivera et al. (2006) SWAT modelini, Reed (2003) HL-RMS modelini, Paz et al. (2006) ise TOPMODEL ile SYM'den elde ettikleri verileri otomatik olarak koordinesini sağlamışlardır. Sayısal Yükseklik Modelinin en çok kullanılan ve en çok bilinen uygulaması ise D8 (Deterministik sekiz komşu) dir (Paz et al., 2008). Bu yaklaşımda bütün havza küçük hücrelere bölünür ve her hücrenin ortalama yükseltisi ait olduğu hücreye girilir (Şekil 3.5)

80	90	120	130	105	95	120	100
100	120	110	100	120	130	140	130
95	115	100	85	90	120	110	120
105	100	93	84	80	90	95	100
75	105	90	75	70	85	90	95
70	95	85	70	65	80	85	90
80	105	79	65	50	45	80	85
90	100	85	60	55	40	75	80

Şekil 3. 5. Havzanın hücrelere bölünmesine ve yüksekliklerinin (m)bu hücrelere yazılmasına ait bir örnek

Daha sonra her bir hücre çevresindeki 8 hücre ile kıyaslanır. Şayet karşılaştırılan hücre çevresindeki tüm hücelere göre en yüksek noktada ise bu hücre havzanın üst sınırı olarak düşünülebilir. Kıyaslama yapılan hücre, komşu hücreler arasında en düşük kota sahip değilse bu hücreden yükseltisi en az olan hücreye doğru akım olduğu düşünülür ve o yönde bir ok işareti çizilir. Karşılaştırma yapılan hücre, çevresindeki tüm hücrelerden yükselti olarak en düşük nokta ise bu noktada da çukur olduğu varsayılır. Bu şekilde bütün hücreler çevresindeki hücreler ile kıyaslanarak yön işaretleri oluşturulur. Daha sonra bu yönle bakılarak akarsuyun kolları ve havzanın sınırları çizilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6. Hücresel akış yönlerinin tespit edilmesi

3.2.4. Bulanık mantık

Günlük hayatta kesin olarak bilinmeyen veya önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşabilir. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir (Şen, 2001).

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyişten kaynaklanır. Bilgisayarlar bu tür belirsizlikleri işleyemezler, çünkü bilgisayarların çalışması için sayısal bilgiler gereklidir. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme, oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh 1965 yılında, gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir (Şen, 2004).

1965’de L. A. Zadeh (Lütfi Askerzade), yeni bir matematiksel yöntemi açıklayan “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” adlı ünlü makalesini Information and Control isimli dergide yayınlamıştır. Bu yöntem, “kısa adam”, “ güzel kadın” veya 1’den daha büyük gerçek sayılar” gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh’in kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu kuramın gerçek uygulamaları da başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümeler kuramının ana fikri, tamamen sezgisel ve doğal olmasıdır (Sakawa, 1993).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Şen, 2004).

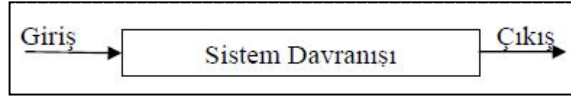
3.2.4.1. Bulanık kümeler ve üyelik dereceleri

Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışıla gelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Bulanık kümeler kavramında ise 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması gerekir:

1. Bulanık küme normaldir, yani kümede bulunan elemanlardan en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekir.
2. Bulanık küme monotondur, yani üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik dereceleri de 1'e yakın olmalıdır.
3. Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

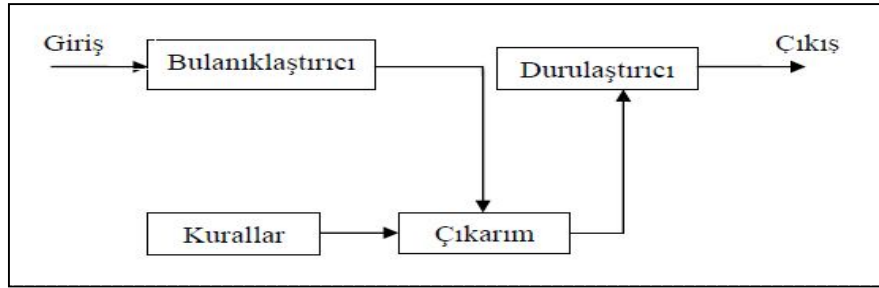
Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Yani bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasına gerek yoktur.

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.7'de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır (Şen, 2004).



Şekil 3. 7. Klasik sistem (Şen, 2004)

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 3. 8. Bulanık mantığın temel elemanları(Şen, 2004)

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. Bulanıklaştırıcının görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. Kurallar “Eğer-İse” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır.

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel (linguistic) bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın çıkarım makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. Durulaştırma esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde bir çok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en

yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir (Teodorovic and Vukadinovic, 1998). Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır (Şen, 2004):

1. **Genel Bilgi Tabanı Birimi:** İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenleri ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca **giriş** adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

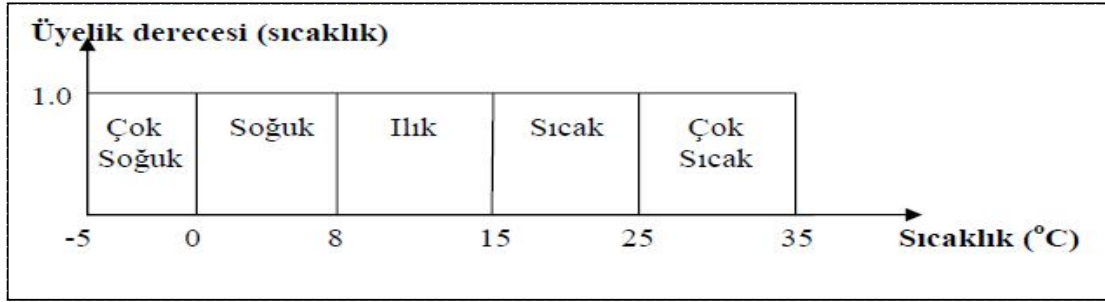
2. **Bulanık Kural Tabanı Birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ve çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını, çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

3. **Bulanık Çıkarım Motoru Birimi:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin nasıl çıktı vereceğini belirleyen işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

4. **Çıktı Birimi:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının, bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değeri topluluğunu belirtir (Şen, 2004).

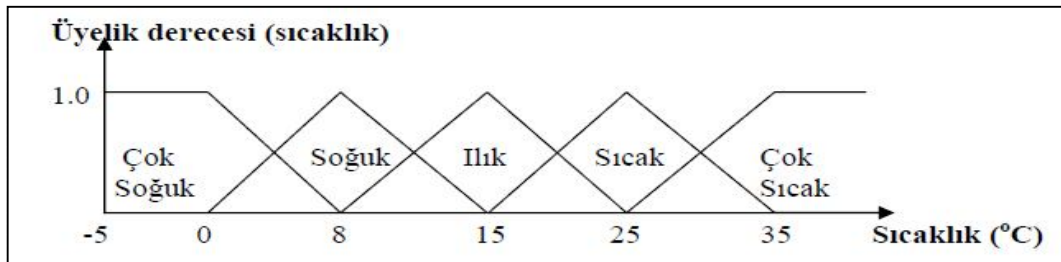
3.2.4.2. Üyelik fonksiyonları

Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul'da sıcaklık derecesinin değişim aralığının yaklaşık olarak - 5 °C'den + 35 °C'ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, 'çok soğuk', 'soğuk', 'ılık', 'sıcak', 'aşırı sıcak' gibi. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bu aralıklar için tahminlerde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şen, 2004).



Şekil 3. 9. Bitişik dikdörtgen gösterim (Şen, 2004)

Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin 7.9 °C'nin soğuk, 8.1 °C'nin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1'e, diğer aralıklarda ise 0'a eşit olduğudur. Bu nedenle, her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1'e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir. Aslında, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceği söylenirse, daha mantıklı olur. Çünkü ılık sınırının +5 ile +15 °C'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağı düşünülemez. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu fonksiyonların simetrik olması zorunlu değildir. Problemin özelliklerine göre simetrik olmayan üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılabilir.



Şekil 3. 10. Örtüşmeli üçgen gösterimi (Şen, 2004)

3.2.4.3. Bulanıklaştırma

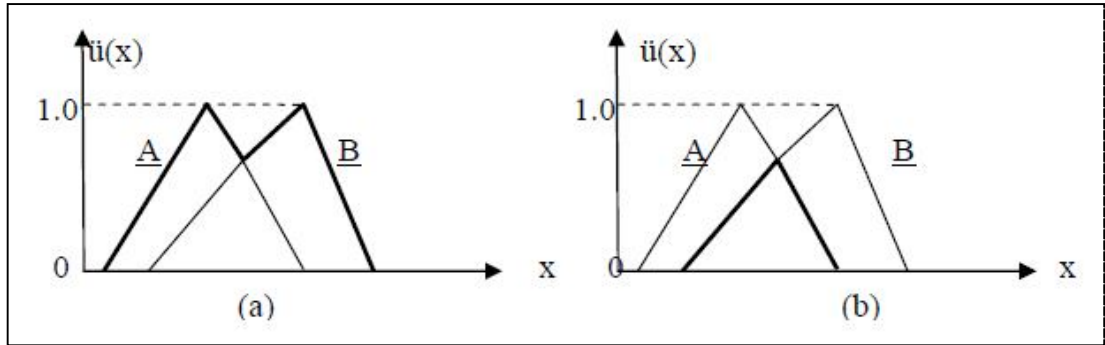
Pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun

için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin başlıcaları; a) sezgi, b) çıkarım, c) mertebe, d) açılı bulanık kümeler, e) yapay sinir ağları, f) genetik algoritmalar, g) çıkarımcı muhakemedir (Şen, 2004).

3.2.4.4. Durulaştırma

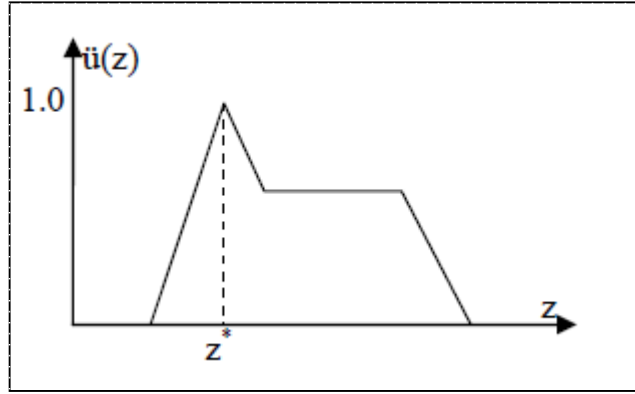
Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gereksinim duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık bilgilerin durulaştırılması (defuzzification) gerekmektedir. Şekil 3.11'de iki farklı bulanık çıkarım görülmektedir. Gerçek bir uygulamada bunlara benzer veya daha farklı şekiller ortaya çıkabilir.

Durulaştırma işlemlerinde kullanılan yedi farklı yöntem vardır. Bunların hangisinin kullanılacağına, elindeki sorunun türüne göre araştırma ve tasarım yapanın karar vermesi gerekir. Burada z^* durulaştırılmış değeri gösterir (Şen, 2004).



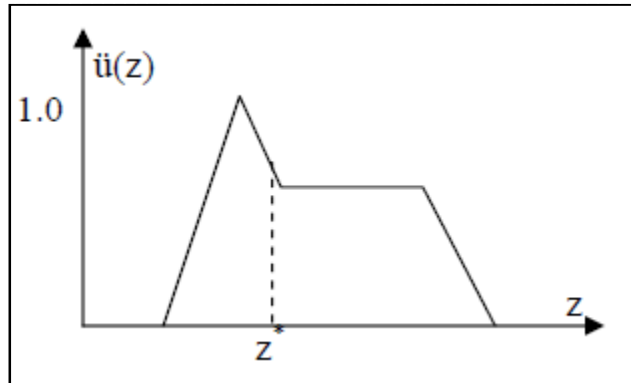
Şekil 3. 11.İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi (Şen, 2004)

1. En büyük üyelik ilkesi: Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 3.12, bu durulaştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 3. 12. En büyük üyelik derecesi durulaştırması (Şen, 2004)

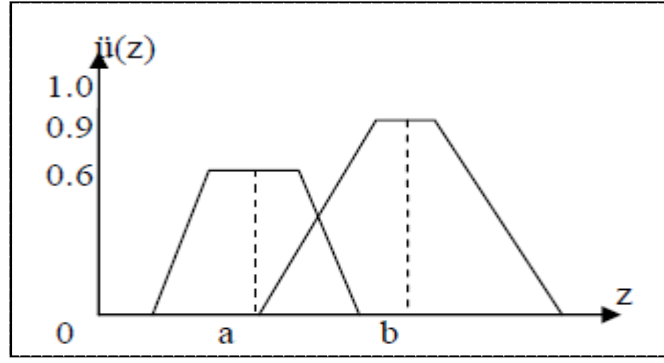
2. Sentroid yöntemi: Diğer bir adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 3.13, bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 3. 13. Sentroid yöntemi durulaştırması (Şen, 2004)

2. Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekir. Örnek olarak Şekil 3.14’de görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri) Denklem 3.3 ile hesaplanabilir.

$$Z^* = \frac{\alpha(0,6) + b(0,9)}{0,6 + 0,9} \quad (3.3)$$

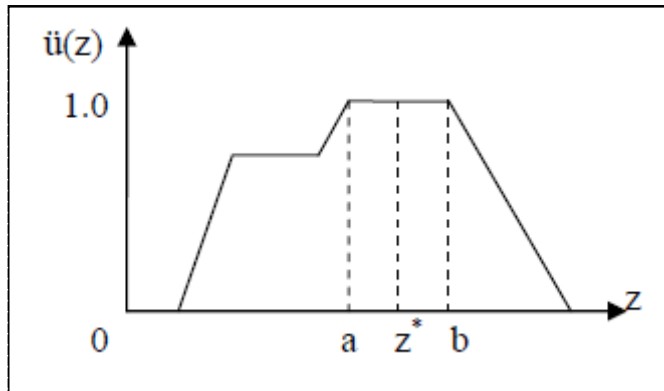


Şekil 3. 14. Örnek bulanık küme

4. Ortalama en büyük üyelik: Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortalaması yöntemi olarak da bilinir. Bu bakımdan en büyük üyelik derecesi yöntemine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Şekil 3.15’de gösterilen durulaştırma işlemine ait bu yönteme göre durulaştırılmış değer Denklem 3.4 ile bulunur.

$$Z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.4)$$

Buradaki a ve b değerleri şekilde gösterilmiştir.

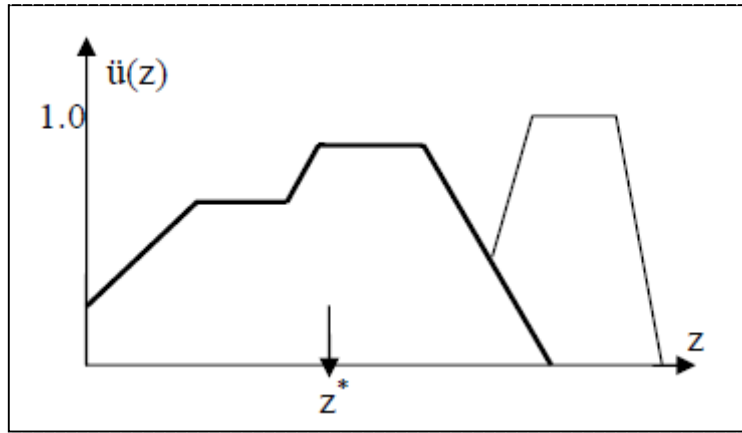


Şekil 3. 15. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

5. Toplamların merkezi: Durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamaları kullanılır. Bunun bir sakıncası, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Bir

bakıma bu hesaplama tarzı ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzer. Ancak bu yöntemde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu, üyelik derecesidir.

6. En büyük alanın merkezi: Eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, bu bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 3.16, örnek bir durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 3. 16. En büyük alan merkezi ile durulaştırma (Şen, 2004)

7. En büyük ilk veya son üyelik derecesi: Bu yöntem de, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük veya en büyük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır.

3.2.4.5. Bulanık kurallar ve sistemler

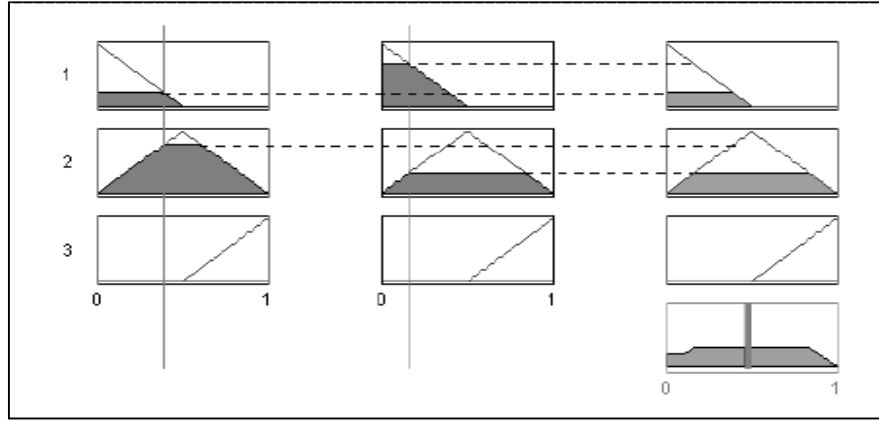
Makineler tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işlemi için değişik yollardan bir tanesi de, bilgiyi sanki insan diline benzer bir ifade ile temsil etmektir. Bu, en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede EĞER-İSE olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede EĞER-İSE (IF-THEN) kelimeleri ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan EĞER ile İSE kelimeleri arasında bulunan kısma öncül

veya ön şartlar, İSE kelimesinden sonra kısma ise soncul veya çıkarım adı verilir. Genel kural olarak, ‘EĞER öncül İSE çıkarım’ şeklinde yazılır. İşte, bu türlü yapısı olan ifadelere ‘EĞER-İSE kural tabanlı biçim’ adı verilir. Bu ifade, bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile, bunların ışığı altında, faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir. Bu tür bilgilere sıgı bilgileri adı verilir. Çünkü bunlar insanın kendisinin kişisel deneyim ve tecrübelerinden hareketle çıkardıkları bilgilerdir ve yerine göre çok da nesnel (objektif) değildir. Halbuki derin bilgiler ise, daha ziyade sezgi, yapı, fonksiyon ve eşyalar arasındaki davranış biçimlerine göre elde edilir. Derin bilgilerin, sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün değildir. Bu bilgilerin oluşmasında yılların gözlem, deney ve birikimleri vardır. Kural tabanlı olan bilgilerin uzmanlar tarafından verilen bilgilerden farklı tarafı, kural tabanlı olanların insan uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilmesidir. Kural tabanlı olan bilgilerin gerek öncül, gerekse çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemler yapılır (Şen, 2004).

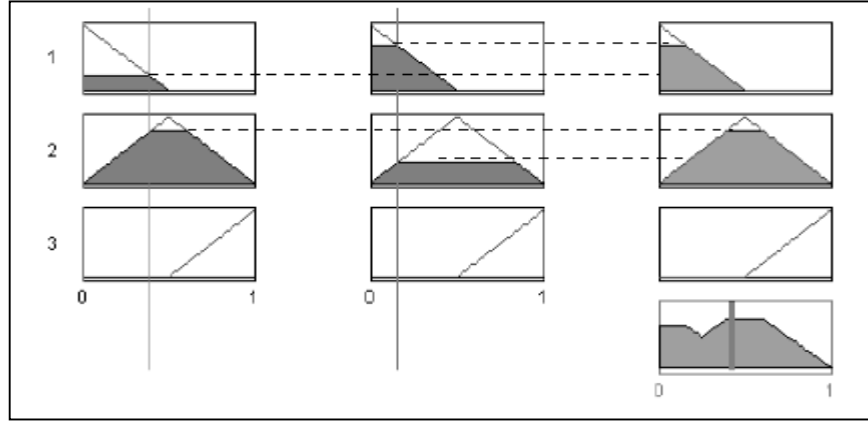
3.2.4.6. Grafik çıkarım teknikleri

Çıkarım yöntemlerini anlatabilmek için, iki tane öncül bir tane de çıkarımı olan EĞER-İSE kural tabanlı bir sistem düşünelim. Genel olarak bu sistemin iki tane girdisi bir tane çıktısı vardır. Şekil 3.17’de kural “VE” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda En Büyük-En Küçük (EB-EK) kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden küçük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da mevcut üç kuraldan sadece ikisinin çalışmasıdır. Üçüncü kuraldaki şartlar sağlanmadığı için hesaplama yapılmamıştır.

Şekil 3.18’de kural “VEYA” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda EB-EB kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden büyük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır.



Şekil 3. 17. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması (Şen, 2004)



Şekil 3. 18. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması (Şen, 2004)

3.2.5. Yapay sinir ağları

Bilimin bir çok dalında değişik şekillerde kullanılan yapay sinir ağları (YSA) son yıllarda klasik havza modellemeleri ve yağış – akış modelleri içinde alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Kaynak taraması kısmında bu konu üzerinde çalışan araştırmacılar ve çalıştıkları yöntemler üzerine detaylı şekilde durulan YSA hakkında bu bölümde de işleyişi ve modellerin oluşturulması üzerinde durulacaktır.

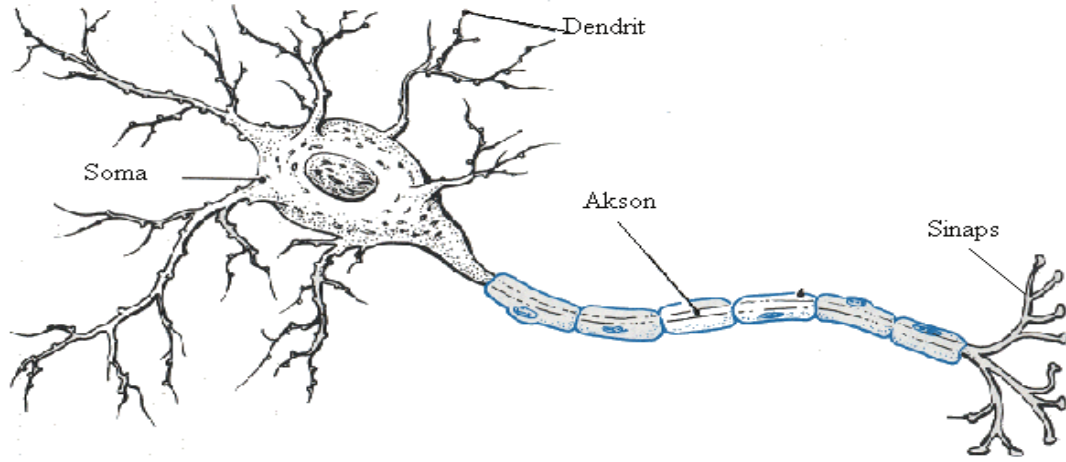
3.2.5.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi

İnsanoğlu binlerce yıldır insan beyni üzerine araştırmalar yapmaktadır. Ancak bu araştırmalar modern elektronik sistemlerin keşfi ile hız kazanmıştır. İlk olarak YSA'nın temeli bir nörofizyolojist olan McCulloch ve genç bir matematikçi olan Pitts (1943) tarafından basit elektrik devrelerinin sinir ağları ile modellenmesi ile ortaya atılmıştır. 1950'li yıllarda başlayan bilgisayar teknolojisi sayesinde hız kazanan YSA modellerinden gerçek dünya problemlerindeki ilk uygulaması, Widrow and Hoff (1960) tarafından ADALINE ve MADALINE olarak isimlendirilen telefon dalgaları üzerindeki ekoları elimine etmek amacı ile yazılan programdır. Bu başarılı çalışmaların ardından yapay sinirler ile ilgili çalışmalar ivme kazanmaya başlamıştır. Özellikle seksenli yıllar için yapay sinirlerin atılım yılları denilebilir. 1982 yılında Hopfield yapay sinir ağlarının matematik temellerini üretmiştir. Bu çalışmalarında kullanışlı bir aletin nasıl yapılabileceği ve matematiksel olarak analizlerin yapılabilmesi hakkında bilgiler vermiştir. 1985 yılında Amerikan Fizik Enstitüsü bilgisayarlarda yapay sinirlerin kullanımına ilişkin bir çalışma başlatmış ve bu konuda yapılacak olan çalışmaları destekleme kararı almıştır. 1987 yılında ise Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü tarafından bu alanda yapılan ilk uluslararası konferans olma özelliğini taşıyan toplantıya 1800'ü aşkın katılımcıyla gerçekleştirilmiştir (Anderson and McNeill, 1992). Günümüzde ise yapay sinirlerin kullanımı hızla artan bir şekilde devam etmekte ve buna paralel şekilde de geliştirilmektedir.

3.2.5.2. Beyin sinir hücresi yapısı ile yapay sinir ağları yapısı

Yapay sinir ağları yapı olarak bir beyin sinir hücresini taklit eden yapıya sahiptirler. Bunun için öncelikle yapay sinir ağlarının özelliğini anlayabilmek için bir sinir ağının yapısını incelemek daha doğru olmaktadır. Beyin sinir hücreleri genel olarak çok kutuplu, iki kutuplu, bir kutuplu ve anaksonik olmak üzere gruplandırılabilir. Genel olarak yapay sinir ağlarının taklit etmeye çalıştığı yapı çok kutuplu tipe girmektedir. Bu yapıda çok sayıda dendrit ve tek bir akson vardır. Bu hücrelerde 4 temel bileşen vardır (Şekil 3.19). Bunlar dendritler, soma,

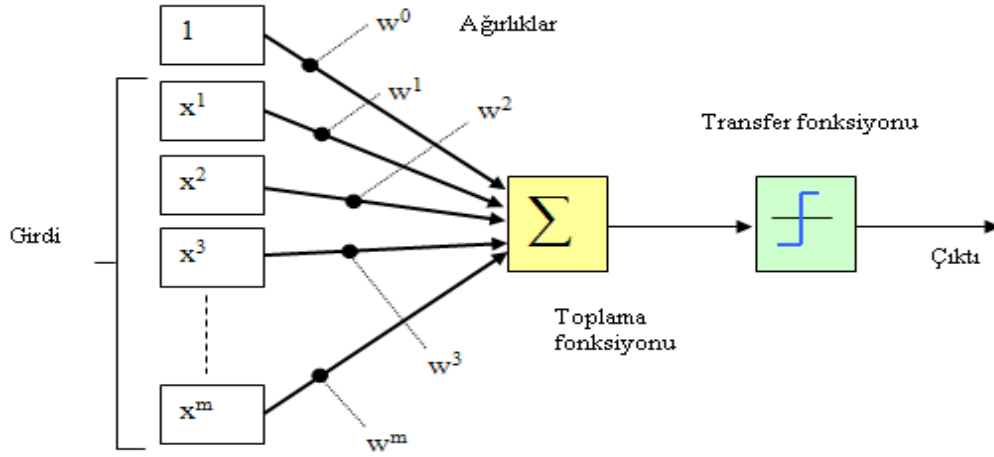
akson ve sinapslardır. Dendritler diğer sinirlerden gelen girdileri alır ve somaya iletir. Soma girişleri doğrusal olmayan bir şekilde işler. Akson işlenmiş girişleri çıkışa aktarır. Sinapslarda diğer sinirlere çıkışı gönderir (Elmas, 2003) İnsan beyni bu hücrelerden milyonlarcasının bir araya gelmesinden oluşan bir yapıdır. Her sinir hücresinin bir işlevi olmasına karşın çoğu zaman tek başına çok fazla bir şey ifade etmemektedir. Bu hücrelerin bir araya gelmesi ve birbiri ile olan uyumu sayesinde olayların çözümüne ulaşılmaktadır. Ancak bazı durumlarda sadece bu hücrelerin bulunması insanın bazı şeyleri algılaması için yeterli olmamaktadır. İç güdü dışındaki öğrenme ve uygulama gerektiren işlevler zamanla tekrar neticesinde kazanılmaktadır. Bir olayın tekrar edilmesi beynin ona karşı verdiği cevabın doğru olma şansını arttırmaktadır. Yapay sinir ağlarında da aynı durum söz konusudur. Modellemede kullanılan nöron sayısı ve eğitimde kullanılan tekrar ve veri sayısı modellerin doğruluğu açısından son derece önemlidir.



Şekil 3. 19. Biyolojik bir beyin sinir hücresi (Cedarcrest, 2010)

Yapay sinir ağlarının genel yapısı da Şekil 3.20’de verildiği gibidir. Bu yapıda da beyin sinir yapısında olduğu gibi 4 ana yapı mevcuttur. Öncelikle sisteme girdi verilmesi gerekmektedir. Bu girdiler belirli ağırlıklarla atanarak toplama işlevine aktarılırlar. Toplama işlevine aktarılan bu veriler daha sonra etkinlik işlevi olan transfer fonksiyonuna gönderilir. Burada eğitilen veriler tekrardan toplama

fonksiyonuna geri gönderilir. Döngü öğrenme aşaması tamamlanana kadar devam ettirilir. Öğrenme sona erdikten sonra çıktı olarak elde edilebilir (Anderson and McNeill, 1992).



Şekil 3. 20. Yapay sinir ağı yapısı (The Code Project, 2010)

Girdiler: Girdileri bir nöron yapısının çalışabilmesi için olmazsa olmazlardan birisi olarak niteleyebiliriz. Belli bir olayı etkileyen birbirine bağımlı parametrelerin belli bir düzen çerçevesinde modele sokularak tanıtılması gerekmektedir. Bu yüzden nöronlar yardımı ile model oluşturulacak iken bu modelde kullanılacak verilerin olayı tamamen temsil edebilecek yeterlilikte olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Şayet olayın tamamını değil de bir kısmını açıklayabilecek nitelikte veriler kullanılması veya olayla bağımsız verilerin kullanılması insan beyninde olduğu gibi yapay sinir ağları hücreleri tarafından problemin gerçekliğinin anlaşılmasını zorlaştıracak ve doğru sonuçlar elde edilemeyecektir.

Ağırlıklar: Bir olayı etkileyen birden fazla parametre olması durumunda her parametrenin gerçekleşen olayı aynı oranda temsil etmesi beklenemez. Bundan dolayı her parametrenin bir ağırlığının olması ve bu ağırlığı çerçevesinde modele katılmasını sağlamak gerekmektedir. İşte bu noktada yapay sinir ağları model oluşturulurken sisteme girilen parametreler arasındaki bağları karşılaştırarak en uygun ağırlıkları atamaya çalışmaktadır. Böylelikle sonuçların doğruya daha yakın

olmasını sağlamaktadır. Modele girilen parametrelere ait verilerin çok olması nöronların bu ağırlık atama işlemini doğruya yakın oluşturmaları bakımından son derece önemlidir.

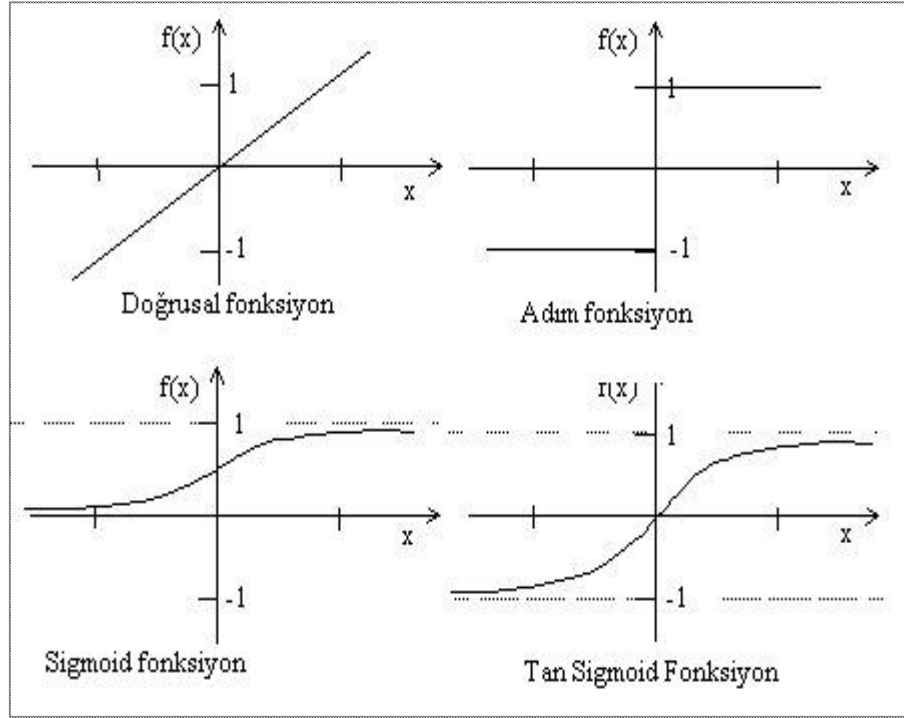
Toplama İşlevi: Toplama işlevi nöronda her bir ağırlığın ait olduğu ağırlıkla çarpımlarının toplamına eşik değerlerin eklendiği bir fonksiyondur (Denklem 3.5). Ancak bu işlev her zaman için bu kadar basit olmayabilmektedir. Problemin özelliğine göre bu fonksiyonun yanı sıra toplama fonksiyonu olarak minimum, maksimum, çarpım veya rastgele normalleştirme fonksiyonları da seçilebilmektedir (Elmas, 2003).

$$V_i = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + \theta_j \quad (3.5)$$

Burada V_i toplama işlevi, w_{ij} ağırlık, x_i girdi ve θ_j ise toplamaların eşik değerini göstermektedir.

Transfer Fonksiyonu: Toplama işleminin sonucu etkinlik işlevinden geçirilerek çıkışa iletilir. Transfer fonksiyonu için belirli bir eşik değer belirlenir fonksiyondan elde edilen değer bu eşik değerinden büyük ise eğitim döngüsünü devam ettirir ve yeni bir değer belirler. Bu değer verilen eşikten küçük olduğu anda döngü sinyali sona erer ve modelleme genellenir. Ancak transfer fonksiyonunun işlevi sırasında eşik değerden daha büyük değer elde edilmesine rağmen kullanıcının görüşüne paralel olarak da modelleme bitirilerek sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Transfer fonksiyonu olarak genellikle doğrusal olmayan logaritmik sigmoid ve tanjant sigmoid fonksiyonları kullanılmaktadır. Bazı basit problemlerin çözümünde ise doğrusal bir fonksiyon olan düz çizgi fonksiyonu kullanılabilmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3. 21. Transfer fonksiyonları

Çıkış İşlevi: Transfer fonksiyon sonucunu dış dünyaya veya diğer sinirlere ileten yapıdır. Bir sinirin sadece bir çıkışı vardır. Bu çıkış aynı insan beyni sinir hücresinde olduğu gibi kendi bünyesinde değerlendirip başka bir hücreye iletebilmektedir.

Öğrenme: Öğrenme kuralı Hebbian öğrenme kuralı denilen basit bir modele dayanmaktadır. Hebbian öğrenme kuralı temel olarak eğer iki düğüm aynı zamanda etkin ise aralarındaki bağ gücü artar kuramına dayanmaktadır. Öğrenmenin amacı, her bir düğümün girişlerindeki değişken bağlantı ağırlıklarını derlemektedir. İstenen bazı sonuçları elde edebilmek için, giriş bağıntılarının ağırlıklarını değiştirme işlemi uyma işlevi olarak adlandırılabilirdiği gibi öğrenme kipi olarak ta adlandırılabilir (Elmas, 2003).

3.2.5.3. Bir yapay sinir ağı ve yapısı

Genellikle sadece giriş ve çıkış katmanı olan gizli katmana sahip olmayan ağlar karmaşık işlemleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu yüzden karmaşık yapıları

çözmek için en az bir gizli katman kullanmak gerekmektedir. Genel olarak bir yapay sinir ağı giriş katmanı, bir veya birden fazla gizli tabaka ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Bir katmandaki her sinir, bir sonraki katmandaki bütün sinirler ile bağıntılıdır. Aynı katmandaki sinirler arasında bir bağıntı yoktur. Giriş katmanından alınan girdiler, giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak aynı şekilde gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirlerde kendisine gelen bu girişleri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler. Burada giriş katmanından çıkış katmanına doğru, gizli katmanlar üzerinden tek yönlü bir iletişim mevcuttur (Elmas, 2003).

Bütün yapay sinir ağları farklı katman ve farklı nöron sayılarından oluştuğu için hepsinin mimarisi farklıdır. Bu farklı mimari yapısına göre farklı ağ tipleri mevcuttur. Bu öğrenme yapılarından en çok kullanılan ve tahmin modellemeleri için en uygun olanı ileri beslemeli geri yayımlı yapıdır. 1970'li yılların başında geliştirilen bu yapı doğrusal olmayan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Yapı olarak geriye yayılım ağı bir girdi, bir çıktı ve en az bir gizli tabaka yapısı ile oluşturulabilmektedir. Teorik olarak gizli tabaka sayısında bir sınırlama olmamasına rağmen bir veya iki gizli tabaka en çok kullanılan geri besleme ağ yapısıdır. Gizli tabaka seçiminde önce problemin zorluk derecesine bakılarak karar verilmelidir. Karmaşıklık arttıkça gizli tabaka sayısı arttırılmalıdır. Şayet problemin çözümü birkaç aşamaya bölünebileceği fikri ağır basıyor ise bu durumda gizli tabaka sayısının arttırılması mantıklı olmakla beraber tek aşamalı çözümlerde birden fazla gizli tabaka kullanılması modelin doğruluğunu arttırmakla beraber yalnızca bir ezber oluşmasına neden olacaktır. Modelin ezber ile doğru sonuca ulaştırılması yeni verilecek girdi verileri için doğru olma ihtimalini azaltacaktır (Anderson and McNeill, 1992).

Yapay sinir ağı yapı olarak iki ana gruba ayrılır. Bunlar:

1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: En genel halde giriş tabakası, saklı tabaka ve çıkış tabakası olmak üzere üç tabakalı bir yapıya sahiptirler. Bu tür ağ yapısında nöronlar arka arkaya beslenirler. Öğrenme aşamasında girdi modelleri ağın giriş terminallerine sunulur. Birinci tabakadaki nöronlar çıktıları hesaplarlar ve bir sonraki tabakaya girdi değeri olarak gönderirler. Sırasıyla her bir tabaka aynı işlemi yapar. En uç tabakanın çıktı değerleri de işlemi sonuçlandırır.
2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Bu tür ağlarda diğerlerinin aksine, tabakalar arasındaki bağlantıya ilave olarak tabakadaki her bir nöron da birbirleriyle bağlantılıdır. En popüler geri beslemeli ağ tiplerinden biri olan Kohonen (1987) ağları, kendi kendini organize edebilen, kullanımı zor olmasına karşın çok güçlü ve hızlıdır. Denetlenmemiş öğrenme kullanırlar. Hopfield (1982) ağları ise ağın enerjisini minimize eder ve bu durumda ağda meydana gelen değişiklikleri analiz ederek ağırlıkları adapte eder. Bu yüzden daha çok optimizasyon problemlerinde kullanılırlar.

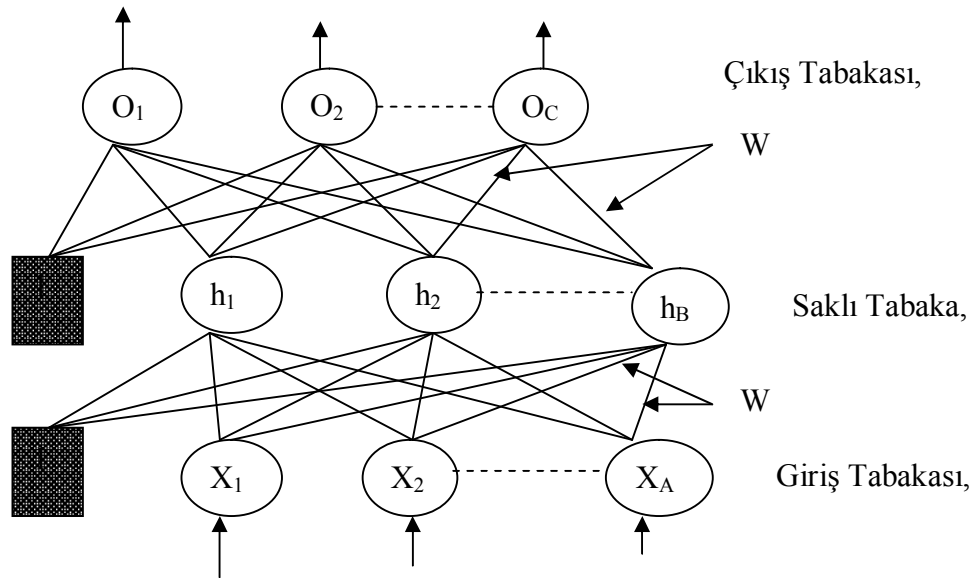
3.2.5.4. Geri yayılmalı yapay sinir ağı

Geri yayılma terimi gerçekte yapay sinir ağları için özel bir öğrenme kuralıdır. Ancak, genellikle geri yayılma algoritması kullanılan sinir ağının mimarisi olarak algılanır. Geri yayılmalı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Geri yayılmalı yapay sinir ağlarında aynı tabakadaki nöronlar arasında bağlantı mevcut değildir. Ancak, tabakadaki her bir nöron bir ileri tabakadaki her bir nörona ayrı ayrı bağlıdır ve bunların giriş değerlerini verir. Bu tür yapay sinir ağları denetimli öğrenme kuralını kullanılırlar. Buna göre hem giriş hem de çıkış değerlerinin mutlaka bilinmesi gerekir.

Bir geri yayımlı sinir ağının işlem üniteleri en az üç tabakadan meydana gelir. Bunlar Şekil 3.22’de görüldüğü gibi bir giriş tabakası, saklı tabaka ve bir çıkış tabakasıdır.

Giriş tabakası, giriş veri gruplarının ağına sunulduğu terminallerdir. Bu tabakadaki nöron sayısı, A , giriş veri sayısı kadardır ve her bir giriş nöronu bir veri alır. Burada veri işlenmeden bir sonraki saklı tabakaya geçer.

Saklı tabaka, ağın temel işlevini gören tabakadır. Bazı uygulamalarda ağda birden fazla saklı tabaka bulunabilir. Saklı tabaka sayısı ve tabakalardaki nöron sayısı, B , probleme göre değişir, tamamen ağ tasarımcısının kontrolündedir ve onun tecrübesine bağlıdır. Bu tabaka girdi tabakasından aldığı ağırlıklandırılmış veriyi probleme uygun bir fonksiyonla işleyerek bir sonraki tabakaya iletir. Bu tabakada gereğinden az sayıda nöron kullanılması giriş verilerine göre daha az hassas çıkış elde edilmesine sebep olur. Aynı şekilde, gerektiğinden daha çok sayıda nöron kullanılması durumunda da aynı ağda yeni tip veri gruplarının işlenmesinde zorluklar ortaya çıkar.



Şekil 3. 22. Geri yayımlı yapay sinir ağının genel yapısı.

Çıkış tabakası, ağıın en uç tabakasıdır. Saklı tabakadan aldığı veriyi ağıın kullandığı fonksiyonla işleyerek çıktısını verir. Çıkış tabakasındaki nöron sayısı, C , ağıa sunulan her verinin çıkış sayısı kadardır. Bu tabakadan elde edilen değerler yapay sinir ağıının söz konusu problem için çıkış değerleridir.

İleri besleme safhasında, giriş tabakasındaki nöronlar, veri değerlerini doğrudan saklı tabakaya iletirler. Saklı tabakadaki her bir nöron kendi giriş değerlerini ağıırlandırarak toplam değer hesap ederler ve bunları bir taşıma fonksiyonu ile işleyerek bir ileri tabakaya veya doğrudan çıkış tabakasına iletirler. Tabakalar arasındaki ağıırlıklar başlangıçta rasgele küçük rakamlardan seçilir.

Çıkış tabakasındaki, her bir nöron ağıırlıklandırılmış değeri hesaplandıktan sonra, bu değer yine taşıma fonksiyonu ile işlenerek sinir ağıının ilk çıkış değeri hesaplanmış olur. Bu değer istenen çıkış değeri ile karşılaştırılarak mevcut hata hesaplanır ve hata minimize edilmeye çalışılır. Hata değeri belirli bir mertebeye ininceye kadar iterasyon işlemine devam edilir ve böylece ağıın eğitim aşaması tamamlanmış olur. Tabakalar arası bağlantılardaki ağıırlık değerleri eğitimi tamamlanmış ağıdan alınarak deneme safhasında kullanılmak üzere saklanır.

İleri besleme safhasında i 'inci tabakadaki çıkış değerleri uygun ağıırlıklar (W_{ij}) ile çarpılır ve bu saklı tabakaya giriş değeri olarak sunulur. O_i , i 'inci tabakadaki her nöronun çıkış değeri bir ileri tabaka olan j tabakasının bir nöronundaki toplam giriş değeri,

$$X_j = \sum_i W_{ij} O_i \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir ve j tabakasının bir nöronundaki çıkış değeri ise,

$$O_j = f_j(X_j) \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada, f_j taşıma fonksiyonu olarak adlandırılır. Genellikle lineer olmayan veri iletimini sağlamak üzere taşıma fonksiyonu olarak, aşağıdaki gibi bir sigmoidal fonksiyon kullanılır:

$$F_j = \frac{1}{1+e(-yx_j)} \quad (3.8)$$

Burada y , taşıma fonksiyonunun şeklini kontrol eden bir sabittir. Daha sonra yukarıda detaylandırıldığı gibi sinir ağı çıkışı hesaplanır ve bu çıkış eğitim aşamasında kullanılan gerçek çıkış değeri ile karşılaştırılır. K' ncı çıkış tabakasındaki herhangi bir nörondaki hata

$$E_k = t_k - O_k \quad (3.9)$$

olarak hesaplanır. Burada t_k geçerli çıkış değerini, O_k ise ağ çıkış değerini göstermektedir. Toplam hata fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir:

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (t_k - O_k)^2 \quad (3.10)$$

Geriye yayılma ağlarının kendine has bir öğrenme kuralı vardır. Bu kurala genelleştirilmiş delta kuralı adı verilir. Çok tabakalı bir geriye yayılma ağının delta kuralı ile eğitilmesi iterim bir işlemdir. Delta kuralı olarak adlandırılmış kuralın kullanılması ile, ağırlıkların fark değerleri

$$\Delta W_{kj} = \beta \delta_k O_j \quad (3.11)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada δ , öğrenme oranı parametresi, O_k ise k' inci tabakadaki bir nöronun hata değeridir.

Geriye yayılmalı yapay sinir ağlarının öğrenme aşaması ile ilgili detaylı çalışmaları Rumelhardt (1987) de bulunabilir. Diğer taraftan ağın daha hassas sonuçlar elde

etmesi için, bias (tarafı) adı verilen ve daima girdi değeri 1 olan ve dolayısıyla bir önceki tabakaya bağlantısı olmayan nöronlar da kullanılabilir.

3.2.5.5. Girdi ve çıktılar normalize edilmesi ve normalize aralığının belirlenmesi

YSA modellerinin oluşturulmasında girdi ve çıktılar normalize edilerek programa sokulması gerekmektedir. Normalize aralığı -1 ile 1 aralığında olabilmektedir. Ancak bu aralığın sınırları modeli oluşturanlar tarafından modelin özelliğine göre belirlenmelidir. Bu konuda Shamseldin and O' Connor (1996) tarafından yapılan akarsu modelleme çalışmasında [0.1, 0.85] gibi küçük bir aralık tercih etmiştir. Abrahart and See (1999) yaptıkları çalışmada modelin normalize aralığını [0.1, 0.9] tercih etmişlerdir.

Çıktıların normalize edilmesinde transfer fonksiyonunun rolü büyüktür. Örneğin tanjant sigmoid fonksiyonu seçilmesi durumunda girdi aralığı [-1,1] aralığında ise çıktı aralığı, [-0.7616, 0.7616] , girdi aralığı [-0.9, 0.9] aralığında olursa çıktı aralığı [-0.7163, 0.7163] olarak normalize edilmesi sonuçların doğruluğu açısından uygunluk gösterebilir (Wang, 2006).

Transfer fonksiyonlarının seçilmesi başlı başına bir konudur. En çok seçilen transfer fonksiyonu logaritmik sigmoid ve tanjant sigmoid fonksiyonlarıdır. Ancak bu fonksiyonlardan da logaritmik sigmoid en çok kullanılandır. Bu fonksiyondan pek çok çalışan faydalanmıştır (Hsu et al., 1995b; Minns and Hall, 1996; Zealand et al., 1999).

3.2.5.6. En iyi YSA modelinin seçilmesi

YSA modellerinde en iyi sonuca ulaşılabilmesi için sürekli bir deneme yanılma evresinden geçirilmesi gerekmektedir. Öncelikle oluşturulacak modelde girdi ve çıktı sayılarının belirlenmesi, hangi girdilerin kullanılması gerektiği ve ağırlıkların irdelenmesi gerekmektedir. Bu aşamada seçilen bütün girdi ve çıktılar ileriki

aşamada kurulacak olan sinir ağlarında ve eğitimlerinde meydana gelecek değişikliklere göre tekrar tekrar irdelenmelidir. Bir sonraki aşamada ise kullanılacak gizli tabakalar ve tabakalara ait nöron sayıları ayrı ayrı irdelenmelidir. Bundan sonra ise girdi ve çıktı değerlerinin normalize edilme aralığının tespit edilmesi gerekmektedir. Problemin türüne göre dar bir bant veya geniş bir bant tercih edilmelidir. En son aşamada ise kullanılacak eğitim modelinin probleme uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu incelemelerin hemen hemen tamamı deneme yanılma yöntemi ile çalışanların model üzerindeki uzmanlığına bağlıdır.

3.2.5.7. Akım tahmini için hibrit YSA modelleri

Genellikle akarsuyu etkileyen parametrelerin yıllık, mevsimsel hatta günlük bazda çok değişken olması nedeni ile akarsu akışının durumu çok değişkenlik arz eder. Bundan dolayı kurulacak olan modelin doğru sonuç vermesi için doğrusal olmayan bir yapıda olması gerekmektedir. Bu durum model için gerekli olsa da modeli kurarken birtakım zorluklara neden olmaktadır. Model kuruluş aşamasında problemde karşılaşılabilecek zorluklar ve modelden elde edilecek fayda tartışılarak doğrusal veya doğrusal olmayan bir model tercih edilmelidir.

Akarsu üzerinde oluşan akımlar düşük, orta ve yüksek akımlar olarak sınıflandırılabilir. Düşük akımların olduğu dönem akarsuda büyük oranda taban akışının hâkim olduğu yüzeysel akışların olmadığı kurak yaz günlerine tekabül eder. Yüksek akımların meydana geldiği dönemler ise bir fırtına sonucunda oluşan ve akarsu debisinin büyük çoğunluğunun yüzeysel sularla olduğu dönemdir.

3.2.6. Ağırlıklı ortalama metodu

Eksik yağış verilerinin tamamlanabilmesi için kullanılan en yaygın metotlardan bir tanesidir. Ülkemizde ve diğer pek çok çalışan tarafından eksik verilerin tamamlanması amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntem ise ağırlıklı ortalama yöntemidir. Bu yöntemde Denklem 3.12’de gösterilen formülasyon kullanılmaktadır (Bayazit, 1995).

$$P_n = \frac{P_1 \frac{N_n}{N_1} + P_2 \frac{N_n}{N_2} + P_3 \frac{N_n}{N_3} + \dots + P_{n-1} \frac{N_n}{N_{n-1}}}{n-1} \quad (3.12)$$

Burada P günlük yağış miktarını, N yıllık toplam yağış miktarlarını, n ise istasyon sayısını göstermektedir. Bu yöntem diğer metotlara göre en kolay yöntemlerdendir. Bu çalışmada, eksik yağış verilerinin tamamlanması için diğer yöntemlerle beraber kullanılacak ve karşılaştırma yapılacaktır.

3.2.7. Harmonik ortalama metodu

Eksik verilerin tamamlanabilmesi için kullanılan diğer bir formül ise, yağış verisi tamamlanacak olan istasyonun diğer istasyonlara olan mesafesinin baz alındığı, harmonik ortalama metodudur.

$$P_n = \sum_{i=1}^{n-1} (P_i / D_i^2) / \sum_{i=1}^{n-1} 1 / D_i^2 \quad (3.13)$$

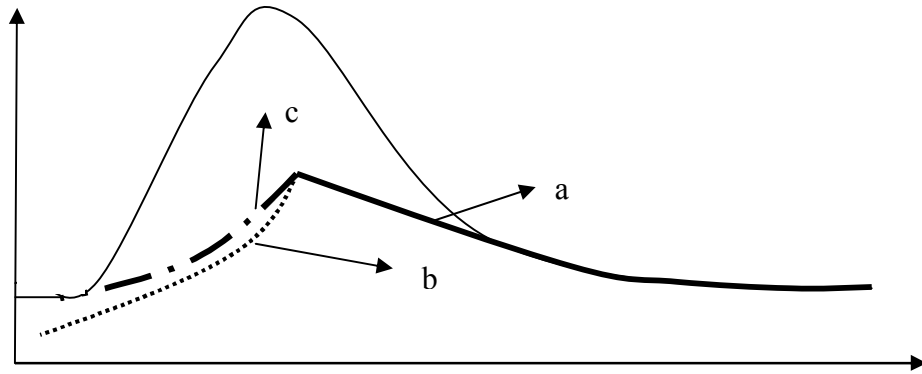
Burada D , göz önüne alınan istasyon ile diğer istasyonlar arasındaki mesafeyi gösterir.

3.2.8. Taban akışı ayırma metodu

Tezde kullanılan taban akışı ayırma metodu taban akışının yükselme ve alçalma devrelerinin her biri için ayrı çekilme katsayılarının oluşturulmasına dayanır. Taban akışı çekilme katsayısının belirlenmesinde, akım ölçüm istasyonlarına ait akım verileri kullanılır. Bousinesq denklemi (Denklem 2.1) ile genellikle yağışın meydana gelmediği yaz ayları dikkate alınarak her yıla ait günlük taban akışı çekilme katsayıları (α_i) belirlenir. Belirlenen bu katsayıların ortalaması alınarak taban akışı çekilme katsayısı bulunur.

Şekil 3.23’de görüldüğü gibi taban akışı yükselme katsayısı bulunurken, yine Bousinesq denkleminden faydalanılır. Hidrografın taban akışına geçtiği yaz

aylarından itibaren geriye doğru, akarsuyun pik noktasının olduğu ana kadar, taban akışı çekilme katsayısı yardımı ile taban akışı değerleri uzatılmıştır (a eğrisi). Bu noktadan akarsuyun yükselmeye başladığı noktaya kadar (yağışın başladığı nokta) rastgele seçilen bir katsayı (β) ile taban akışının yükselme kısmı oluşturulmuştur (b ve c eğrileri). Bu işlem sırasında 15 Aralık ile 31 Mart tarihleri arasında yani toprağın neme doymun olduğu zamanlarda farklı, diğer tarihler arasında farklı birer katsayı düşünülmüştür. Hidrografın başlangıç noktasına ulaşıldığında, şayet taban akışı hidrografın başlangıç değeri ile aynı değeri almış ise, belirlenen katsayıların doğru olduğu kabulü yapılmaktadır (c eğrisi). Aksi taktirde yeni katsayılar denenerek hidrograf kapanıncaya kadar bu işleme devam edilir. Dördüncü bölümde havzanın tümü için genel yükselme ve alçalma katsayıları elde edilecektir.



Şekil 3. 23. Oluşturulan modelin grafiksel gösterimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Köprüçay havzasının parametrik olarak modellenmesi için, öncelikle çalışılan havzanın sınırları, havza alanı ve su toplama kanalları belirlenmiştir. Daha sonra havza sınırlarının içerisinde kalan bitki örtüsü her bir hücre için ayrı ayrı belirlenerek hücrelere işlenmiştir. Üçüncü olarak akış yönleri kullanılarak her bir hücrenin eğimi elde edilmiştir. Daha sonraki aşamada ise literatürden elde edilen bölgeni jeolojik haritası her bir hücreye teker teker girilmiştir. Beşinci aşamada ise her bir hücrenin akış katsayısını belirleyebilmek için jeolojik yapı, bitki örtüsü, eğim ve mevsimsel etki kullanılarak bir bulanık mantık modeli kurulmuştur. Bir sonraki aşamada her bir hücrenin özellikleri oluşturulan bulanık mantık modeline sokularak her bir hücrelerin akış katsayısı bulunup hücrelere işlenmiştir. Ancak bu noktada eğim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü sabit girdi olmasına rağmen mevsim girdisinin değişken bir girdi olmasından dolayı her bir hücrenin 4 adet akış katsayısı bulunmaktadır. Bu yüzden oluşturulacak model dörde ayrılmıştır. Daha sonraki aşamada ise DMİ, EİE ve DSI'nin yağış ve akım ölçüm istasyonlarının yerleri oluşturulan harita üzerine işlenmiştir. Sekizinci aşamada DMİ den alınan ve harita üzerine işlenen yağış ölçüm istasyonlarının havza üzerindeki etki alanları, Theisen çokgenleri kullanılarak belirlenmiş ve hücrelere işlenmiştir. Ayrıca bu aşamada bazı istasyonlarda bulunan eksik yağış ve akış verilerinin tamamlanabilmesi için yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak yağış tahmin modelleri ve akış tahmin modelleri kurulmuş ve eldeki diğer eksik veri tamamlama modelleri ile kıyaslanmış ve eksik bulunan veriler tamamlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise rasyonel metot kullanılarak her bir hücre ve su toplama kanallarında akışa geçen yağış miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen bu hücresel akış değerlerine taban akışı ile çekilme olayıda dahil edilerek akarsuyun her bir hücresinde oluşabilecek akış miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler eldeki istasyonlardaki akım değerleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılarak test edilmiştir.

4.1. Havza Alanı ve Su Toplama Kanallarının Belirlenmesi

Oluşturulan modelin doğruluğu açısından ilk aşamadır. Bu aşamada havzadaki her hücrenin akış yönleri tespit edilir. Bu yönlere göre havza alanı ve su toplama kanallarının belirlenmesi yapılır. Aşağıda bu aşamada yapılan işlemler sırası ile anlatılmaktadır.

4.1.1. Hücrelerin oluşturulması ve akış yönlerinin belirlenmesi

Köprüçay Nehri havzası sınırlarının ve su toplama kanallarının belirlenebilmesi için sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Öncelikle havzanın bulunduğu düşünülen bölge yatayda ve düşeyde 500 m x 500 m kareler oluşturacak şekilde hücrelere bölünmüştür. Sayısal yükseklik modeline göre oluşturulan hücrelerin her biri kendisine komşu diğer sekiz hücre ile kıyaslanarak akışın yönü tespit edilmiştir. İncelenen hücre kendine komşu hücreler arasında en küçük kotlu olanı ise bu noktada çukur olduğu ve bu hücre üzerine yağın yağışla birlikte bu hücreyle bağıntılı diğer bütün hücrelere yağın yağışın akışa geçen kısmının bu noktada biriktiği söylenebilmektedir. Şayet incelenen hücre kotunun çevresindeki hücrelerden en az birisinden büyük ise bu durumda bu hücreye yağın yağışın akışa geçen kısmının komşu hücrelerden birine geçtiği düşünülmüştür. İncelenen hücrenin akışa geçtiği hücrenin ise komşu hücrelerden en küçüğü olduğu varsayılmıştır (Şekil 4.1). Model oluşturulurken eldeki 22500 hücreden 17641 adedi bu şekilde incelenerek her bir hücredeki akımın yönü tespit edilmiştir.

	31,2559	31,2609	31,2659	31,2709	31,2759	31,2809	31,2859	31,2909	31,2959	31,3009	31,3059
37,16	727,4	828	974,1	969,6	978,1	795,7	825,6	921,7	1099,7	1237	1436,6
37,155	720,2	878,5	1023,4	1253,8	1038,8	866,9	918,4	950,4	1125,8	1323,4	1476,5
37,15	751,6	900,3	1080,3	1207	1244,8	925,5	874,7	1012,3	1093,7	1264	1427,7
37,145	668,2	854,9	1023,8	1185,1	1131,6	864,4	792,9	862,5	1032	1147,5	1298,9
37,14	623,5	793,3	914,4	1118	1109,6	839,4	737,4	799,4	932,7	980,4	1135,8
37,135	668,2	674,4	807,3	885,1	946,9	804,9	775,3	669,6	759,3	922,1	901,1
37,13	516,9	553,2	642,3	717,3	798	770,7	740,4	652,2	772,4	750,5	821,2
37,125	401,7	469,2	568,8	558,2	685	790	669,7	650,5	690,7	718	794,3
37,12	401	414,6	531,3	682,1	864,3	732,4	676,2	648	706,5	698,6	779,1

Şekil 4. 1. Akış yönlerinin belirlenmesi örneği (37,12-37,16 enlemleri ile 31,2559-31,3059 boylamları arası)

Daha sonraki aşamalarda işlem kolaylığı olması açısından her ok yönüne bir numara verilmiştir. Bu yönler aşağıda listelendiği gibidir;

Okun yönü güney doğuyu gösteriyor ise akım yönü 1

Okun yönü güneyi gösteriyor ise akım yönü 2

Okun yönü güney batıyı gösteriyor ise akım yönü 3

Okun yönü batıyı gösteriyor ise akım yönü 4

Okun yönü kuzey batıyı gösteriyor ise akım yönü 5

Okun yönü kuzeyi gösteriyor ise akım yönü 6

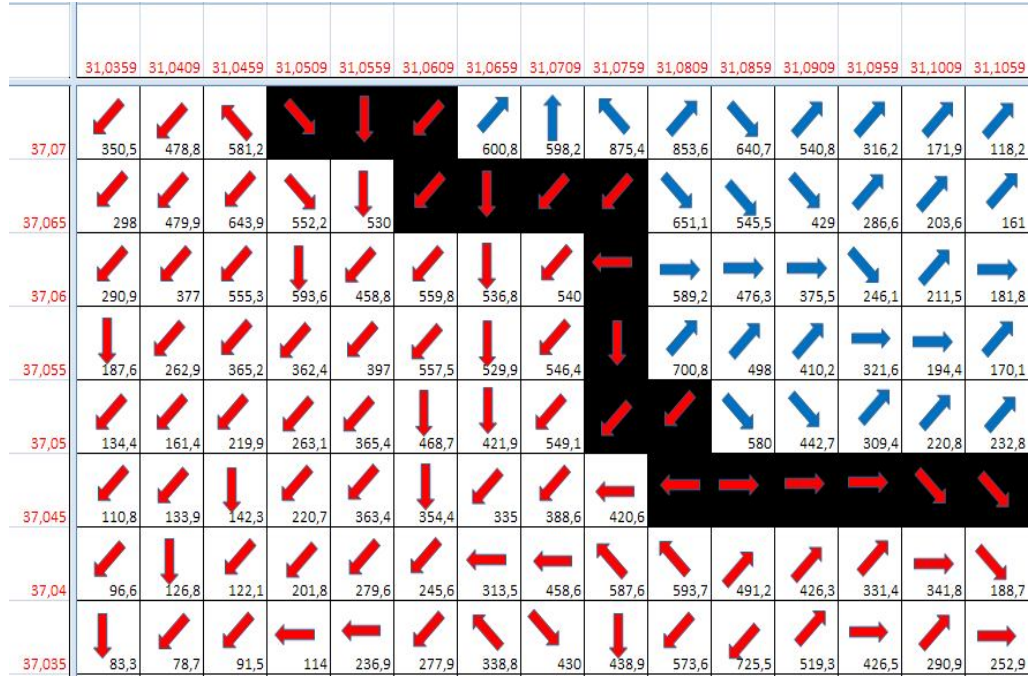
Okun yönü kuzey doğuyu gösteriyor ise akım yönü 7

Okun yönü doğuyu gösteriyor ise akım yönü 8

Yön olarak ok değil de çukur oluştuğunu gösteren daire var ise akım yönü 0 olarak numaralandırılmışlardır.

4.1.2. Havza sınırları ve su toplama kanallarının tespiti

Akış yönleri belirlendikten sonra havza sınırlarının ve su toplama kanallarının tespiti işlemine geçilmiştir. Bu aşamada yine sayısal yükseklik modeli baz alınmış ve hücrelerden akış yönü diğer akış yönlerine ters yönde ilerleyen ve aktığı doğrultudaki zincirleme hücrelerin hiçbir şekilde havza alanına dönmeyen kısımlarının havza sınırlarını meydana getirdiği düşünülmüş ve Köprüçay Nehri havzasının sınırları oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Su toplama kanallarının elde edilmesi aşamasında ise akış yönlerinin kesiştiği ve kesintisiz akış meydana getirdiği noktaların nehrin ana ve yan kollarını oluşturduğu düşünülmüştür. Bu kabule dayanarak su toplama kanalları oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Havza sınırları oluşturulduktan sonra içeride kalan hücrelerin alanı hesaplandığında 2684 km² lik bir havza alanı olduğu görülmüştür. Ancak bu değer gerçekte D.S.İ verilerine göre 2498 km² olduğu görülmektedir. Yaklaşık olarak % 7 mertebesinde olan bu hata kullanılan hücrelerin 500 m x 500 m olması ve buna karşın havza sınırını oluşturan hücre sayısının 1078 olmasından dolayıdır.



Şekil 4. 2. Havza sınırlarının belirlenmesi örneği (37,07-37,35 enlemleri ile 31,0359-31,1059 boylamları arası)

	31,1309	31,1359	31,1409	31,1459	31,1509	31,1559	31,1609	31,1659	31,1709	31,1759	31,1809	31,1859	31,1909	31,1959	31,2009	31,2059
37,32	1408,5	1338,8	1334,8	1294,7	1240	1221	1164,7	1073,8	1029,7	1022,9	988,8	833,6	643,9	471,7	447,3	458,2
37,315	1347	1292,3	1272,2	1205,8	1217,3	1143,9	1115,2	1013,4	982,5	918,8	782,1	577,3	467,7	444,2	444,1	477,5
37,31	1326,9	1255,4	1221,5	1176	1141,5	1051,4	1003	964,8	940	787,2	635,8	587	453,3	442,4	452,3	479,4
37,305	1254,2	1239,7	1157,2	1110,3	1024,8	957,9	827,7	818,5	761,9	743,8	517	452,7	442	456	478	500,6
37,3	1151,5	1120,5	1084,6	984,8	891,1	810	735,7	621,3	558,8	432,1	433,8	436,9	439	457,4	465,9	498,1
37,295	1050,2	1062	940,4	826,5	736,8	673,9	600,2	577,2	432	529,4	525,7	498,7	504,9	507,3	498,9	495,5
37,29	941,9	931,9	865,4	812,7	732,7	708,1	612,4	429,3	505,2	552,6	596	659,5	658,4	599,6	567,9	572,1
37,285	931,8	879,4	829,1	820,9	731,5	655,6	594,8	426,1	474,4	564,6	597,9	607,7	645,7	730,6	736,5	688
37,28	973,2	962,5	859,7	818,6	795,8	703,4	656,1	421,3	611,4	539,5	604,6	647	703,7	778	832,2	818,8

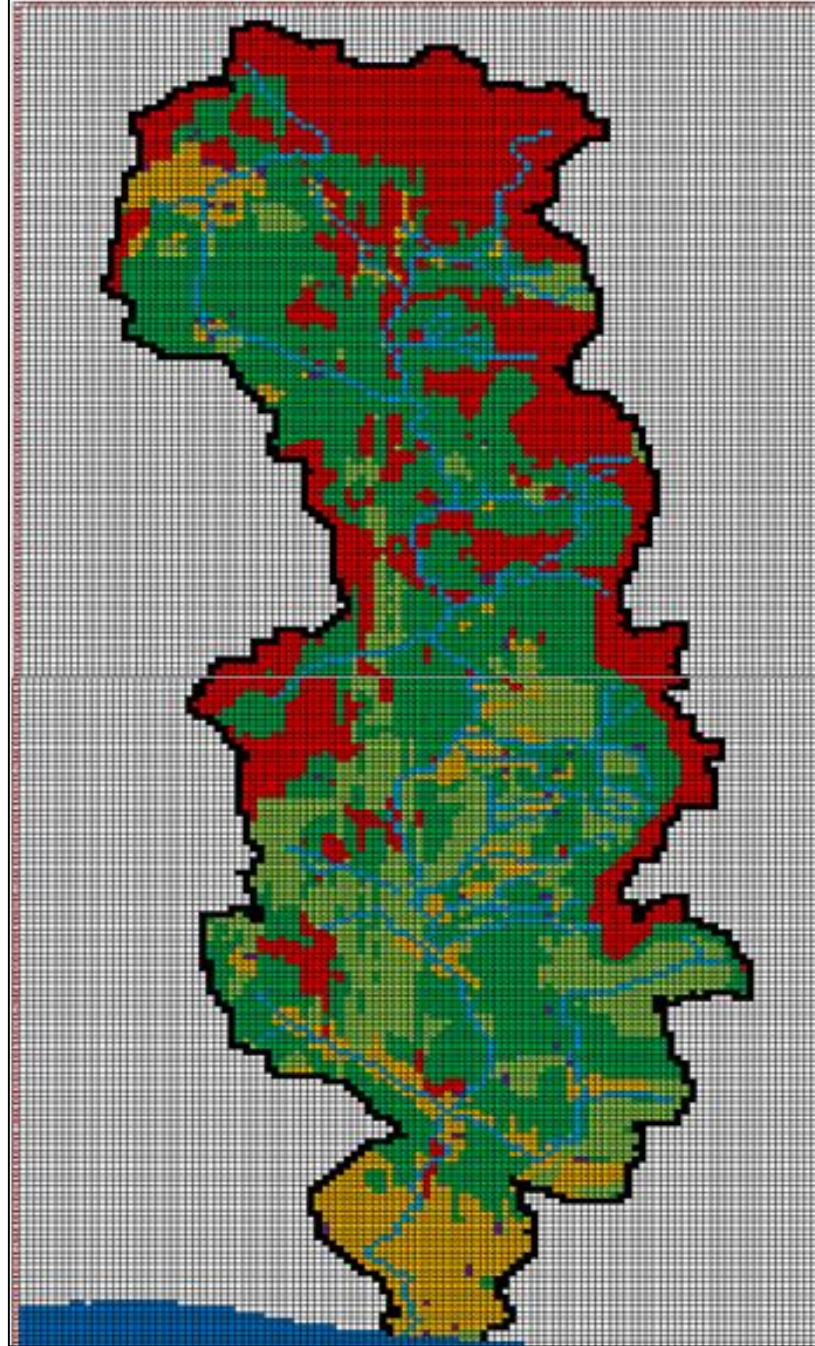
Şekil 4. 3. Su toplama kanallarının belirlenmesi örneği (37,28-37,32 enlemleri ile 31,1359-31,2059 boylamları arası)

4.2. Bitki Örtüsünün Belirlenmesi

Burada, havza akış katsayısının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi olan havzanın bitki örtüsünün belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken Google Earth programından faydalanılmış, programda kullanılan uydu görüntülerine göre havza sınırları içerisinde bulunan 10737 hücrenin özelliği teker teker belirlenerek işlenmiştir (Şekil 4.4). Denizler (1) lacivertle, Göller (2) yine lacivertle, Nehirler (3) mavi ile Tarımsal alanlar (4) turuncu ile Ormanlık alanlar (5) açık yeşil ile Yarı ormanlık alanlar (6) koyu yeşil ile Kayalık alanlar (7) kırmızı ile ve Yerleşim alanı (8) ise mor ile gösterilmiştir (Şekil 4.4).

Akış katsayısı bulunurken kullanılan bulanık mantık metoduna bitki örtüsünün durumu girilirken tarımsal alanlar çok fazla geçirgen, ormanlık alanlar çok geçirgen, yarı ormanlık alanlar geçirgen, kayalık alanlar az geçirgen ve yerleşim alanları ise çok az geçirgen olarak tanımlanmışlardır. Sadece bu parametreye bakıldığında

tarımsal alanlarda akış katsayısı düşük çıkarken şehirlerde yüksek değerler almaktadır. Ancak modelde akış katsayısını bulmak için sadece bitki örtüsü parametresi kullanılmadığından diğer parametrelerle de kombinasyonuna bakılması gerekmektedir.



Şekil 4. 4. Köprüçay Nehri havzası bitki örtüsü durumu

4.3. Hücre Eğimlerinin Belirlenmesi

Akış katsayısının belirlenmesi için önemli parametrelerden bir diğeri olan eğim parametresi her hücre için teker teker Denklem 4.1 ile elde edilmiş ve her bir hücrenin içerisine işlenmiştir. Eğimler hesaplanırken her bir hücrenin daha önceden elde edilen akış yönüne göre eğimi hesaplanmıştır. Eğim hesaplamada kullanılan hücreler arası mesafenin belirlenmesinde, mevcut hücrenin merkezine akış yönündeki diğer hücrenin merkezine olan uzaklığı kullanılmıştır. Eldeki bütün hücrelerin boyutlarının 500 m x 500 m olmasından dolayı hücreler arası mesafe, hücrenin akış yönünün çaprazda veya dik doğrultuda olmasına göre sadece iki değer almaktadır. Akış yönü hücreye dik olan dört doğrultu yönünden birisi ise aralarındaki mesafe 500 m, çapraz olan diğer dört doğrultuda ise hücreler arası mesafe 707,11 m alınmıştır.

$$\tan\alpha = \frac{H_m - H_k}{x} \quad (4.1)$$

Burada $\tan\alpha$ eğimi, H_m mevcut hücrenin kotunu, H_k komşu sekiz hücreden en küçüğünün kotunu ve x ise iki hücre arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Akış katsayısı bulunurken oluşturulan bulanık mantık modelinde eğim parametresi altı tane alt kümeye ayrılmıştır. Bu alt kümelerden birincisinde akış katsayısının çok az, ikincisinde az, üçüncüsünde orta, dördüncüsünde fazla, beşincisinde çok fazla ve sonuncusunda da çok çok fazla olduğu öngörülmüştür. Ancak bitki örtüsünde olduğu gibi eğim parametresi de akış katsayısını tek başına belirlemede yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden akış katsayısını belirlemede kullanılan diğer parametrelerle kombinasyonunun sağlanması gerekmektedir.

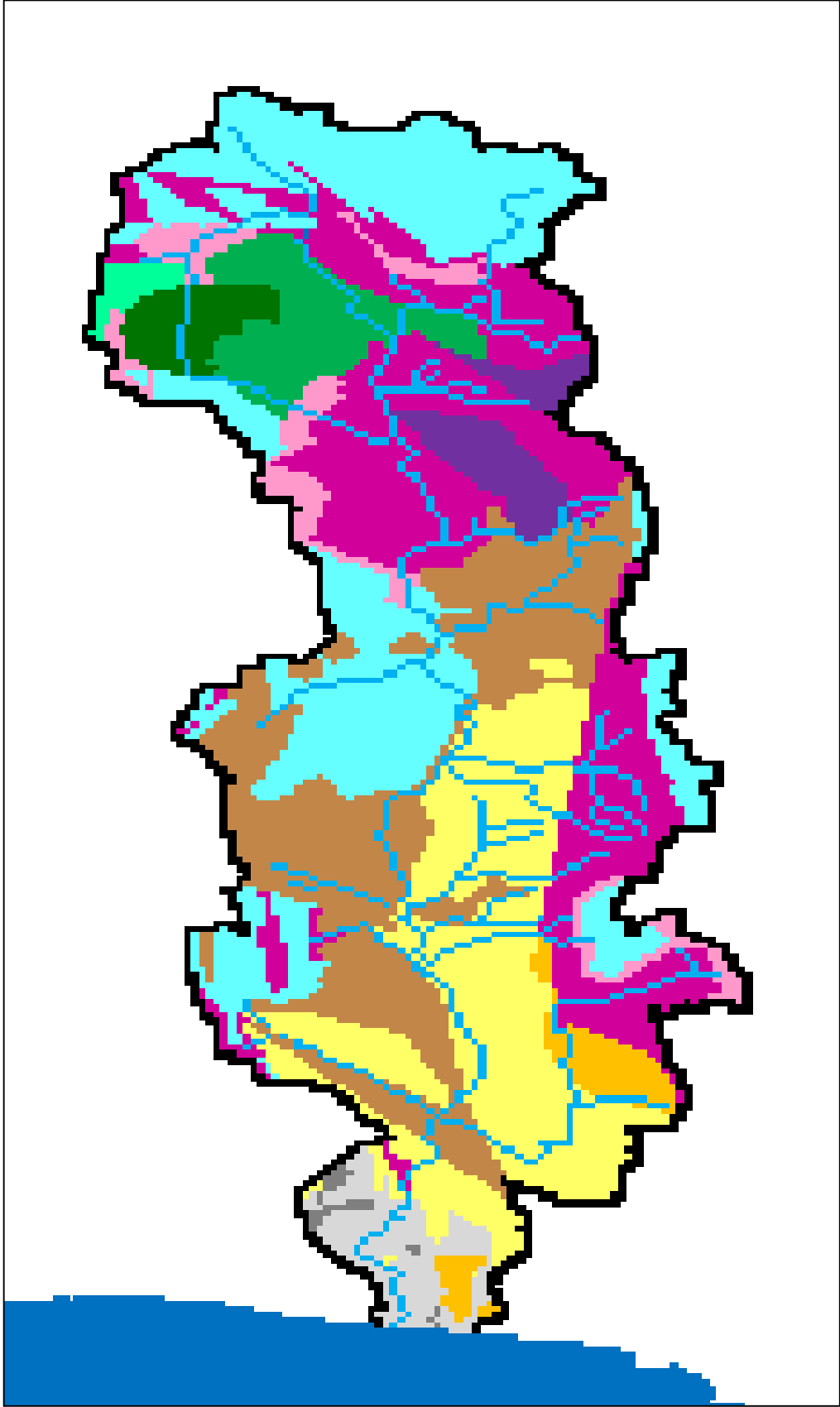
4.4. Hücre Jeolojisinin Belirlenmesi

Akış katsayısının bulunmasında kurulacak olan dört parametreden üçüncüsü olan hücre jeolojik yapısının belirlenmesinde literatürdeki mevcut kaynaklardan yararlanılmıştır. 3. Bölümde gösterilen Şekil 3.4'den elde edilen jeolojik yapı bilgileri yaklaşık olarak hücre bilgi ekranına girilmiş ve havzanın hücresel jeolojik

haritası elde edilmiştir (Şekil 4.5). Elde edilen harita üzerinden havzanın oluşumuna hem jeolojik hemde zemin sel olarak bakıldığında 86,75 km²'si alt miyosen jeolojik devrinde ve yapısal olarak neritik kireç taşı özelliğinde, 462 km²'si üst miyosen jeolojik devrinde yapısal olarak kırıntılı yapı özelliğinde, yine 486,75 km²'si üst miyosen jeolojik devrinde fakat yapısal olarak hem kırıntılı hemde kireçtaşı özelliğine sahip, 568,5 km²'si orta-üst triyas jeolojik devrinde yapısal olarakta karbonat ve kırıntılı bir özelliğe sahip, 112 km²'si jeolojik dönem olarak üst triyas yapısal olarak ta neritik kireçtaşı özelliğinde, 87,5 km²'si jeolojik olarak kuvaterner yapıya sahip olup yapısal olarak ta ayrılmamış özellikte, yine jeolojik yapı olarak kuvaterner yapıya sahip olan 10,75 km²'si ise yapısal olarak ayrılmamış karasal kırıntılı yapıda, 590,75 km² ile havzanın en hakim yapısı olan ve jura-kratese döneme ait neritik kireçtaşı özelliğinde, 59,75 km²'si mezezoik jeolojik devrin de oluşmuş olan periodit yapı özelliğinde, 136,5 km²'si orta-triyas kratese jeolojik dönem özelliğine sahip radyolarid çört zemin sınıfında ve 22,5 km²'si ise orta jura kratese jeolojik devrine ait neritik kireç taşı özelliğine sahiptir (Çizelge 4.1)

Çizelge 4. 1 Havza jeolojik yapısının havza oluşumundaki payları

Jeolojik Devir	Sembolü	Yapısal Özelliği	Havzada oluşum alanı (km ²)	Havzada oluşum %'si
Alt miyosen	m ₁	Neritik kireçtaşı	86,75	3,21
Üst miyosen	m ₂	Kırıntılar	462	17,08
Üst miyosen	m ₂	Kırıntılar ve kireçtaşı	486,75	18,00
Orta-üst triyas	t ₂₋₃	Karbonatlar ve kırıntılar	568,5	21,03
Üst triyas	t ₃	Neritik kireçtaşı	112	4,14
Orta-üst triyas	t ₂₋₃	Neritik kireçtaşı	79,75	2,95
Kuvaterner	Q	Ayrılmamış	87,5	3,24
Kuvaterner	Q ₁	Ayrılmamış karasal kırıntılı	10,75	0,39
Jura kratese	jk	Neritik kireçtaşı	590,75	21,85
Mezozoik	y	periodit	59,75	2,21
Orta triyas-kratese	t ₂ k	Radyolarid çört	136,5	5,05
Orta jura kratese	J ₂ k	Neritik kireçtaşı	22,5	0,83



Şekil 4. 5. Köprüçay havzasının jeolojik yapısı

Diğer taraftan havzanın sadece jeolojik devir özellikleri incelendiğinde 1035,5 km² lik kısmı miyosen devirde, 760,25 km² lik kısmı triyas dönemde, 98,25 km² lik kısmı kuvaterner dönemde, 613,25 km² lik kısmı jura kratese devirde, 59,75 km² lik kısmı mesezoik devirde ve 22,5 km² lik kısmı da jura kratese devirde meydana gelmiştir.

Havzayı yapısal özelliğine göre sınıflandırmak gerekirse; 891,75 km² lik kısmının neritik kireç taşından, 462 km² lik kısmının kırıntılı yapıdan, 486,75 km² lik kısmının kırıntılar ve kireç taşından, 568,5 km² lik kısmının karbonat ve kireç taşı karışımından, 98,25 km² lik kısmının ayrılmamış yapıdan, 59,75 km² lik kısmının periodit yapıdan ve 136,5 km² lik kısmının da radyolarid çörtten meydana geldiği görülmektedir.

Akış katsayısını bulabilmek için kurulan bulanık mantık modelinde havzada bulunan zeminlerin geçirimlilik sınıfları Görmüş (2010) ile yapılan sözlü görüşme ve 3. Bölümde anlatılan jeolojik devirler ve zemin durumlarının birlikte irdelenmesi ile çok geçirimliden az geçirimliye doğru 7 sınıfa ayrılması uygun bulunmuştur. Bunlardan bulanık mantık modelinde 1. sınıf olarak tanımlanan yapı, geçirimliliği en fazla olan kuvaterner döneme ait ayrılmamış zemin sınıfıdır. 2. sınıf olarak öngörülen yapı ise geçirimliliği 1. sınıf yapıya oranla biraz daha az olan yapıdır. Bu yapı içerisinde yine kuvaterner döneme ait ayrılmamış karasal kırıntılı yapı ile üst miyosen bölüme ait kırıntılı ve karbonatlı yapı olduğu düşünülmüştür. 3. sınıf geçirimli tabaka olarak 5 yapı öngörülmüştür. Bunlar orta jura-kratese döneme ait neritik kireç taşı, orta triyas kratese döneme ait radyolarid çört, jura kratese döneme ait neritik kireç taşı, üst triyas döneme ait neritik kireç taşı ve orta-üst triyas döneme ait neritik kireç taşlarıdır. Orta dereceli olarak düşünülen ve 4. sınıf geçirimlilik olarak sınıf içerisine alt miyosen bölüme ait karasal kırıntılı zemin sınıfı seçilmiştir. Artık geçirimliği giderek azalmaya başlayan üst sınıflardan 5. sınıf zemin olarak orta üst triyas döneme ait kırıntılı ve karbonatlı yapı seçilmiştir. 6. sınıf zemin yapısı olarak, üst miyosen kırıntılı yapı ve geçirimliliği en az olan 7. sınıf yapı olarak mezozoik devire ait periodit zemin yapısı seçilmiştir. Çizelge 4.2'de akış katsayısını tespit amacı ile bulanık mantık modelinde kullanılacak olan zemin sınıflandırılması ve bu sınıflamanın havza üzerindeki yoğunluğu gösterilmiştir.

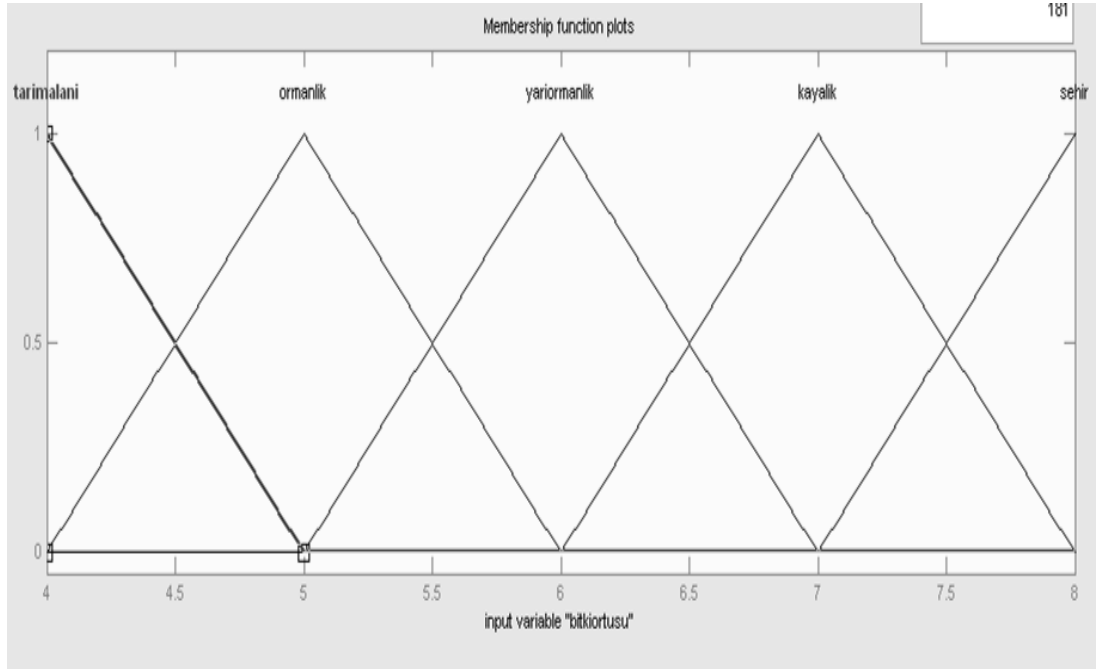
Çizelge 4. 2 Bulanık mantık modelinde kullanılmak üzere ayrılan zemin sınıfları ve arazide bulunma yüzdeleri

Geçirimsizlik Sınıfı	Jeolojik Devir	Zemin Özelliği	Havzada oluşum alanı (km ²)	Havzada oluşum %'si
1. Sınıf	Kuvaterner	Ayrılmamış	87,5	0,032
2. Sınıf	Kuvaterner	Ayrılmamış karasal kıvrıntılı	497,5	0,184
	Üst miyosen	Kıvrıntılar ve kireçtaşı		
3. Sınıf	Orta jura kratese	Neritik kireçtaşı	941,5	0,348
	Üst triyas	Neritik kireçtaşı		
	Jura kratese	Neritik kireçtaşı		
	Orta triyas-kratese	Radyolarid çört		
	Orta-üst triyas	Neritik kireçtaşı		
4. Sınıf	Alt miyosen	Neritik kireçtaşı	86,75	0,032
5. Sınıf	Orta-üst triyas	Karbonatlar ve kıvrıntılar	568,5	0,210
6. Sınıf	Üst miyosen	Kıvrıntılar	462	0,171
7. Sınıf	Mezozoik	periodit	59,75	0,022

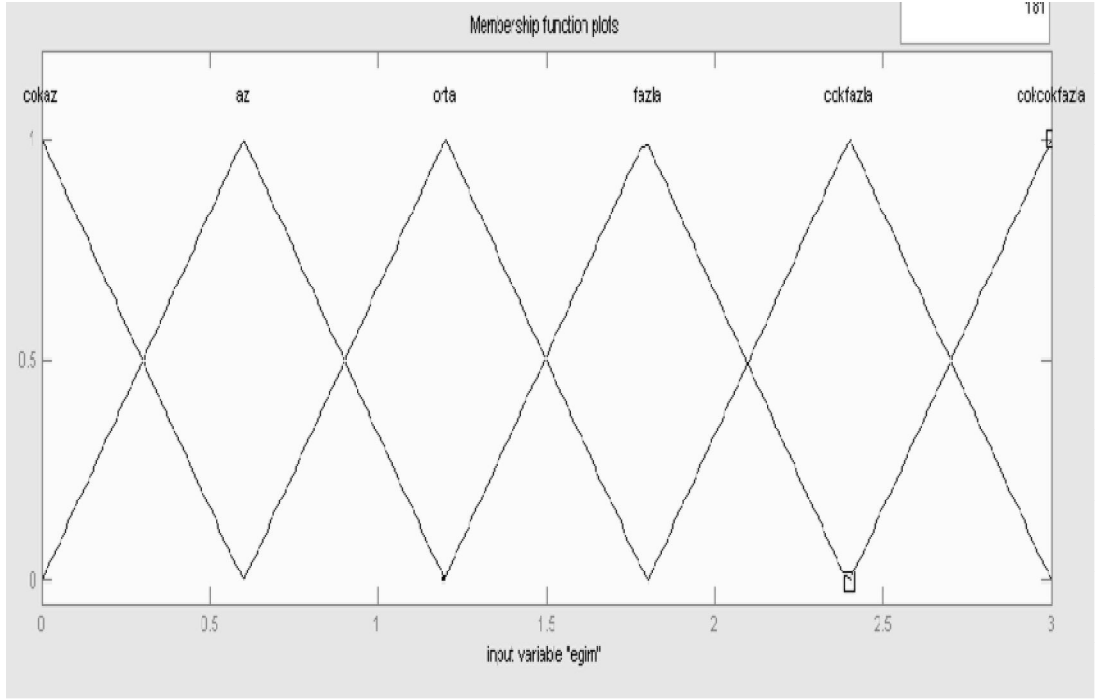
Çizelge 4.2'den de görüldüğü gibi havzanın yaklaşık %57 lik bir kısmı (1. sınıf, 2. sınıf ve 3. sınıf) jeolojik olarak çok geçirimli bir tabakadan oluşmaktadır. Bundan dolayı bu bölgelerde yağın yağışın yeraltına sızmasının daha kolay olduğu söylenebilir.

4.5. Akış Katsayısının Belirlenebilmesi İçin Bulanık Mantık Modeli Oluşturulması

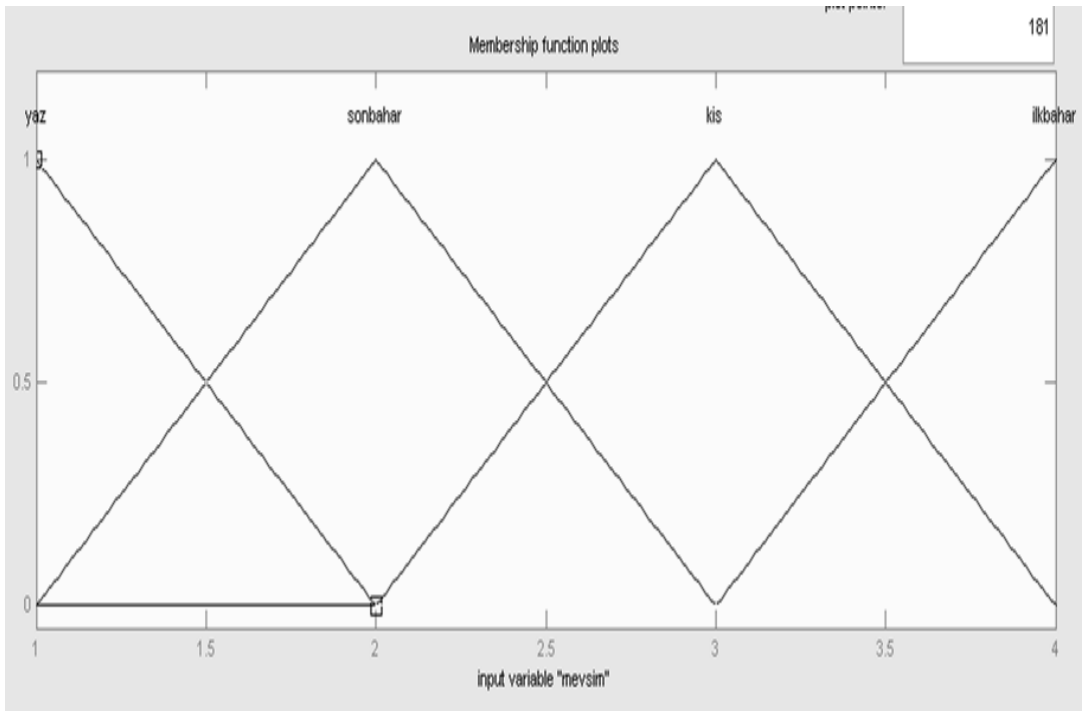
Çalışmanın bu aşamasında daha önceden hücreler için belirlenen, bitki örtüsü, eğim ve jeolojik yapı verilerine ek olarak mevsimselliği de kullanarak akış katsayısını bulmaya yönelik dört girdili ve bir çıktılı bulanık modeli kurulmaya çalışılmıştır. Girdi parametrelerinden bitki örtüsü, tarımsal alan (4), ormanlık alan (5), yarı ormanlık alan (6), kayalık alan (7) ile yerleşim alanları (8) olmak üzere beş alt kümeye ayrılmıştır (Şekil 4.6). Diğer girdi parametresi olan eğim ise 0 ile 3 aralığının da 6 alt kümeye bölünmüştür (Şekil 4.7). Üçüncü girdi parametresi olarak seçilen mevsimlerde toprağın çok geçirimli olduğu yaz mevsiminden (1), toprağın en az geçirimli olduğu döneme kadar sırası ile sonbahar mevsimi (2), kış mevsimi (3) ve ilkbahar mevsimi (4) olmak üzere 4 alt kümeye bölünmüştür (Şekil 4.8). Son girdi parametresi olan jeolojik yapı en çok geçirimliden en az geçirime sahip olana doğru 1. sınıf, 2. sınıf, 3. sınıf, 4. sınıf, 5. sınıf, 6. sınıf ve 7. sınıf olmak üzere 7 alt kümeye ayrılmıştır (Şekil 4.9). Çıktı parametresi olan akış katsayısı ise 0 ile 1 aralığının da 19 alt kümeye ayrılmıştır (Şekil 4.10).



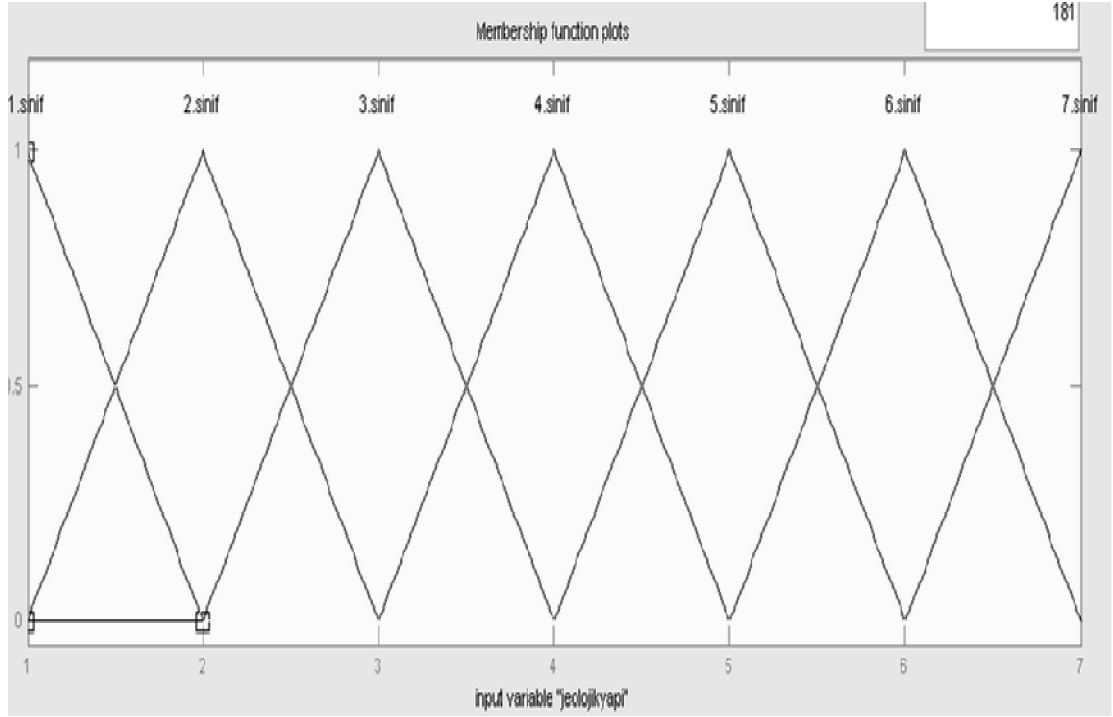
Şekil 4. 6. Bitki örtüsü girdisi alt kümeleri



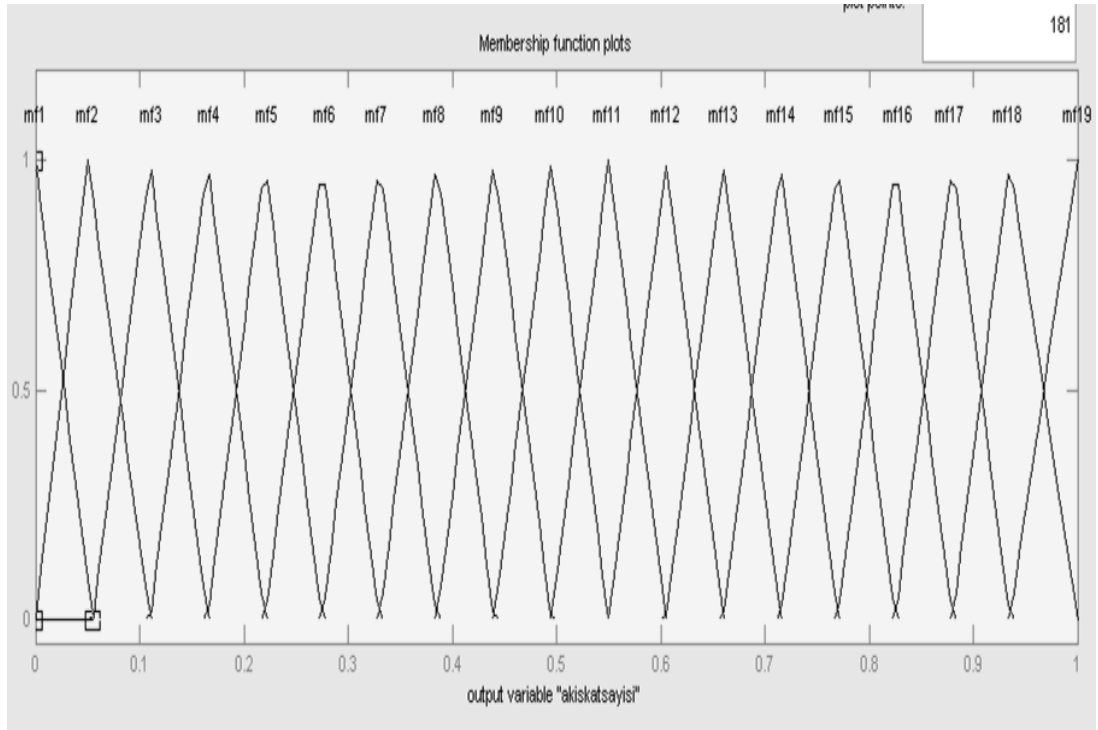
Şekil 4. 7. Eğitim girdisi alt kümeleri



Şekil 4. 8. Mevsim girdisi alt kümeleri



Şekil 4. 9. Jeolojik yapı girdisi alt kümeleri



Şekil 4. 10. Akış katsayısı çıktısı alt kümeleri

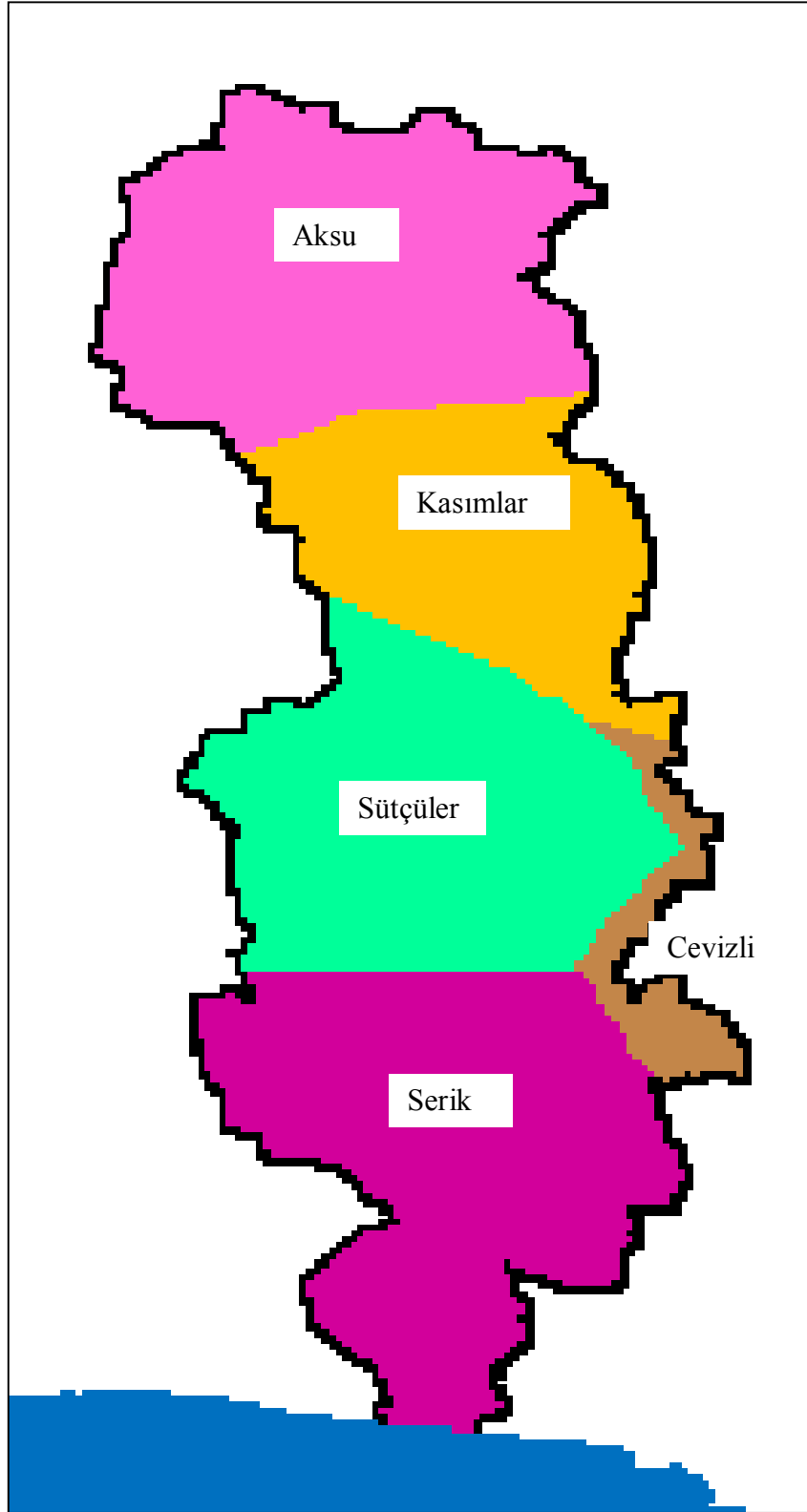
Girdiler ve bunlara ait alt kümeler bulanık mantık modeline tanıtıldıktan sonra literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda 360 adet kural yazılmıştır. Sonra her bir hücreye ait bitki örtüsü, eğim, mevsim ve jeolojik yapı bilgisi oluşturulmuş olan bulanık mantık modeline girilerek hücrelerin akış katsayıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin edilen bu katsayılar hücrelere teker teker işlenmiştir. Ancak her bir hücre baz alındığında bu hücreye ait bitki örtüsü, eğim ve jeolojik yapı bilgileri sabit olmasına rağmen mevsim bilgisi hücreden bağımsız bir değişkendir ve her bir değişken için farklı bir değer almaktadır. Böylelikle her bir hücrenin dört adet akış katsayısı elde edilmiş olmaktadır. Bu yüzden her mevsim için ayrı ayrı akış katsayısı bilgileri hücrelere işlenmiş ve dört adet akış katsayısı hücre bilgi ekranı elde edilmiştir.

4.6. Akış ve Yağış Ölçüm İstasyonlarının Haritaya İşlenmesi

3. bölümde özellikleri verilen EİE'ye ait Beşkonak (902), Bolasan (910), Bolasan (919), Kasımlar (921) akım gözlem istasyonları, DSİ ye ait akım gözlem istasyonları ve DMİ ye ait yağış ölçüm istasyonları modelde kullanılmak üzere hazırlanan harita üzerine işlenmişlerdir.

4.7. Yağış Ölçüm İstasyonu Verilerinin Düzenlenmesi ve Thiessen Çokgenleri Yöntemi ile Etki Alanlarının Belirlenmesi

Bu bölümde havza üzerindeki ve çevresindeki tüm istasyonlar harita üzerine işaretlenmiştir. Daha sonra bu istasyonlardan en yakın olanları birleştirilerek küçük üçgenler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu üçgenlerin kenarlarının tam orta noktalarından dikler çıkılmış ve birleştirilmiştir. Oluşturulan bu yeni şekilde havzayı temsil eden istasyonlar ve etki alanları tespit edilmiştir. Ayrıca koordinatlar göz önünde bulundurularak bu bilgiler hücrelere işlenmiştir. Böylelikle hangi istasyonun hangi hücreyi temsil edeceği bulunmuştur. Kullanılan Thiessen yöntemine göre Aksu, Kasımlar, Sütçüler, Serik ve Cevizli istasyonlarının Köprüçay Nehri havzasını temsil ettikleri görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11. Yağış istasyonlarının etki alanları

4.8. Yağışlardan Sonra Meydana Gelen Akımların Belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında her yağış sonucu meydana gelen akış her hücre için teker teker bulunmuştur. Öncelikle Thiessen çokgenleri yardımı ile oluşturulan (Şekil 4.11) yağışlar etki alanlarına göre her bir hücreye dağıtılmıştır. Kullanılan yağış verileri mm/gün cinsinden olması ve akışın m³/sn cinsinden olması dolayısı ile günlük meydana gelen yağış miktarı Denklem 4.2'e konularak m³/sn cinsine çevrilmiştir.

$$Q_p = P * \left(\frac{250000}{86400} \right) * 1000 \quad (4.2)$$

Burada P bir gün boyunca meydana gelen toplam yağış yüksekliğini, Q_p ise bu yağışın birim zamanda (1 sn) meydana getirdiği akış miktarını göstermektedir. Ayrıca 250000 sayısı oluşturulan hücrelerin her birinin m² cinsinden alansal değerini, 86400 ise 1 günün saniye olarak toplam değerini göstermektedir. 1000 ise birim çevirme katsayısıdır.

Yağış miktarının her hücrede meydana getirebileceği yüzeysel akış miktarı belirlendikten sonra daha önceden yıl içerisinde meydana gelen 4 akış dönemi ve her bir hücre için belirlenen akış katsayıları ile çarpılarak her hücrede yağış sonrası meydana gelen akış değerleri tespit edilmiştir. Bu işlem yapılırken sadece her bir hücre üzerine düşen yağış yüksekliğinin meydana getirdiği akış miktarı değil aynı zamanda akış yönüne göre hücreye dahil olan diğer hücrelerinde akışları dahil edilmiş ve akış katsayısı ile çarpılmıştır (Denklem 4. 3).

$$Q_y = (Q_p + Q_{1y} + Q_{2y} + \dots + Q_{8y}) * C \quad (4.3)$$

Burada Q_y yağıştan sonra hücrede akışa geçen akım miktarını, $Q_{1y}, Q_{2y}, \dots, Q_{8y}$ komşu hücrelerde akışa geçen akım miktarın temsil etmektedir. Ancak bu işlemde en çok dikkat edilmesi gereken husus daha önce belirlenen akım yönlerine göre komşu hücrelerin akışa geçen miktarlarının mevcut hücreye etkisi tespit edilmektedir. Hücrelerin formülüze edilmesinde kullanılan prensipler sırası ile aşağıda verilmiştir.

- Eğer hücrenin kuzey batı komşusunun akım yönü 1 ise Q_{1y} gerçek değerini, 1 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{1y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin batı komşusunun akım yönü 2 ise Q_{2y} gerçek değerini, 2 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{2y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin kuzey doğu komşusunun akım yönü 3 ise Q_{3y} gerçek değerini, 3 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{3y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin doğu komşusunun akım yönü 4 ise Q_{4y} gerçek değerini, 4 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{4y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin güney doğu komşusunun akım yönü 5 ise Q_{5y} gerçek değerini, 5 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{5y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin doğu komşusunun akım yönü 6 ise Q_{6y} gerçek değerini, 6 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{6y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin güney batı komşusunun akım yönü 7 ise Q_{7y} gerçek değerini, 7 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{7y} sıfır değerini almaktadır.
- Eğer hücrenin batı komşusunun akım yönü 8 ise Q_{8y} gerçek değerini, 8 dışında herhangi bir akım yönünde ise Q_{8y} sıfır değerini almaktadır.

Herhangi bir yağış sonucunda elde edilen akış miktarının doğruluğunu tespit etmek için EİE ve DSI'nin nehir üzerinde kurmuş olduklar akım gözlem istasyonlarından alınan akım verileri ile denenmesi gerekmektedir. Nehir üzerinde kurulan akım gözlem istasyonlarında sadece yağıştan sonra oluşan akımın bulunmaması bunun yanı sıra bir önceki günün yüzeysel akışı ve taban akışının da bulunması ve akarsuda bulunan yüzeysel akımın ve taban akışının da sürekli bir artış ve çekilmeye maruz kalması kıyaslamayı zorlaştıran etmenlerdendir. Bu yüzden sağlıklı bir kıyaslamanın yapılabilmesi için her bir istasyonun taban akışının ayrılması ve çekilme katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bundan sonraki aşamada her bir istasyon için ayrı ayrı taban akışının ayrılması ve yüzeysel akışının çekilme katsayılarının belirlenerek Denklem 4. 3 'den elde edilen değerle kombine edilmesi ve gerçek akış değerleri ile test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca mevcut yağış ve akış ölçüm istasyonlarında dönem dönem verilerde eksikliklerin olması uzun yıllar bu testlerin yapılabilmesini engellemektedir. Çünkü hem yağış hemde akış istasyonlarının tamamının aynı anda

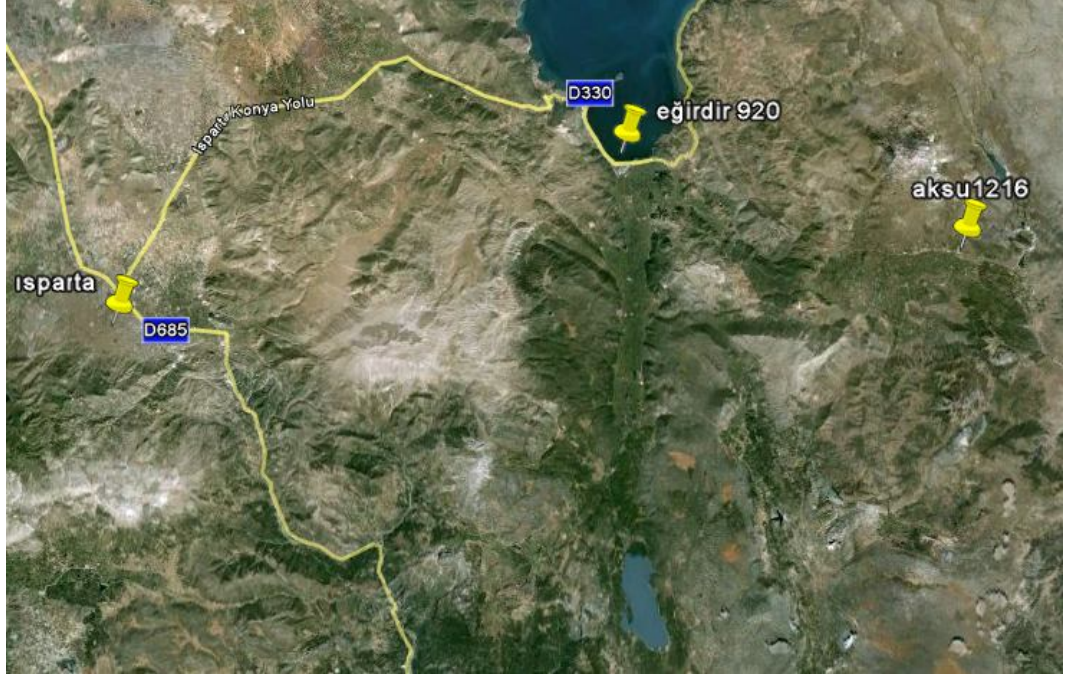
açık olduğu dönem sayısı oldukça azdır. Bu yüzden bundan sonraki bölümde taban akışı ve çekilme katsayılarının tespitinin yanı sıra eksik yağış ve akış verilerinin de tamamlanması için yapay sinir ağları ile modeller oluşturulacak ve literatürde mevcut diğer yöntemler ile kıyaslanarak en uygun yöntemle eksik verilerin tamamlanması sağlanacaktır.

4.9. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

Modelde Thiessen çokgenleri uygulandığında havzayı temsil eden 5 adet (Aksu, Kasımlar, Sütçüler, Serik ve Cevizli) yağış ölçüm istasyonu tespit edilmişti. Modelin uygulanabilmesi için bu 5 istasyonun tamamının da yağış verilerinin bulunması uygun olacaktır. Ancak geçmiş yıllarda, maalesef bu istasyonların bazıları işletilmemiştir. Bu istasyonlar zaman zaman açılıp kapanmıştır. Bu yüzden her bir istasyonun eksik yağış verilerinin tamamlanması gerekmektedir. Eksik yağış verilerinin tamamlanması için de bölgede bulunan ve bu istasyonlara yakın olan diğer yağış gözlem istasyonlarından yararlanılabilmektedir. Ölçüm yapılmamış yıllarda ve günlerdeki yağışlar tahmin edebilmek için literatürde mevcut olan ağırlıklı ortalama ve geometrik ortalama yöntemlerinin yanı sıra çoklu regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri de kullanılmıştır. Her istasyon için o istasyonu en iyi temsil eden yöntem seçilmiş ve bu yönteme göre eksik olan yılların verileri tamamlanmıştır.

4.9.1. Aksu yağış verilerinin tamamlanması

Üçüncü bölümde bahsedilen Aksu yağış ölçüm istasyonunun mevcut 17 yıllık verisinin ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 894,27 mm olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 12. Aksu yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları

Şekil 4.12 de de görüldüğü gibi Aksu yağış ölçüm istasyonuna en yakın ve yağış gözlemi kesintiye uğramamış istasyonlar olarak Eğirdir ve Isparta yağış ölçüm istasyonları seçilmiştir.

Üçüncü bölümde temel özellikleri verilmiş olan Eğirdir yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 820,57 mm dir. Eğirdir yağış ölçüm istasyonunun Aksu yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 18,09 km dir. Yıllık ortalama toplam yağış yüksekliklerine bakıldığında da Aksu istasyonuna en yakın değerleri veren istasyondur.

Üçüncü bölümde temel özellikleri verilmiş olan Isparta yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 510,73 mm dir. Isparta yağış ölçüm istasyonunun Aksu yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 44,94 km dir. bu istasyon yağış yüksekliği ve Aksu yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesine bakıldığında Eğirdir yağış ölçüm istasyonuna göre Aksu'yu temsil olanağı biraz daha azdır.

Yağış tahmini yapabilmek için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama çoklu regresyon ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 yöntem ile de mevcut yıllar baz alınarak modeller kurulmuş ve en iyi sonucu veren yönteme göre de eksik olan yıllar tamamlanmıştır. Model kurma ve test aşamalarında kullanılmak üzere Aksu'ya ait 17 yıllık veriden 13 yıllık veri eğitim verisi olarak geri kalan 4 yıllık veri ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Ağırlıklı ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Aksu, Eğirdir ve Isparta'ya uygulandığında Denklem 4.4 üretilmiştir.

$$P_{Aksu} = \frac{P_{Eğirdir} \frac{N_{Aksu}}{N_{Eğirdir}} + P_{Isparta} \frac{N_{Aksu}}{N_{Isparta}}}{2} \quad (4.4)$$

Harmonik ortalama metodunda Denklem 3.13 kullanılmış ve bu denklem Aksu, Eğirdir ve Isparta'ya uygulandığında Denklem 4.5 üretilmiştir.

$$P_{Aksu} = \frac{\Sigma[(P_{Eğirdir}/18,09^2) + (P_{Isparta}/44,94^2)]}{[\frac{1}{18,09^2} + \frac{1}{44,94^2}]} \quad (4.5)$$

Çoklu regresyon yönteminde SPSS programına lineer regresyon analizinde Aksu yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler bağımlı değişken Isparta ve Eğirdir yağış ölçüm istasyon verileri ise bağımsız değişken olarak programa tanıtılmıştır. Daha sonra analiz yapıldığında Denklem 4.6 elde edilmiştir.

$$P_{Aksu} = 0,673 * P_{Eğirdir} + 0,101 * P_{Isparta} + 0,783 \quad (4.6)$$

Burada elde edilen sabit sayı yağış olmadığı dönemlerde bile 0,783 mm yağış olması anlamına gelmektedir 1 mm nin altında olan bu değerin fazla bir etkisi olmaması dolayısı ile ihmal edilebileceği düşünülmüştür. Böylelikle Denklem 4.6 Denklem 4.7'e dönüştürülmüş ve yağış tahmini sırasında bu denklem kullanılmıştır.

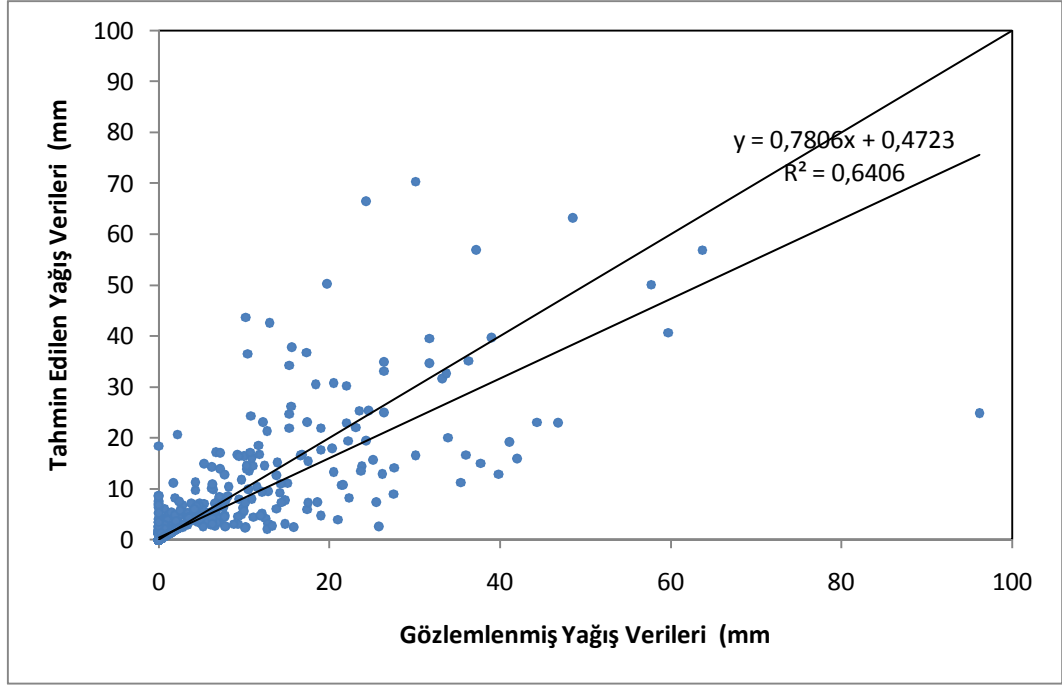
$$P_{Aksu} = 0,673 * P_{Eğirdir} + 0,101 * P_{Isparta} \quad (4.7)$$

Son olarak YSA kullanılarak eksik verilerin tamamlanması yoluna getirilmiştir. Modeller oluşturulmadan önce veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulurken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker arttırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme algoritması kullanılmıştır.

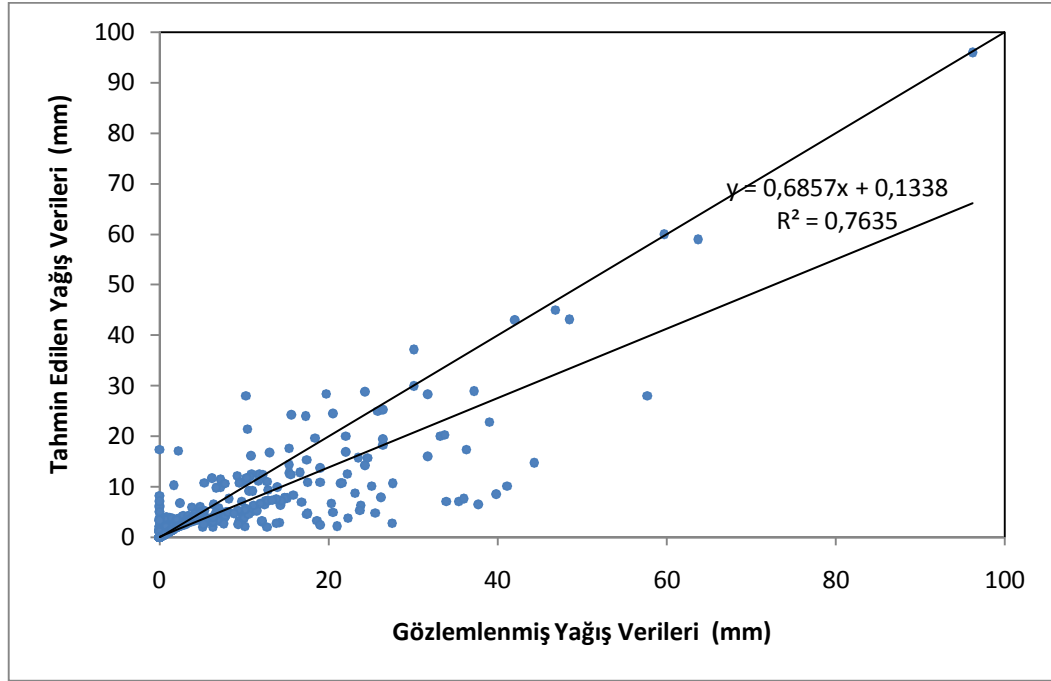
Ağırlıklı ortalama (Şekil 4.13), harmonik ortalama (Şekil 4.14) ve çoklu regresyon modellerinin (Şekil 4.15) yanı sıra değişik nöron sayılarına göre oluşturulan YSA modellerinden (Şekil 4.16) elde edilen eğitim verileri sonuçları ve test verisi sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3 Aksu yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması

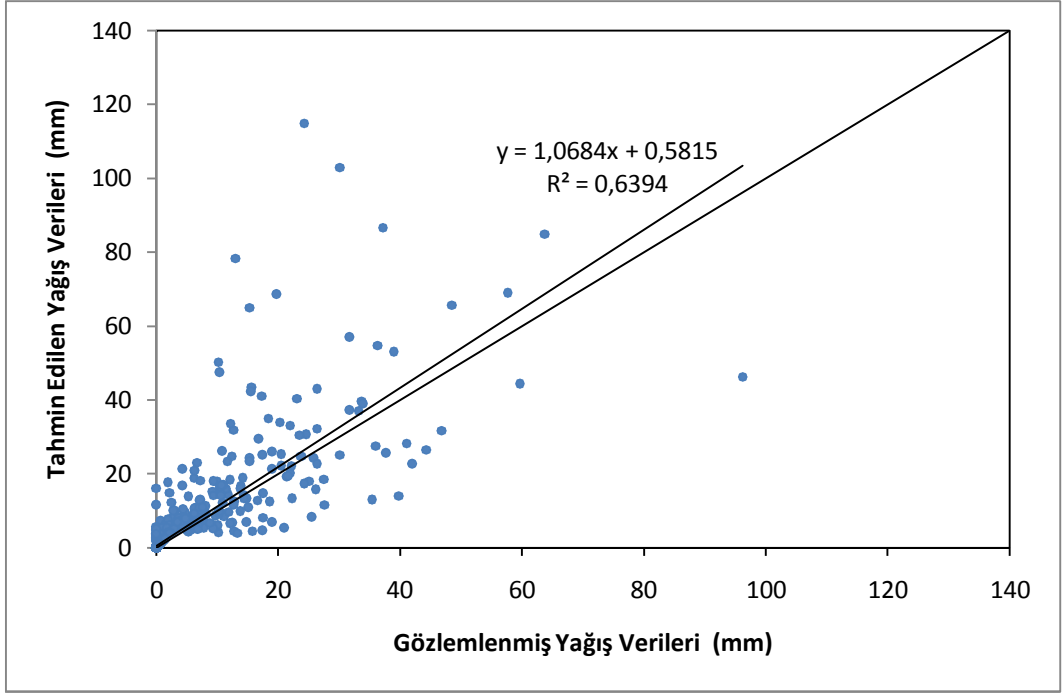
Yöntem	Eğitim		Test	
	R^2	Mutlak hata %	R^2	Mutlak hata %
Ağırlıklı ortalama	0,62	18,72	0,64	11,73
Harmonik ortalama	0,74	12,03	0,76	8,29
Çoklu Regresyon	0,60	29,21	0,63	19,84
YSA - 1 Nöron	0,83	8,12	0,73	12,32
YSA - 2 Nöron	0,86	7,12	0,76	11,34
YSA - 3 Nöron	0,87	9,45	0,77	11,65
YSA - 4 Nöron	0,91	3,98	0,80	8,98
YSA - 5 Nöron	0,93	2,79	0,82	7,79
YSA - 6 Nöron	0,94	2,74	0,81	8,74
YSA - 7 Nöron	0,93	3,42	0,81	8,12
YSA - 8 Nöron	0,92	4,11	0,79	8,91
YSA - 9 Nöron	0,90	5,12	0,80	9,22
YSA - 10 Nöron	0,89	6,72	0,78	9,90
YSA - 11 Nöron	0,88	5,21	0,77	13,27



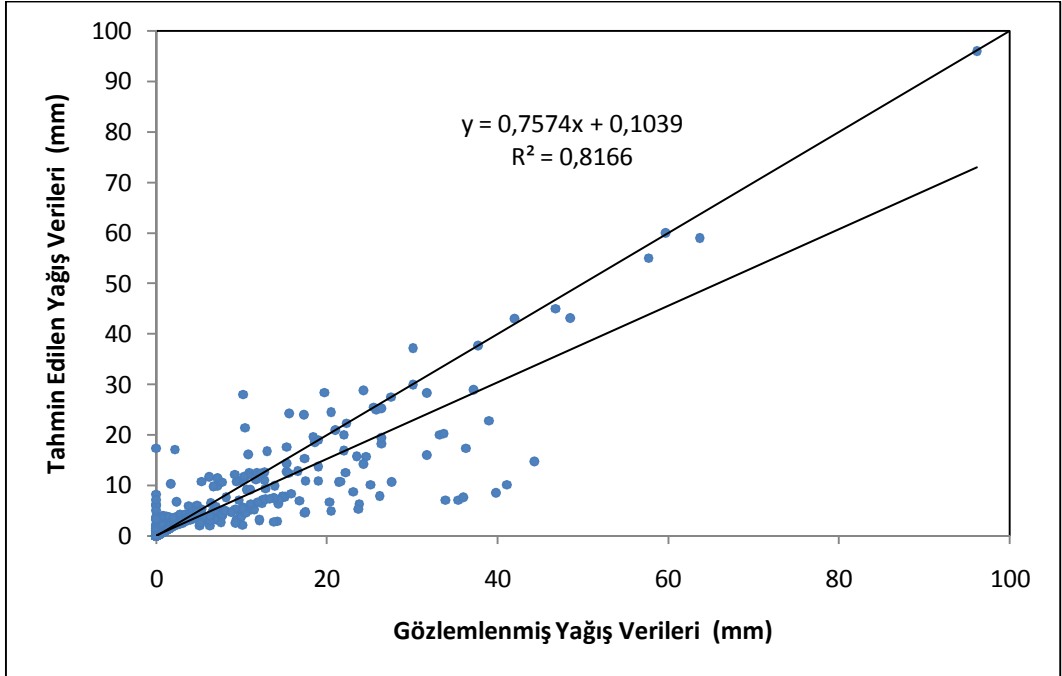
Şekil 4. 13. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 14. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 15. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 16. Aksu yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 5 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı

Çizelge 4.3 incelendiğinde aksu yağış ölçüm istasyonu eksik verilerini tahmin etmek için en uygun modelin 5 nöronlu YSA modeli olduğu düşünülmüştür. Buna göre ölçüm bulunmayan 1975-1982 aralığındaki veriler, 1984 yılındaki veriler ve 2001-2009 yılları arasındaki veriler 5 nöronlu YSA modeli ile tahmin edilmiş ve tezde oluşturulan havza modellemesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Modelin güncel olarak kalabilmesi içinde bundan sonraki yıllarda da 5 nöronlu YSA modeli ile veri tamamlaması yapılabileceği düşünülmektedir.

4.9.2. Sütçüler yağış verilerinin tamamlanması

Üçüncü bölümde özellikleri verilen Sütçüler yağış ölçüm istasyonunun 18 yıllık verisinin ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen ortalama yıllık toplam yağış miktarı 949,92 mm olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 17. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları

Şekil 4.17 de de görüldüğü gibi Sütçüler yağış ölçüm istasyonuna en yakın ve yağış gözlemi kesintiye uğramamış istasyonlar olarak Eğirdir, Isparta ve Seydişehir yağış ölçüm istasyonları seçilmiştir.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Eğirdir yağış ölçüm istasyonunun Sütçüler yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 40,46 km dir. Yıllık ortalama toplam yağış yüksekliklerine bakıldığında da Sütçüler istasyonuna en yakın değerleri veren istasyondur.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Isparta yağış ölçüm istasyonunun Sütçüler yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 46,78 km dir. Bu istasyonun yağış yüksekliği ve Sütçüler yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesine bakıldığında Eğirdir yağış ölçüm istasyonuna göre Sütçüler temsil olanağı biraz daha azdır.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Seydişehir yağış ölçüm istasyonunda yıllık ortalama toplam yağış miktarı 758,79 mm dir. Seydişehir yağış ölçüm istasyonunun Sütçüler yağış istasyonuna olan mesafesi ise 78,08 km dir. Bu istasyon mesafe olarak Sütçüler yağış istasyonunu temsil olanağının diğerlerine göre daha az olduğu düşünülmekle beraber yıllık toplam yağış miktarına bakıldığında Isparta yağış ölçüm istasyonundan daha yakın değer aldığı söylenebilmektedir.

Yağış tahmini yapabilmek için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama çoklu regresyon ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 yöntem ile de mevcut yıllar baz alınarak modeller kurulmuş ve en iyi sonucu veren yönteme göre de eksik olan yıllar tamamlanmıştır. Model kurma ve test aşamalarında kullanılmak üzere Sütçülere ait 18 yıllık veriden 14 yıllık veri eğitim verisi olarak geri kalan 4 yıllık veri ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Ağırlıklı ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Sütçüler, Eğirdir, Isparta ve Seydişehirde uygulandığında Denklem 4.8 üretilmiştir.

$$P_{Sütçüler} = \frac{P_{Eğirdir} \frac{N_{Sütçüler}}{N_{Eğirdir}} + P_{Isparta} \frac{N_{Sütçüler}}{N_{Ispartahh}} + P_{Eğirdir} \frac{N_{Sütçüler}}{N_{Seydişehir}}}{3} \quad (4.8)$$

Harmonik ortalama metodunda Denklem 3.13 kullanılmış ve bu denklem Sütçüler, Eğirdir, Isparta ve Seydişehirde uygulandığında Denklem 4.9 üretilmiştir.

$$P_{Sütçüler} = \frac{\sum[(P_{Eğirdir}/40,46^2)+(P_{Isparta}/46,78^2)+(P_{Seydişehir}/78,08^2)]}{[\frac{1}{40,46^2}+\frac{1}{46,78^2}+\frac{1}{78,08^2}]} \quad (4.9)$$

Çoklu regresyon yönteminde SPSS programına lineer regresyon analizinde Sütçüler yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler bağımlı değişken, Isparta, Eğirdir ve Seydişehir yağış ölçüm istasyon verileri ise bağımsız değişken olarak programa tanıtılmıştır. Daha sonra analiz yapıldığında Denklem 4. 10 elde edilmiştir.

$$P_{Sütçüler} = 0,261 * P_{Isparta} + 0,656 * P_{Eğirdir} + 0,25 * P_{Seydişehir} + 1,2 \quad (4.10)$$

Burada elde edilen sabit sayı, yağış olmadığı dönemlerde bile 1,2 mm yağış olması anlamına gelmektedir küçük bir yağış değeri olan bu değerin fazla bir etkisi olmaması dolayısı ile ihmal edilebileceği düşünülmüştür. Böylelikle Denklem 4.10 Denklem 4.11'e dönüştürülmüş ve yağış tahmini sırasında bu denklem kullanılmıştır.

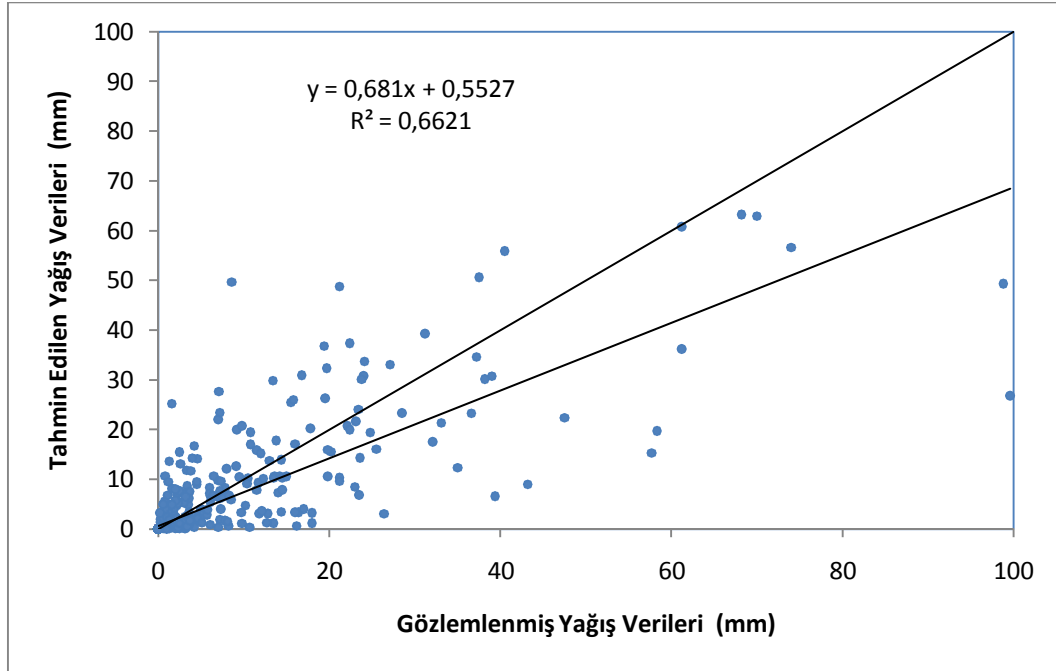
$$P_{Sütçüler} = 0,261 * P_{Isparta} + 0,656 * P_{Eğirdir} + 0,25 * P_{Seydişehir} \quad (4.11)$$

Son olarak YSA kullanılarak eksik verilerin tamamlanması yoluna gidilmiştir. Modeller oluşturulmadan önce veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulurken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker artırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme algoritması kullanılmıştır.

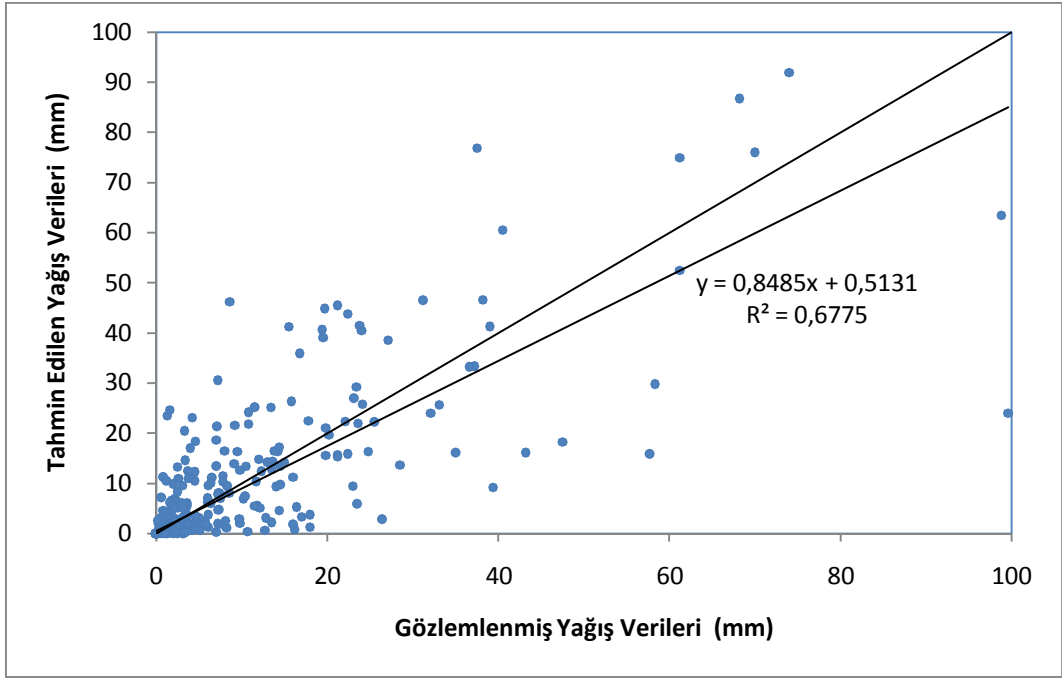
Ağırlıklı ortalama (Şekil 4.18), harmonik ortalama (Şekil 4.19) ve çoklu regresyon modellerinin (Şekil 4.20) yanı sıra değişik nöron sayılarına göre oluşturulan YSA modellerinden (Şekil 4.21) elde edilen eğitim verileri sonuçları ve test verisi sonuçları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4 Sütçüler yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması

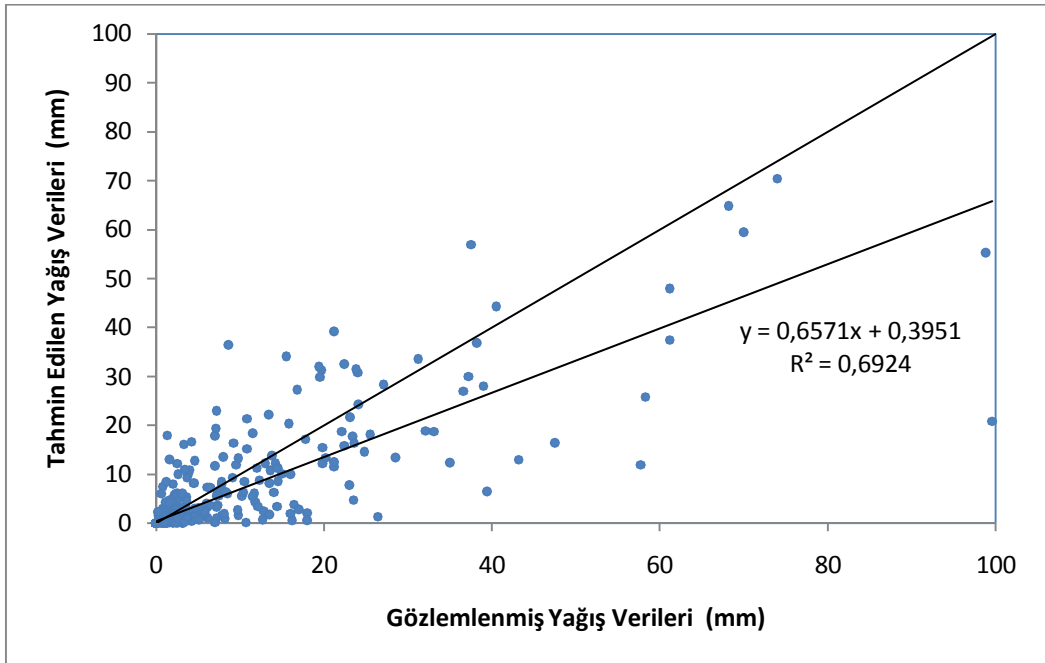
Yöntem	Eğitim		Test	
	R^2	Mutlak hata %	R^2	Mutlak hata %
Ağırlıklı ortalama	0,64	19,62	0,66	16,32
Harmonik ortalama	0,72	14,12	0,78	12,99
Çoklu Regresyon	0,63	24,41	0,69	17,24
YSA - 1 Nöron	0,73	15,66	0,63	22,43
YSA - 2 Nöron	0,85	14,13	0,75	13,44
YSA - 3 Nöron	0,87	13,28	0,83	12,11
YSA - 4 Nöron	0,92	12,44	0,85	13,12
YSA - 5 Nöron	0,93	9,87	0,88	11,91
YSA - 6 Nöron	0,93	8,95	0,89	10,99
YSA - 7 Nöron	0,94	6,72	0,89	10,78
YSA - 8 Nöron	0,94	5,68	0,90	10,61
YSA - 9 Nöron	0,95	5,32	0,91	10,22
YSA - 10 Nöron	0,95	5,14	0,90	10,35
YSA - 11 Nöron	0,96	4,21	0,90	11,02



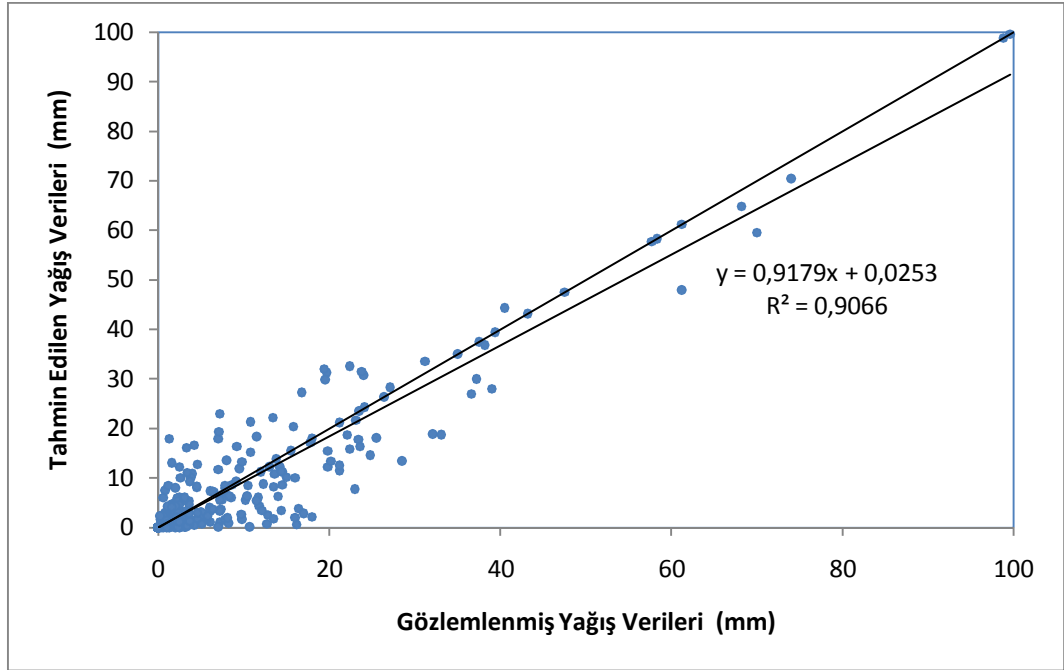
Şekil 4. 18. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 19. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 20. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı

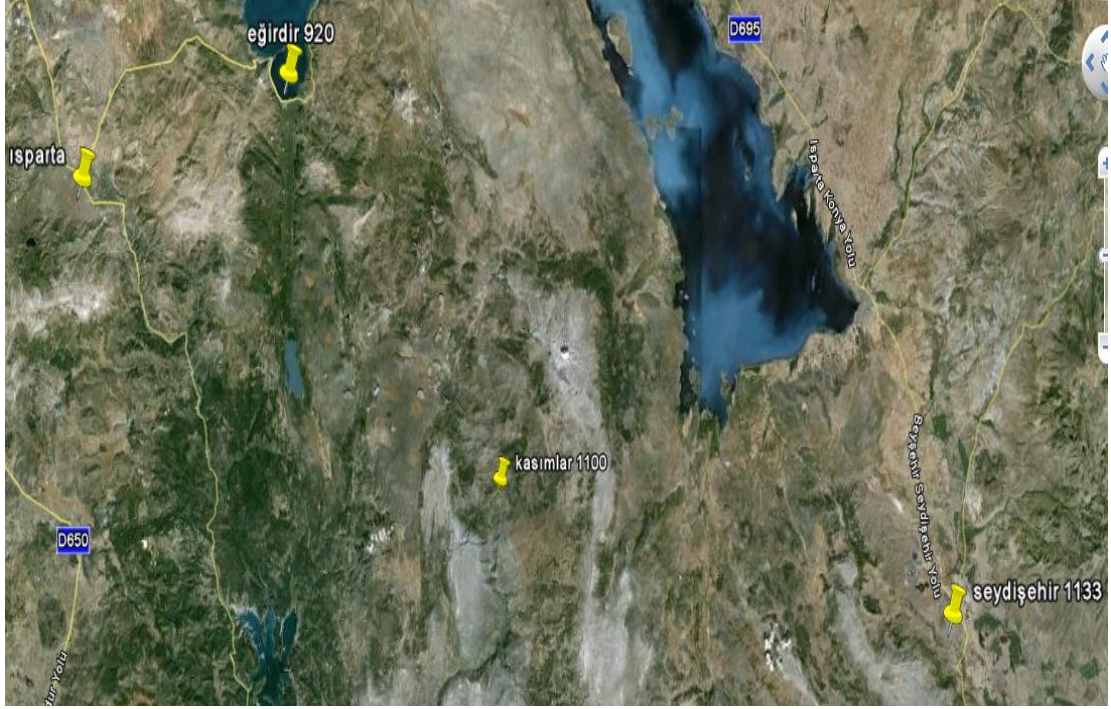


Şekil 4. 21. Sütçüler yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 9 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı

Çizelge 4.4 incelendiğinde Sütçüler yağış ölçüm istasyonu eksik verilerini tahmin etmek için en uygun modelin 9 nöronlu YSA modeli olduğu düşünülmüştür. Buna göre ölçüm bulunmayan 1993-2006 yılları arasındaki veriler 9 nöronlu YSA modeli ile tahmin edilmiş ve tezde oluşturulan havza modellemesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Modelin güncel olarak kalabilmesi içinde bundan sonraki yıllarda da 9 nöronlu YSA modeli ile veri tamamlaması yapılabileceği düşünülmektedir.

4.9.3. Kasımlar yağış verilerinin tamamlanması

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Kasımlar yağış ölçüm istasyonunun 6 yıllık yağış verisi mevcuttur. 6 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1043,77 mm dir.



Şekil 4. 22. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları

Şekil 4.22 de de görüldüğü gibi Kasımlar yağış ölçüm istasyonuna en yakın ve yağış gözlemi kesintiye uğramamış istasyonlar olarak Eğirdir Isparta ve Seydişehir yağış ölçüm istasyonları seçilmiştir.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Eğirdir yağış ölçüm istasyonunun Kasımlar yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 44,41 km dir. Yıllık ortalama toplam yağış yüksekliklerine bakıldığında da Kasımlar istasyonuna en yakın değerleri veren istasyondur.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Isparta yağış ölçüm istasyonunun Kasımlar yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesi ise 59,95 km dir. Bu istasyonun yağış yüksekliği ve Kasımlar yağış ölçüm istasyonuna olan mesafesine bakıldığında Eğirdir yağış ölçüm istasyonuna göre Kasımları temsil olanağı biraz daha azdır.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Seydişehir yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 758,79 mm dir. Seydişehir yağış ölçüm

istasyonunun Kasımlar yağış istasyonuna olan mesafesi ise 60,01 km dir. Bu istasyon mesafe olarak Kasımlar yağış istasyonunu temsil olanağının diğerlerine göre daha az olduğu düşünülmele beraber yıllık toplam yağış miktarına bakıldığında Isparta yağış ölçüm istasyonunda daha yakın değer aldığı söylenebilmektedir.

Yağış tahmini yapabilmek için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama çoklu regresyon ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 yöntem ile de mevcut yıllar baz alınarak modeller kurulmuş ve en iyi sonucu veren yönteme göre de eksik olan yıllar tamamlanmıştır. Model kurma ve test aşamalarında kullanılmak üzere Kasımlara ait 6 yıllık veriden 4 yıllık veri eğitim verisi olarak geri kalan 2 yıllık veri ise test verisi olarak ayrılmıştır. Ağırlıklı ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Kasımlar, Eğirdir, Isparta ve Seydişehirde uygulandığında Denklem 4.12 üretilmiştir.

$$P_{Kasımlar} = \frac{P_{Eğirdir} \frac{N_{Kasımlar}}{N_{Eğirdir}} + P_{Isparta} \frac{N_{Kasımlar}}{N_{Ispartahh}} + P_{Eğirdir} \frac{N_{Kasımlar}}{N_{hhhhSeydişehir}}}{3} \quad (4.12)$$

Harmonik ortalama metodunda Denklem 3.13 kullanılmış ve bu denklem Kasımlar, Eğirdir, Isparta ve Seydişehirde uygulandığında Denklem 4.13 üretilmiştir.

$$P_{Kasımlar} = \frac{\Sigma[(P_{Eğirdir}/44,41^2) + (P_{Isparta}/59,95^2) + (P_{Seydişehir}/60,01^2)]}{[\frac{1}{44,41^2} + \frac{1}{59,95^2} + \frac{1}{60,01^2}]} \quad (4.13)$$

Çoklu regresyon yönteminde SPSS programına lineer regresyon analizinde Kasımlar yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler bağımlı değişken, Isparta, Eğirdir ve Seydişehir yağış ölçüm istasyon verileri ise bağımsız değişken olarak programa tanıtılmıştır. Daha sonra analiz yapıldığında Denklem 4.14 elde edilmiştir.

$$P_{Kasımlar} = 0,121 * P_{Isparta} + 0,714 * P_{Eğirdir} + 0,365 * P_{Seydişehir} + 0,4 \quad (4.14)$$

Burada elde edilen sabit sayı, yağış olmadığı dönemlerde bile 0,4 mm yağış olması anlamına gelmektedir küçük bir yağış değeri olan bu değerin fazla bir etkisi olmaması dolayısı ile ihmal edilebileceği düşünülmüştür. Böylelikle Denklem 4.14 Denklem 4.15'e dönüştürülmüş ve yağış tahmini sırasında bu denklem kullanılmıştır.

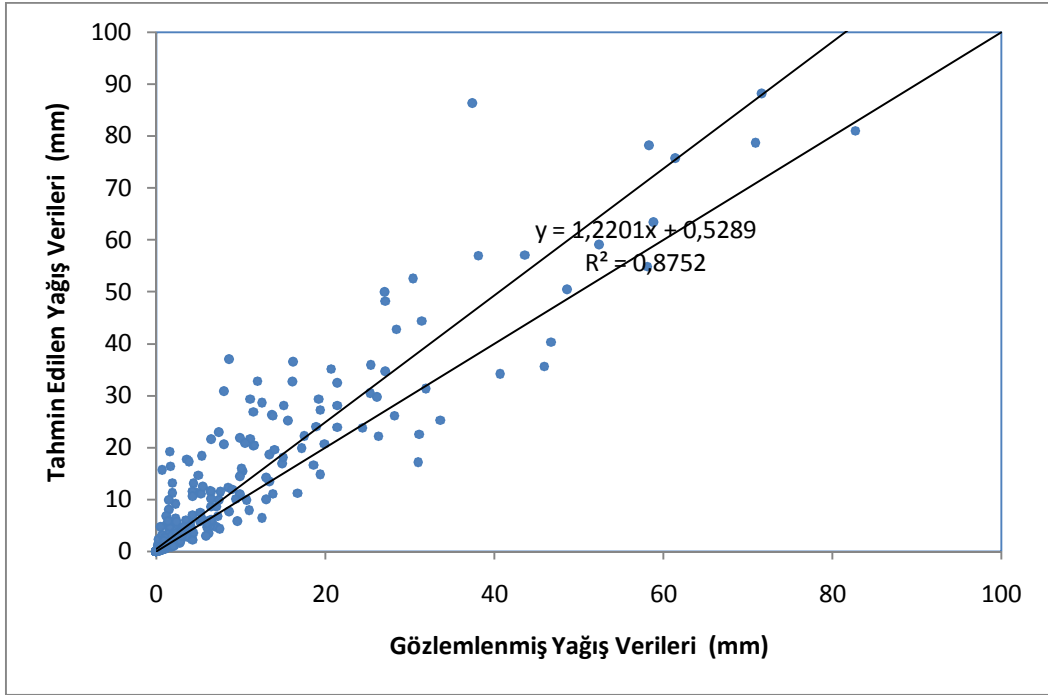
$$P_{Kasımlar} = 0,121 * P_{Isparta} + 0,714 * P_{Eğirdir} + 0,365 * P_{Seydişehir} \quad (4.15)$$

Son olarak YSA kullanılarak eksik verilerin tamamlanması yoluna getirilmiştir. Modeller oluşturulmadan önce veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulur iken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker arttırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme algoritması kullanılmıştır.

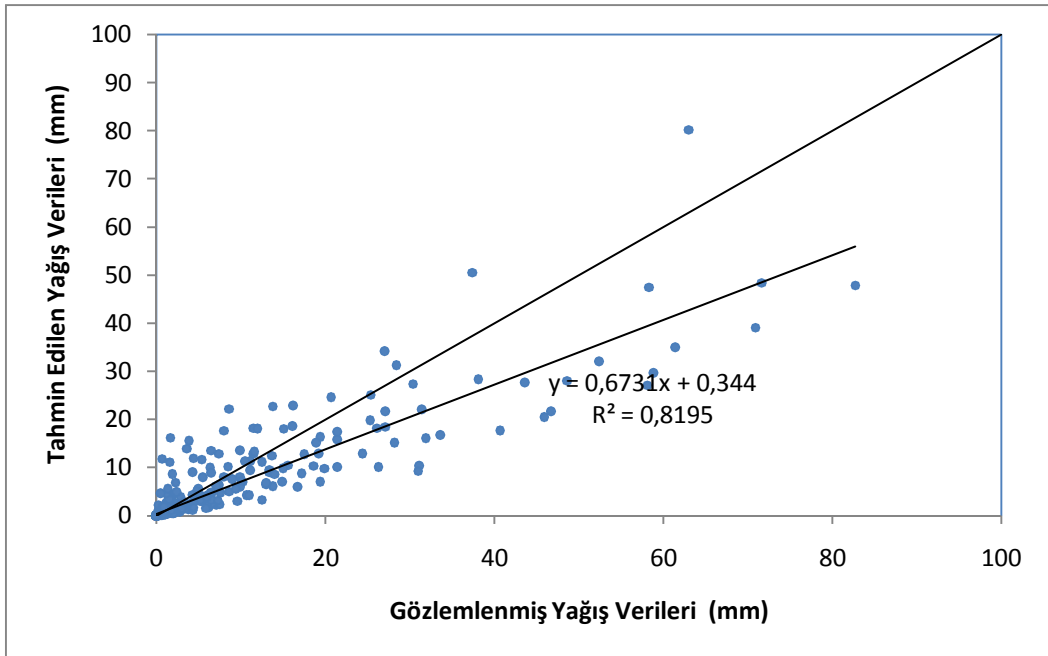
Ağırlıklı ortalama (Şekil 4.23), harmonik ortalama (Şekil 4.24) ve çoklu regresyon modellerinin (Şekil 4.25) yanı sıra değişik nöron sayılarına göre oluşturulan YSA modellerinden (Şekil 4.26) elde edilen eğitim verileri sonuçları ve test verisi sonuçları Çizelge 4,5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Kasımlar yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması

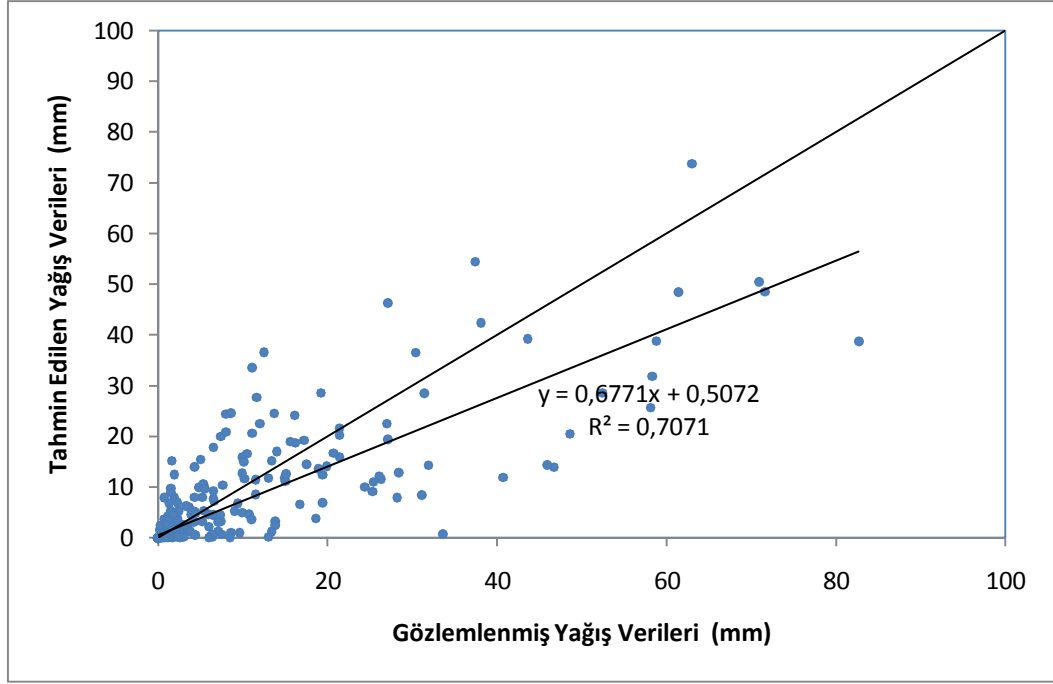
Yöntem	Eğitim		Test	
	R^2	Mutlak hata %	R^2	Mutlak hata %
Ağırlıklı ortalama	0,87	13,02	0,88	12,75
Harmonik ortalama	0,81	15,98	0,82	14,87
Çoklu Regresyon	0,73	27,65	0,71	28,98
YSA - 1 Nöron	0,82	14,89	0,81	15,65
YSA - 2 Nöron	0,86	9,12	0,85	9,65
YSA - 3 Nöron	0,88	8,79	0,87	9,42
YSA - 4 Nöron	0,89	9,76	0,88	8,56
YSA - 5 Nöron	0,89	7,65	0,88	8,14
YSA - 6 Nöron	0,92	5,98	0,88	6,89
YSA - 7 Nöron	0,91	5,73	0,89	7,86
YSA - 8 Nöron	0,90	6,02	0,89	6,13
YSA - 9 Nöron	0,93	5,45	0,90	5,82
YSA - 10 Nöron	0,93	4,65	0,90	5,02
YSA - 11 Nöron	0,92	5,42	0,89	6,31



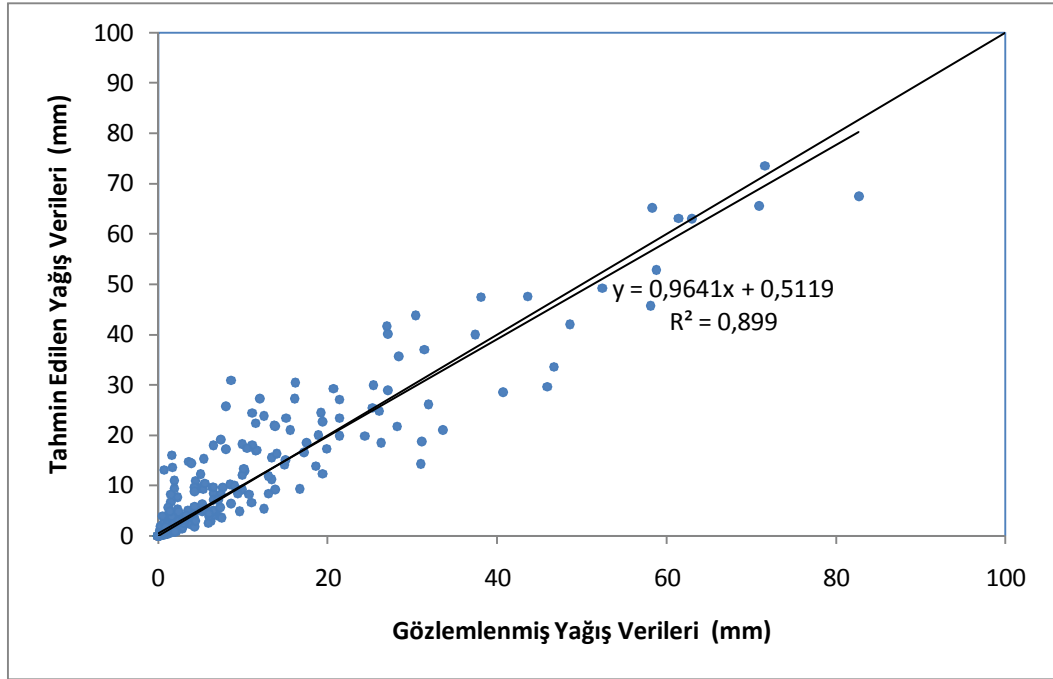
Şekil 4. 23. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 24. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 25. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı

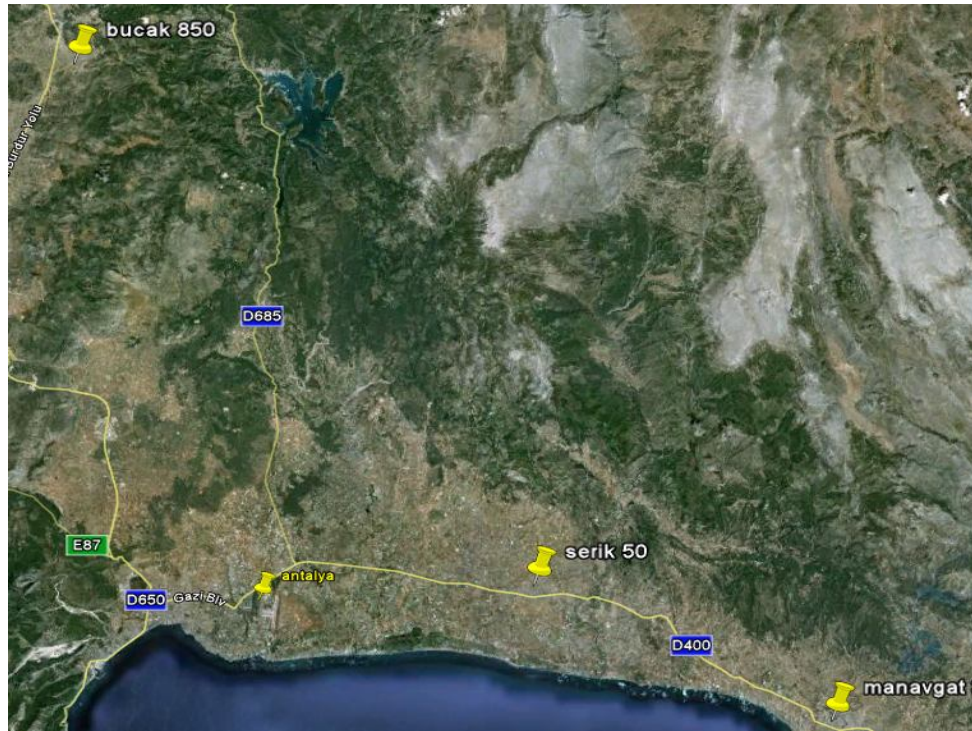


Şekil 4. 26. Kasımlar yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 10 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı

Çizelge 4.6 incelendiğinde Kasımlar yağış ölçüm istasyonu eksik verilerini tahmin etmek için en uygun modelin 10 nöronlu YSA modeli olduğu düşünülmüştür. Buna göre ölçüm bulunmayan 1975-1986 yılları arasındaki ve 1993-2006 yılları arasındaki veriler 10 nöronlu YSA modeli ile tahmin edilmiş ve tezde oluşturulan havza modellemesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Modelin güncel olarak kalabilmesi içinde bundan sonraki yıllarda da 10 nöronlu YSA modeli ile veri tamamlamasının yapılabileceği düşünülmektedir.

4.9.4. Serik yağış verilerinin tamamlanması

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Serik yağış ölçüm istasyonunun 20 yıllık yağış verisi mevcuttur. 20 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen ortalama yıllık toplam yağış miktarı 1154,86 mm dir.



Şekil 4. 27.Serik yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları

Şekil 4.27 de de görüldüğü gibi Serik yağış ölçüm istasyonuna en yakın ve yağış gözlemi kesintiye uğramamış istasyonlar olarak Antalya, Manavgat ve Bucak yağış ölçüm istasyonları seçilmiştir.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Antalya yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 1103,73 mm dir. Bu istasyonun Serik ölçüm istasyonuna olan mesafesi 27,74 km dir. Bu yağış ölçüm istasyonunun yükseltisine, Serik ten olan mesafesine ve yıllık ortalama toplam yağış yüksekliğine bakıldığında Serik yağış ölçüm istasyonunu temsil özelliğinin oldukça yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Manavgat yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 1124,786 mm dir. Bu istasyonun Serik yağış ölçüm istasyonundan olan mesafesi 33,47 km dir. Antalya yağış ölçüm istasyonu gibi bu istasyonunda yükseltisine, Serik ten olan mesafesine ve yıllık ortalama toplam yağış yüksekliğine bakıldığında Serik yağış ölçüm istasyonunu temsil özelliğinin oldukça yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Bucak yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 703,42 mm dir. Bu istasyonun Serik yağış ölçüm istasyonundan olan mesafesi 73,75 km dir. Bu istasyonda ölçülen yağış verilerinin 1998 yılından sonra mevcut olmamasının yanı sıra Serik ile olan kot farkı ve mesafe farkları ile yıllık ortalama toplam yağış yüksekliğinin de farklılıklar göstermesi bu istasyonun Serik yağış istasyonuna ait veri tamamlanması modellerinden çıkartılmasına neden olmuştur.

Yağış tahmini yapabilmek için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama çoklu regresyon ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 yöntem ile de mevcut yıllar baz alınarak modeller kurulmuş ve en iyi sonucu veren yönteme göre de eksik olan yıllar tamamlanmıştır. Model kurma ve test aşamalarında kullanılmak üzere Serige ait 20 yıllık veriden 16 yıllık veri eğitim verisi olarak geri kalan 4 yıllık veri ise test verisi olarak ayrılmıştır.

Ağırlıklı ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Serik, Antalya ve Manavgat'a uygulandığında Denklem 4.16 üretilmiştir.

$$P_{Serik} = \frac{P_{Antalya} \frac{N_{Serik}}{N_{Antalya}} + P_{Isparta} \frac{N_{Serik}}{N_{Manavgat}}}{2} \quad (4.16)$$

Harmonik ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Serik, Antalya ve Manavgat'a uygulandığında Denklem 4.17 üretilmiştir.

$$P_{Serik} = \frac{\Sigma[(P_{Antalya}/27,74^2) + (P_{Manavgat}/33,47^2)]}{[\frac{1}{27,74^2} + \frac{1}{33,47^2}]} \quad (4.17)$$

Çoklu regresyon yönteminde SPSS programına lineer regresyon analizinde Serik yağış ölçüm istasyonundan alınan veriler bağımlı değişken, Antalya ve Manavgat yağış ölçüm istasyon verileri ise bağımsız değişken olarak programa tanıtılmıştır. Daha sonra analiz yapıldığında Denklem 4.18 elde edilmiştir.

$$P_{Serik} = 0,765 * P_{Antalya} + 0,320 * P_{Manavgat} + 0,8 \quad (4.18)$$

Burada elde edilen sabit sayı, yağış olmadığı dönemlerde bile 0,8 mm yağış olması anlamına gelmektedir küçük bir yağış değeri olan bu değer fazla bir etkisi olmaması dolayısı ile ihmal edilebileceği düşünülmüştür. Böylelikle Denklem 4.18 Denklem 4.19'a dönüştürülmüş ve yağış tahmini sırasında bu denklem kullanılmıştır.

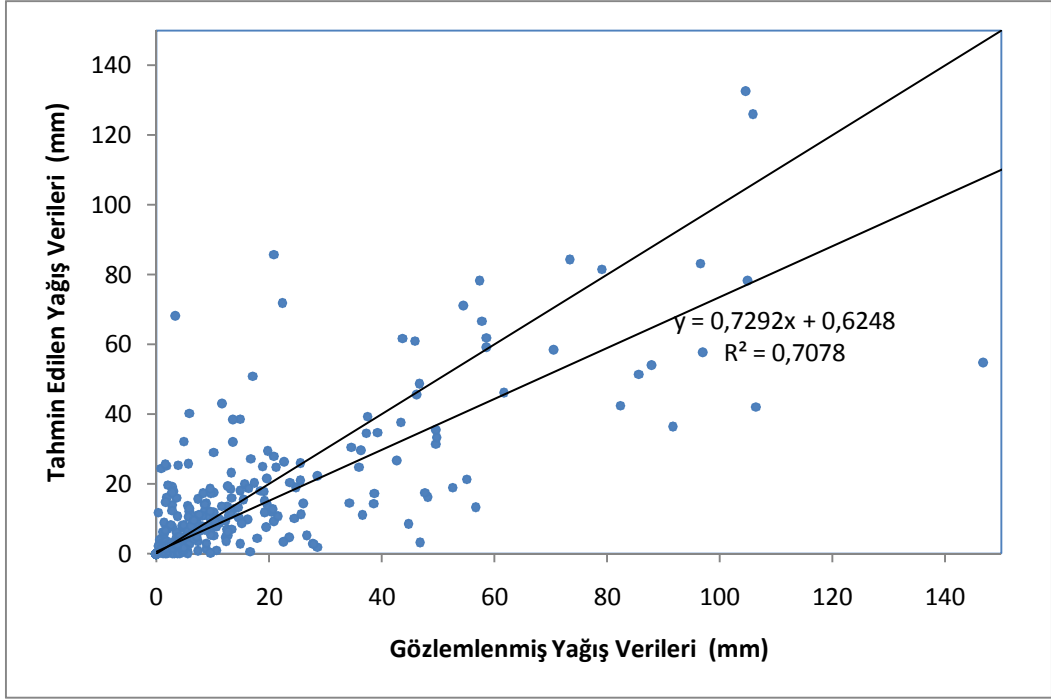
$$P_{Serik} = 0,765 * P_{Antalya} + 0,320 * P_{Manavgat} \quad (4.19)$$

Son olarak YSA kullanılarak eksik verilerin tamamlanması yoluna getirilmiştir. Modeller oluşturulmadan önce veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulur iken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker arttırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme algoritması kullanılmıştır.

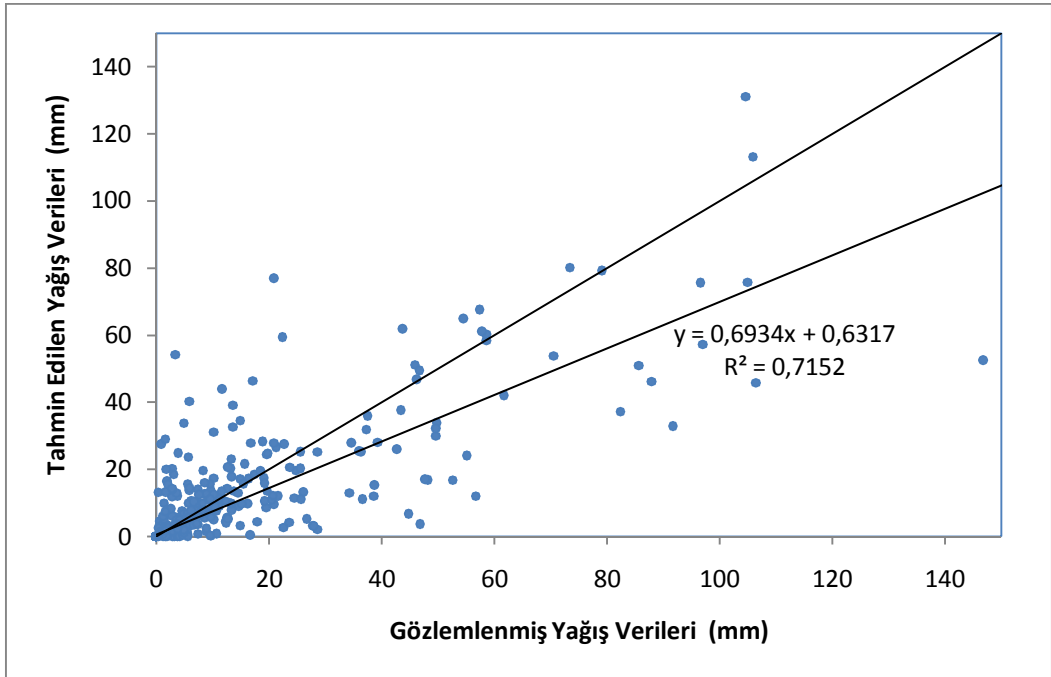
Ağırlıklı ortalama (Şekil 4.28), harmonik ortalama (Şekil 4.29) ve çoklu regresyon modellerinin (Şekil 4.30) yanı sıra değişik nöron sayılarına göre oluşturulan YSA modellerinden (Şekil 4.31) elde edilen eğitim verileri sonuçları ve test verisi sonuçları Çizelge 4,6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 6 Serik yağış istasyonu için kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçların gözlemlenmiş eğitim ve test sonuçları ile karşılaştırılması

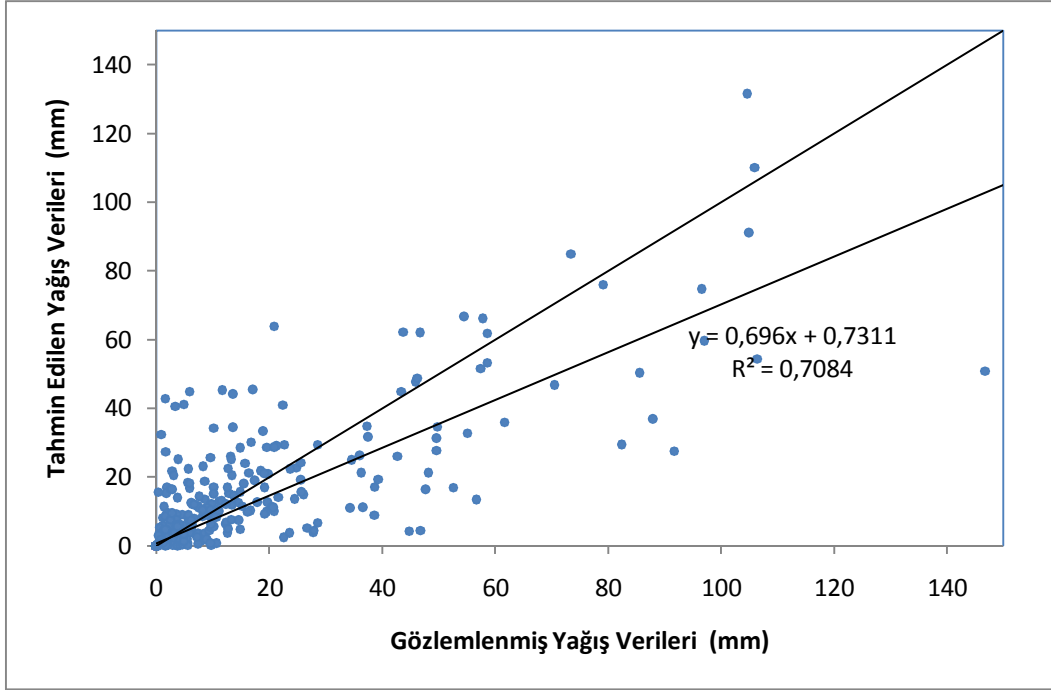
Yöntem	Eğitim		Test	
	R^2	<i>Mutlak hata %</i>	R^2	<i>Mutlak hata %</i>
Ağırlıklı ortalama	0,72	26,5	0,71	28,9
Harmonik ortalama	0,68	34,4	0,72	26,5
Çoklu Regresyon	0,74	23,5	0,71	29,1
YSA - 1 Nöron	0,69	32,3	0,63	34,6
YSA - 2 Nöron	0,75	21,3	0,69	31,2
YSA - 3 Nöron	0,82	16,7	0,72	27,8
YSA - 4 Nöron	0,84	14,5	0,75	25,8
YSA - 5 Nöron	0,86	13,2	0,76	24,6
YSA - 6 Nöron	0,86	12,9	0,78	25,6
YSA - 7 Nöron	0,88	10,9	0,77	21,8
YSA - 8 Nöron	0,89	10,6	0,78	19,8
YSA - 9 Nöron	0,90	9,8	0,79	17,8
YSA - 10 Nöron	0,90	9,5	0,79	17,0
YSA - 11 Nöron	0,88	11,2	0,79	15,2



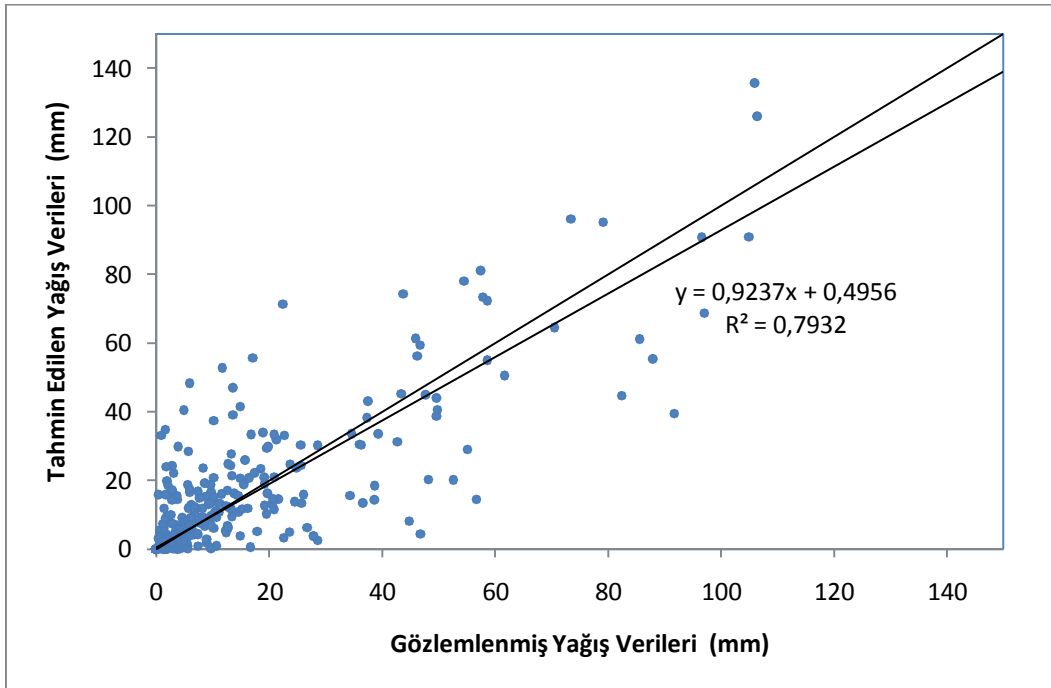
Şekil 4. 28. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 29. Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için harmonik ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 30.Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için çoklu regresyon yöntemine göre saçılım diyagramı



Şekil 4. 31.Serik yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için 11 nöronlu YSA modeline göre saçılım diyagramı

Çizelge 4.6 incelendiğinde Serik yağış ölçüm istasyonu eksik verilerini tahmin etmek için en uygun modelin 11 nöronlu YSA modeli olduğu düşünülmüştür. Buna göre ölçüm bulunmayan 1987-1988 yılları arasındaki ve 1997-2006 yılları arasındaki veriler 11 nöronlu YSA modeli ile tahmin edilmiş ve tezde oluşturulan havza modellemesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Modelin güncel olarak kalabilmesi içinde bundan sonraki yıllarda da 11 nöronlu YSA modeli ile veri tamamlamasının yapılabileceği düşünülmektedir.

4.9.5. Cevizli yağış verilerinin tamamlanması

Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Cevizli yağış ölçüm istasyonunun 17 yıllık yağış verisi mevcuttur. 17 yılın ortalaması alındığında bu istasyonda meydana gelen yıllık toplam yağış miktarı 1490,7 mm dir.



Şekil 4. 32. Cevizli yağış ölçüm istasyonu ve en yakın yağış ölçüm istasyonları

Şekil 4.32 de de görüldüğü gibi Cevizli yağış ölçüm istasyonuna en yakın ve yağış gözlemi kesintiye uğramamış istasyon olarak Seydişehir yağış ölçüm istasyonu seçilmiştir.

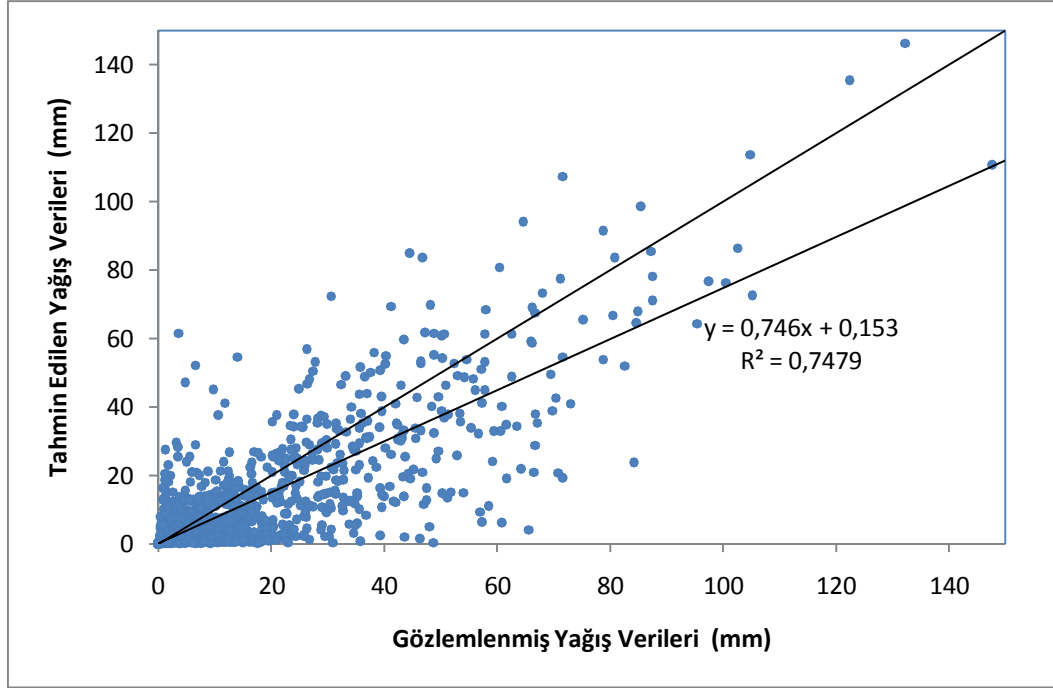
Üçüncü bölümde özellikleri verilmiş olan Seydişehir yağış ölçüm istasyonunun ortalama yıllık toplam yağış miktarı 758,79 mm dir. Seydişehir yağış ölçüm istasyonunun Cevizli yağış istasyonuna olan mesafesi ise 25,09 km dir.

Yağış tahmini yapabilmek için diğer istasyonlarda ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama çoklu regresyon ve yapay sinir ağları olmak üzere 4 yöntem ile de mevcut yıllar baz alınarak modeller kurulmuş ve en iyi sonucu veren yönteme göre de eksik olan yılların tamamlanması yoluna gidiliyordu. Fakat bu istasyonun havzayı çok az oranda temsil etmesi ve çevresinde tüm senelerde ölçüm yapılmış bir tek Seydişehir yağış ölçüm istasyonu olmasından dolayı sadece ağırlıklı ortalama metodunun uygulanıp buna göre eksik verilerin tamamlanması yoluna gidilmesi düşünülmüştür. Model kurma ve test aşamalarında kullanılmak üzere Cevizliye ait 17 yıllık verinin tamamı test için kullanılmıştır.

Ağırlıklı ortalama metodunda Denklem 3.12 kullanılmış ve bu denklem Cevizli ve Seydişehir'e uygulandığında Denklem 4.20 üretilmiştir.

$$P_{Cevizli} = P_{Seydişehir} \frac{N_{Cevizli}}{N_{Seydişehir}} \quad (4.20)$$

Denklem 4.20 sonucu test için ayrılan veriler ile model test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 33. Cevizli yağış ölçüm istasyonu test verisi tahminleri için ağırlıklı ortalama yöntemine göre saçılım diyagramı

Şekil 4.33’den de görüldüğü üzere 0,7479 çıkan regresyon ve %25,3 lük mutlak hata yüzdesinin yanı sıra Cevizli yağış ölçüm istasyonunun havzayı çok fazla temsil etmemesi nedeni ile sadece ağırlıklı ortalama metodu ile tahminin yapılabileceği düşünülmüştür. Buna göre ölçüm bulunmayan 1992-2006 yılları arasındaki veriler ağırlıklı ortalama yöntemi ile tahmin edilmiş ve tezde oluşturulan havza modellemesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Modelin güncel olarak kalabilmesi içinde bundan sonraki yıllarda da ağırlıklı ortalama yöntemi ile veri tamamlamasının yapılabileceği düşünülmektedir.

4.10. Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması

Modeli test etmek amacı ile Köprüçay Nehri üzerinde bulunan E.İ.E ve D.S.İ. nin akım gözlem istasyonları mevcuttur. Ancak bu istasyonlar zaman içerisinde kapatılmış veya sonradan kurulmuştur. Bundan dolayı yağış dönemlerinin mevcut olduğu 1975-2006 yılları arasında bütün istasyonlardan test için faydalanmak

mümkün olmamaktadır. Mevcut istasyonlardan daha fazla yararlanmak için eldeki akım verilerinin artırılması gerekmektedir. Ancak bu noktada E.İ.E. ve D.S.İ. akım gözlem istasyonundan alınan veriler incelendiğinde E.İ.E. den alınan akım verilerinin kendi içerisinde ve D.M.İ. den alınan yağış verileri ile büyük ölçüde paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Fakat D.S.İ. den alınan verilerin hem kendi içerisinde hemde D.M.İ. den alınan yağış verileri ile çok farklılıklar oluşturduğu görülmüştür. Bu yüzden sadece E.İ.E. den alınan akım verilerinin eksik olan yıllarının tamamlanması düşünülmüştür.

Bu doğrultuda 1940 yılından itibaren tüm verileri tam olan 902 nolu Beşkonak akım gözlem istasyonundan faydalanılarak 919 nolu Bolasan ve 921 nolu Kasımlar akım gözlem istasyonlarının eksik yıllarının tamamlanması için YSA modelleri kurulmuştur.

4.10.1. Bolosan akım verilerinin tamamlanması

37,302 kuzey enlemi ve 31,191 doğu boylamında bulunan 910 nolu Bolasan akım gözlem istasyonuna ait 1963 – 1971 akım yıllarını içine alan 9 yıllık debi ölçümü mevcuttur. Bu istasyon 1972 yılında kapatılmış olup yerine 919 nolu istasyon açılmıştır. 1984 yılında açılmış olan 37,305 kuzey enlemi ve 31,190 doğu boylamında bulunan 919 nolu Bolasan akım gözlem istasyonu ise 1985 -2004 akım yıllarına ait 20 yıllık debi ölçümüne sahiptir.

Açılan ve kapatılan istasyonların birbirine çok yakın olmasından dolayı 910 nolu istasyondaki 9 yıllık veriler ile 919 nolu istasyondaki 20 yıllık verinin tamamının model kurmada kullanılabileceği öngörülmüştür. Modeli kurabilmek için bu verilere karşı gelen 902 nolu Beşkonak ölçüm istasyonuna ait 29 yıllık veride girdi olarak kullanılmıştır.

Öncelikle modeller oluşturulmadan veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulur iken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker artırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme

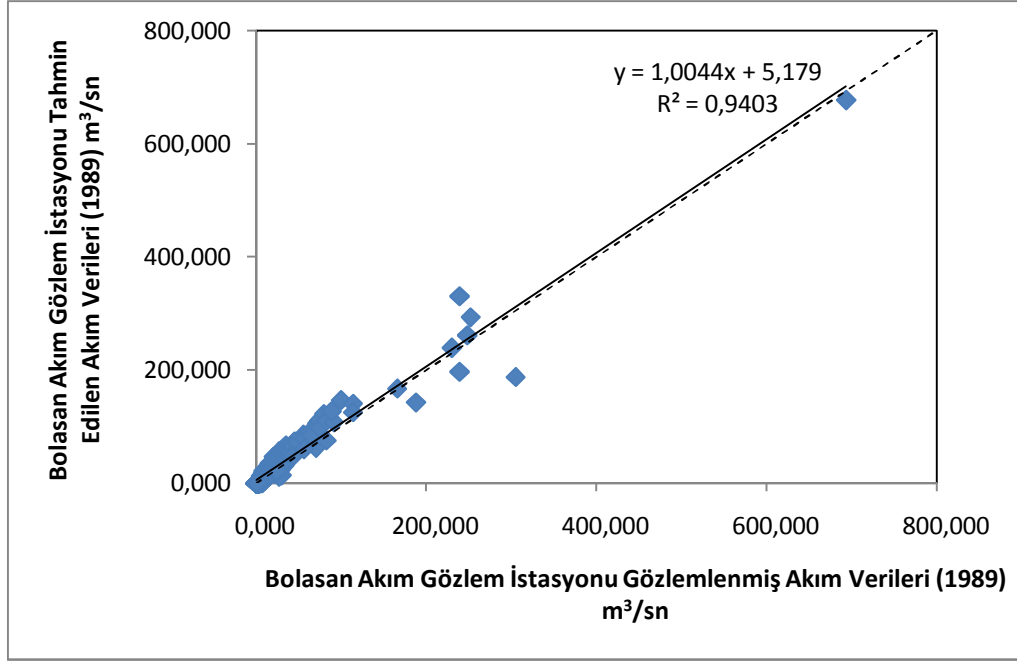
algoritması kullanılmıştır. 29 (10592 gün) yıllık veriden ilk 23 (8400 gün) yılı eğitim için ayrılmış geri kalan son 6 yıl (2192 gün) ise test için kullanılmıştır. Girdi olarak Beşkonak akım gözlem istasyonuna ait t ve t-1 günlerindeki debiler çıktı olarak ta Bolasan akım gözlem istasyonuna ait t günündeki debiler kullanılmıştır.

8 adet yapay sinir ağı modeli oluşturulmuş, regresyon katsayıları ve mutlak hata yüzdeleri tespit edilmiştir. Bulunan bu değerlerin tümü Çizelge 4.7’de gösterilmiş ve Bolasan akım gözlem istasyonu için en uygun YSA modeli seçilmiştir.

Çizelge 4. 7 Bolosan akım gözlem istasyonu için oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	Eğitim		Test	
	R ²	M. Hata %	R ²	M. Hata %
1 Nöron	0,965	6,4	0,923	9,7
2 Nöron	0,967	5,4	0,933	8,7
3 Nöron	0,972	4,95	0,938	8,25
4 Nöron	0,975	4,69	0,94	7,99
5 Nöron	0,975	4,6	0,941	7,9
6 Nöron	0,976	4,5	0,942	7,8
7 Nöron	0,977	4,2	0,943	7,79
8 Nöron	0,976	4,5	0,942	7,8

Çizelge 4.7 incelendiğinde hem eğitim hemde test için ayrılan veriler incelendiğinde 7 nöronlu YSA modelinin Bolasan akım gözlem istasyonunda bulunan eksik verilerin tamamlanması için uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca modelin doğruluğunu tekrar test etmek amacı ile test için ayrılan akım yıllarından rastgele seçilmiş olan 1989 yılı için tekrar uygulanmış ve Şekil 4.34 deki saçılım diyagramı elde edilmiştir. Dağılıma bakıldığında 45 derecelik eksenle hemen hemen çakıştığı regresyon katsayısının 0,94 çıktığı ve bu değer toplu test değerine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca bu yılın mutlak hata yüzdesi hesaplandığında bu değerinde %7,749 gibi makul sayılabilecek bir seviyede kaldığı ve bütün bu nedenlerle oluşturulan YSA modelinin uygun olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4. 34. 1989 akım gözlem yılına ait gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım değerlerinin saçılım diyagramı

Bundan sonraki kısımda 1972-1984 yılları aralığı ve 2005-2006 aralığındaki eksik olan tüm veriler, tezde oluşturulan parametrik havza modelin doğruluğunu test edebilmek amacı ile tamamlanmıştır.

4.10.2. Kasımlar akım verilerinin tamamlanması

37,521 kuzey enlemi ve 31,204 doğu boylamında bulunan 921 nolu Kasımlar akım gözlem istasyonuna ait 1992-2004 akım yıllarını içine alan 13 yıllık debi ölçümü mevcuttur.

Öncelikle modeller oluşturulmadan veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu aşamadan sonra modeller oluşturulur iken 1 gizli tabaka kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayıları teker teker artırılarak en iyi YSA modeli elde edilmeye çalışılmıştır. Öğrenme ağı olarak ta ileri beslemeli geriye yayımlı öğrenme algoritması kullanılmıştır. 20 yıllık veriden ilk 16 yılı eğitim için ayrılmış geri kalan son 4 yıl ise test için kullanılmıştır. Girdi olarak Beşkonak akım gözlem istasyonuna

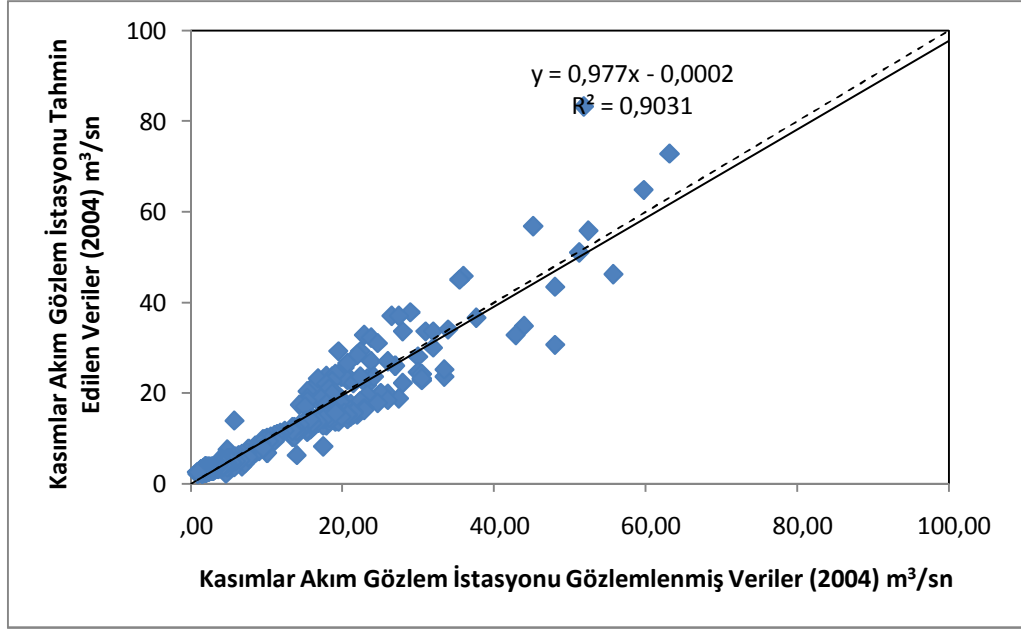
ait t ve t-1 anındaki debiler, çıktı olarak ta Kasımlar akım gözlem istasyonuna ait t anındaki debiler kullanılmıştır.

8 adet yapay sinir ağı modeli oluşturulmuş, regresyon katsayıları ve mutlak hata yüzdeleri tespit edilmiştir. Bulunan bu değerlerin tümü Çizelge 4.8’de gösterilmiş ve Kasımlar akım gözlem istasyonu için en uygun YSA modeli seçilmiştir.

Çizelge 4. 8 Kasımlar akım gözlem istasyonu için oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması

	Eğitim		Test	
	R ²	M. Hata %	R ²	M. Hata %
1 Nöron	0,865	16,4	0,826	19,7
2 Nöron	0,867	15,2	0,843	18,7
3 Nöron	0,892	11, 5	0,869	15,25
4 Nöron	0,913	9,79	0,882	12,9
5 Nöron	0,923	8,7	0,892	11,6
6 Nöron	0,934	6,6	0,887	9,8
7 Nöron	0,943	6,1	0,901	9,4
8 Nöron	0,941	6,0	0,90	9,2

Çizelge 4.8 incelendiğinde hem eğitim hemde test için ayrılan veriler incelendiğinde 7 nöronlu YSA modelinin Kasımlar akım gözlem istasyonunda bulunan eksik verilerin tamamlanması için uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca modelin doğruluğunu tekrar test etmek amacı ile test için ayrılan akım yıllarından rastgele seçilmiş olan 2004 yılı için tekrar uygulanmış ve Şekil 4.35 deki saçılım diyagramı elde edilmiştir. Dağılıma bakıldığında 45 derecelik eksenle hemen hemen çakıştığı regresyon katsayısının 0,903 çıktığı ve bu değer toplu test değerine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca bu yılın mutlak hata yüzdesi hesaplandığında bu değerinde %8,942 gibi makul sayılabilecek bir seviyede kaldığı ve bütün bu nedenlerle oluşturulan YSA modelinin uygun olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4. 35. 2004 akım gözlem yılına ait gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım değerlerinin saçılım diyagramı

Bundan sonraki kısımda 1975-1991 yılları aralığı ve 2005-2006 aralığındaki eksik olan tüm veriler, tezde oluşturulan parametrik havza modelin doğruluğunu test edebilmek amacı ile tamamlanmıştır.

4.11. Taban Akışının Belirlenmesi

Bu bölüme kadar olan kısımda yağışın olduğu günlerdeki akışın bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak akarsuda meydana gelen akışın tespitinin yapılabilmesi için taban akışının ve kurak dönemlerde meydana gelen çekilmelerinde tespit edilebilmesi gerekmektedir. Bu kısımda havzanın taban akışını ayırmak için 3. bölümde anlatılan taban akışı ayırma yöntemi kullanılacaktır. Bu model oluşturulurken E.İ.E. den alınan Bolasan, Kasımlar ve Beşkonak ölçüm istasyonlarından alınan verilerden faydalanılacaktır.

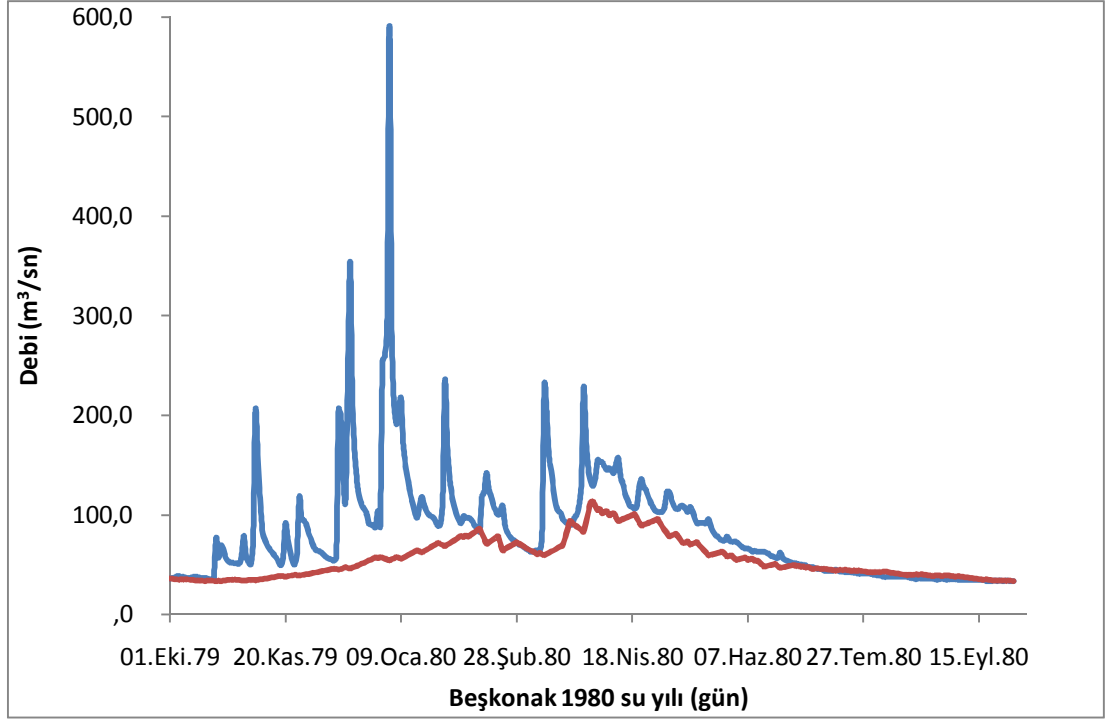
1980 yılından sonraki her akım yılı için Bolasan, Kasımlar ve Beşkonak akım gözlem istasyonundan alınan veriler için taban akışı yükselme ve alçalma katsayıları tespit edilmiştir.

Katsayılar tespit edilirken hidrografın son gününden başlanmış ve geriye doğru ilerlenmiştir. Bu işlem yapılırken Bosnesq'nin (1877) daha önce 2. Bölümde bahsedilen (Denklem 2.1) çekilme denklemi baz alınmıştır. Bu denklem çekilmenin olduğu dönemlerde birebir uygulanmış olup taban akışında yükselmenin olduğu dönemlerde Denklem 4.21 şekline dönüştürülmüş ve taban akışındaki yükselmeyi bulmak amacı ile kullanılmıştır.

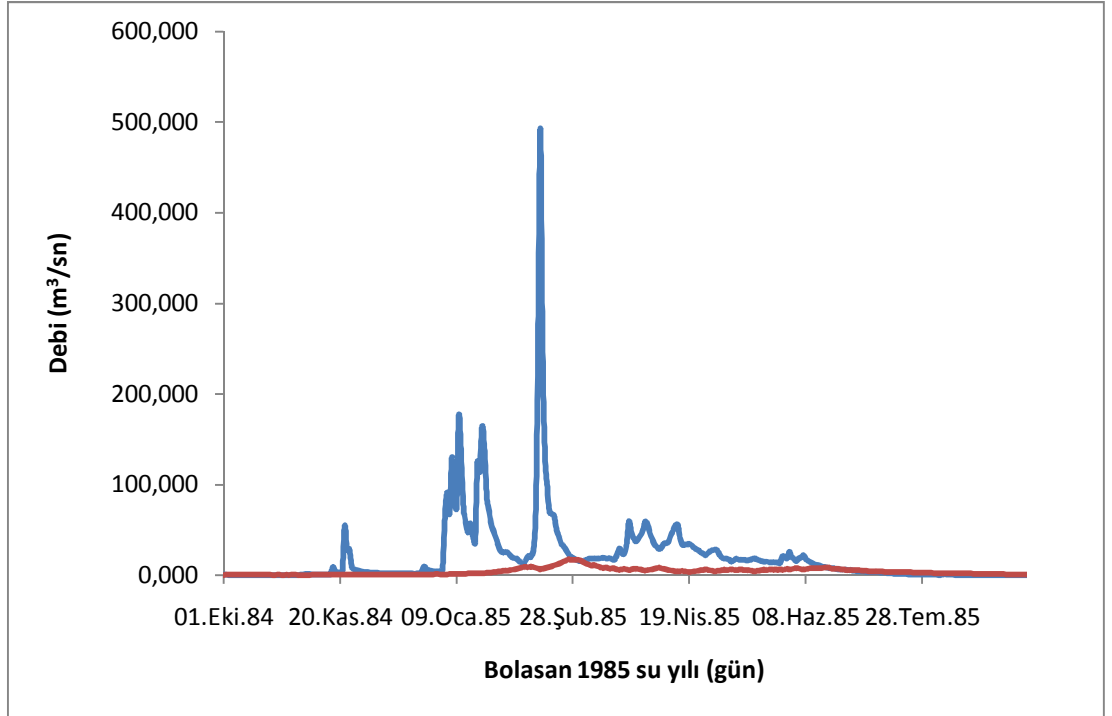
$$Q = Q_0 e^{\beta t} \quad (4.21)$$

Yağışın olmadığı dönemlerde alçalma katsayısı ile taban akışı yükseltilmiş, yağışlı günlerde ise tahmin edilen taban akışı yükselme katsayısı ile alçaltılmıştır. 15 Aralık – 1 Nisan tarihleri arası için farklı diğer tarihler arası farklı yükselme katsayısı tahmin edilmiştir. Hidrografın başlangıç noktasına gelindiğinde taban akışı hidrografla çakışıyor ise tahmin edilen yükselme katsayısı değerleri doğru kabul edilir. Şayet çakışma olmuyor ise katsayılar yenilenerek işlemler tekrar edilir. Bu işlem hidrograf tamamlanıncaya kadar sürdürülür. Bu şekilde bütün yıllar ve istasyonlar için bütün yükselme değerleri tespit edilmiştir. Şekil 4.36 – Şekil 4.41 aralığında modelin oluşturulmasına ait örnekler gösterilmiştir.

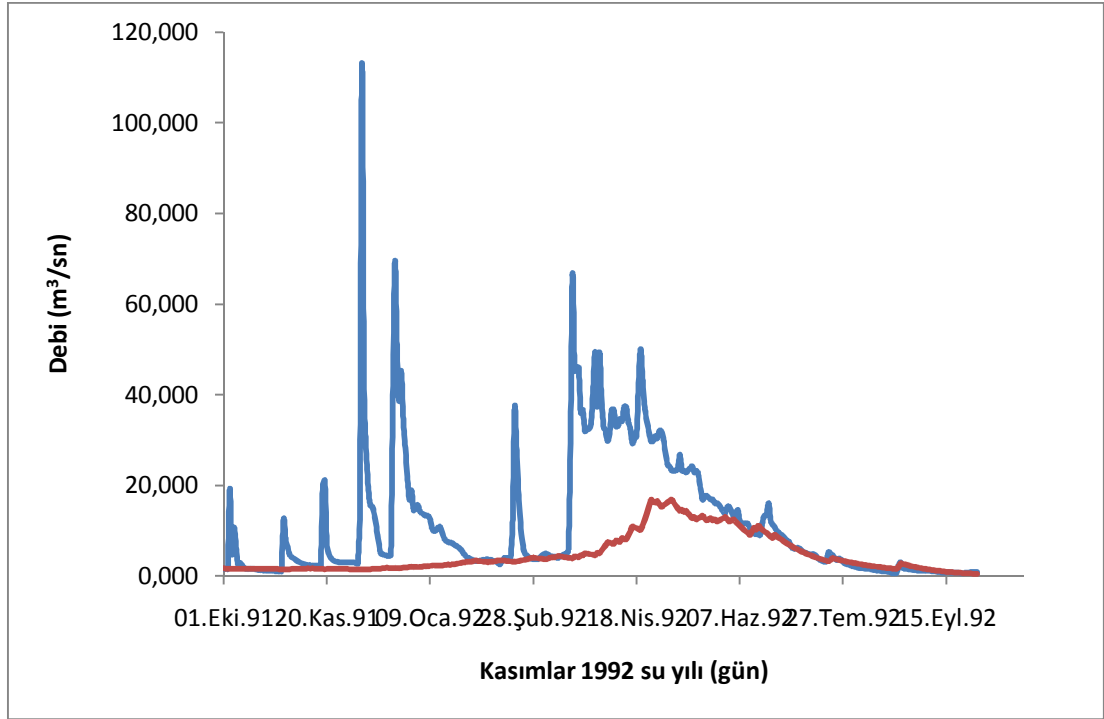
Hem bu grafiklerde gösterilen taban akışı ayrımlarında tespit edilen yükselme katsayıları hemde burada grafiği verilmemiş verilere ait yükselme katsayıları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.



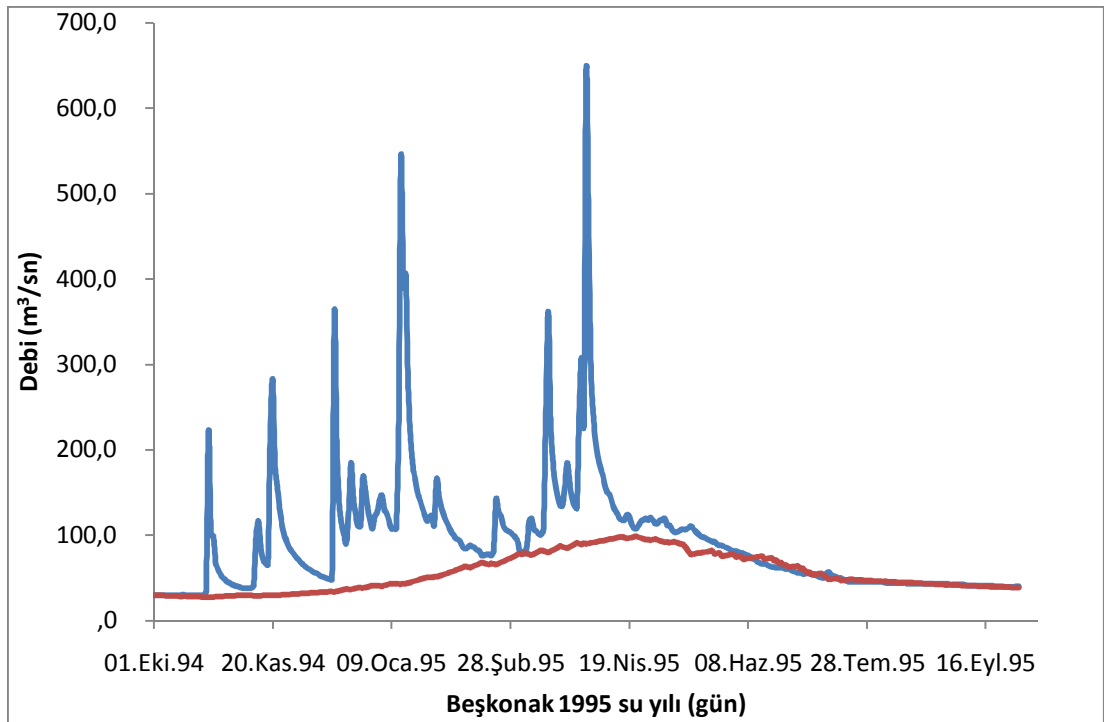
Şekil 4. 36. 1980 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri



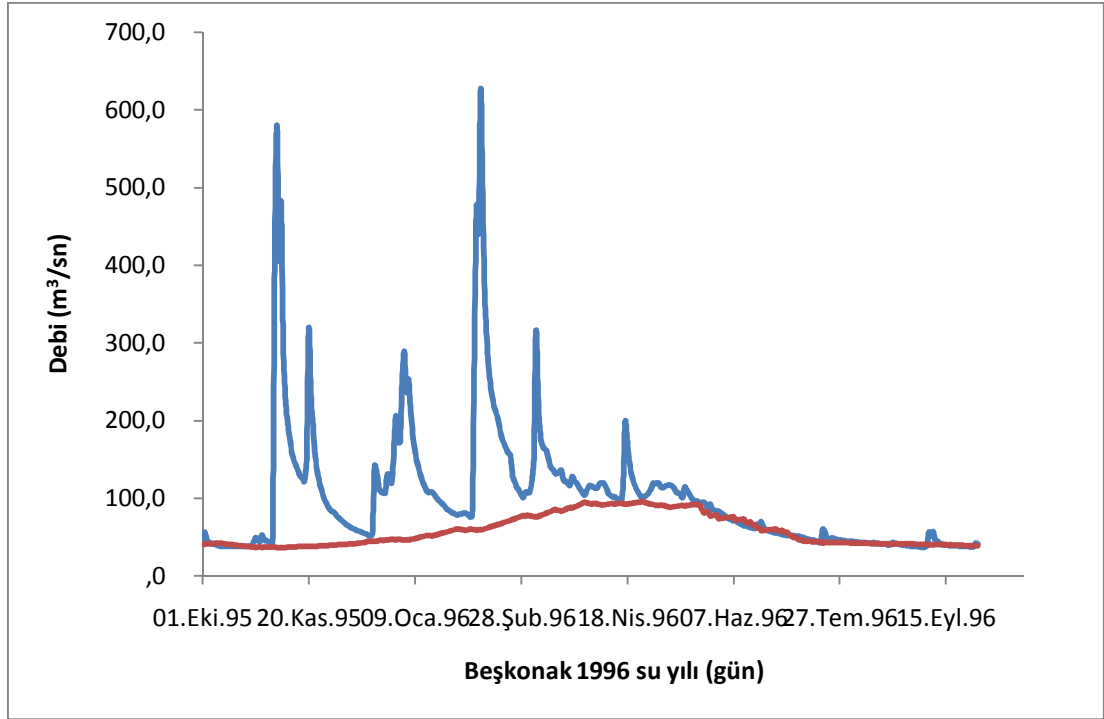
Şekil 4. 37. 1985 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri



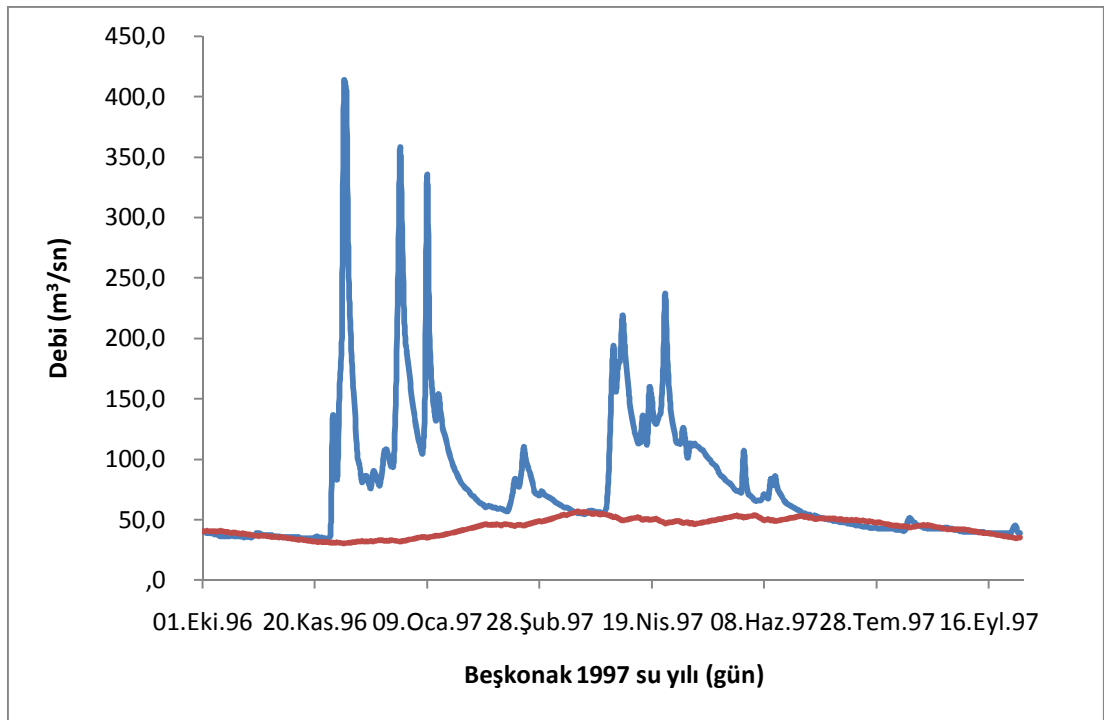
Şekil 4. 38. 1992 su yılı Kasımlar akım verileri ve taban akışı değerleri



Şekil 4. 39. 1995 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri



Şekil 4. 40. 1996 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri



Şekil 4. 41. 1997 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri

Çizelge 4. 9 Taban akışı yükselme ve alçalma katsayıları

	Beşkonak			Bolasan			Kasımlar		
	Taban akışı yük. Kat.	Alç. Kat.		Taban akışı yük. Kat.	alç. Kat.		Taban akışı yük. Kat.	Alç. Kat.	
	β_1	β_2	α	β_1	β_2	α	β_1	β_2	α
1980	0,0088	0,0160	0,0070	-	-	-	-	-	-
1981	0,0087	0,0131	0,0068	-	-	-	-	-	-
1982	0,0086	0,0128	0,0068	-	-	-	-	-	-
1983	0,0075	0,0125	0,0068	-	-	-	-	-	-
1984	0,0082	0,0147	0,0068	-	-	-	-	-	-
1985	0,0081	0,0144	0,0068	0,0090	0,0170	0,0060	-	-	-
1986	0,0084	0,0153	0,0068	0,0079	0,0136	0,0067	-	-	-
1987	0,0083	0,0150	0,0067	0,0083	0,0150	0,0077	-	-	-
1988	0,0079	0,0138	0,0069	0,0075	0,0125	0,0060	-	-	-
1989	0,0078	0,0135	0,0068	0,0082	0,0145	0,0073	-	-	-
1990	0,0089	0,0166	0,0066	0,0080	0,0139	0,0069	-	-	-
1991	0,0089	0,0136	0,0073	0,0080	0,0140	0,0070	-	-	-
1992	0,0078	0,0134	0,0063	0,0079	0,0137	0,0068	0,0070	0,0110	0,0050
1993	0,0077	0,0131	0,0070	0,0080	0,0140	0,0070	0,0080	0,0141	0,0071
1994	0,0080	0,0140	0,0075	0,0080	0,0139	0,0069	0,0080	0,0141	0,0071
1995	0,0079	0,0137	0,0050	0,0084	0,0153	0,0079	0,0081	0,0144	0,0073
1996	0,0075	0,0125	0,0090	0,0083	0,0150	0,0077	0,0079	0,0137	0,0068
1997	0,0075	0,0125	0,0060	0,0075	0,0125	0,0060	0,0078	0,0133	0,0065
1998	0,0077	0,0132	0,0069	0,0081	0,0142	0,0071	0,0079	0,0136	0,0067
1999	0,0077	0,0130	0,0067	0,0080	0,0140	0,0070	0,0081	0,0142	0,0072
2000	0,0076	0,0138	0,0071	0,0079	0,0138	0,0069	0,0083	0,0149	0,0076
Ort.	0,0079	0,0138	0,0058	0,0081	0,0142	0,0069	0,0079	0,0137	0,0068

1980 -2000 yılları arasında yapılan tahkikler sonrasında havzanın geneli için taban akışı yükselme ve alçalma katsayıları tespit edilmiştir. Genel olarak 15 Aralık – 1 Nisan tarihleri arasındaki yağışlı günlerde taban akışında meydana gelen yükselme katsayısı Beşkonak için 0,0138, Bolasan için 0,0142 ve Kasımlar için 0,0137 olduğu görülmüş ve havza genelinde 0,0139 kabul edilebileceği düşünülmüştür. Bu aralık dışında kalan diğer aralıklarda taban akışında meydana gelen yükselme katsayısı Beşkonak için 0,0079, Bolasan için 0,0081 ve Kasımlar için 0,0079 olduğu görülmüş ve havza genelinde 0,00797 kabul edilebileceği düşünülmüştür. Taban akışı alçalma

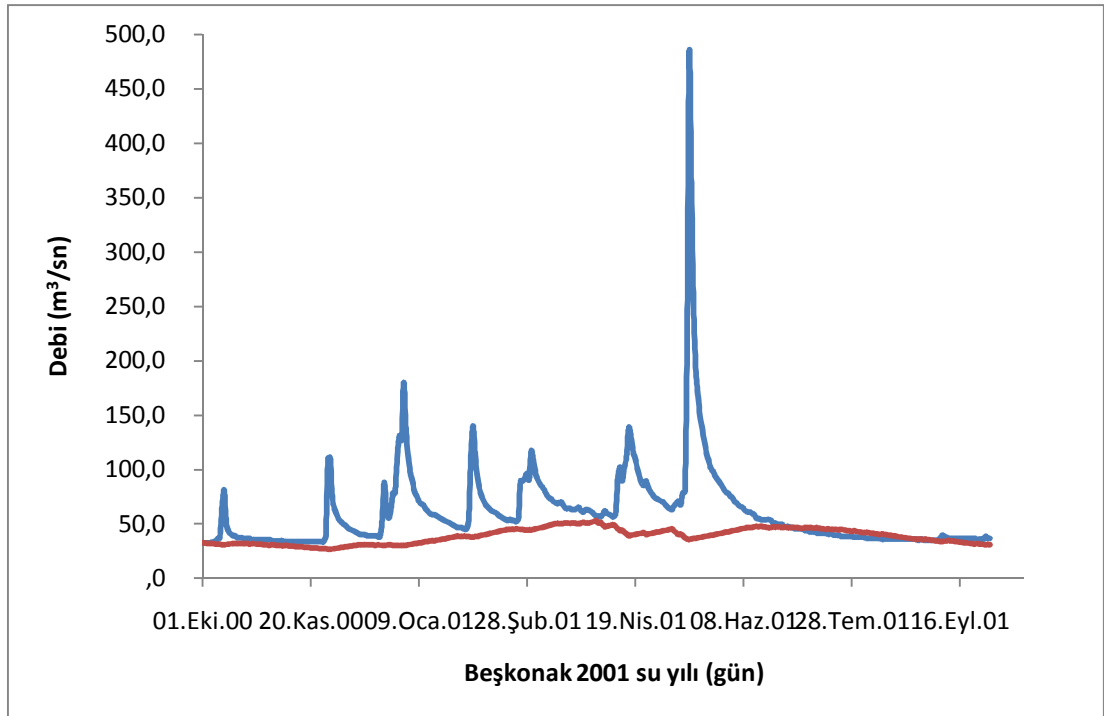
katsayısının da Beşkonak için 0,0068, Bolasan için 0,0069 ve Kasımlar için 0,0068 olduğu görülmüş ve havza genelinde 0,0068 kabul edilebileceği düşünülmüştür.

Elde edilen bu katsayılar 2001-2006 yılları arasındaki hidrograflar üzerinde denenmiş ve katsayıların kullanılabilir olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Bu işlem yapılırken hidrografın ilk gününden başlanmıştır. 15 Aralık – 1 Nisan tarihleri arasında yağış olduğu günlerde Denklem 4.21 ile taban akışı yükseltilir. Bunun dışında kalan tarihlerde ise Denklem 4.22 ile taban akışı yükseltilir. Yağış olmadığı dönemlerde ise Denklem 4.23 ile taban akışı azaltılır.

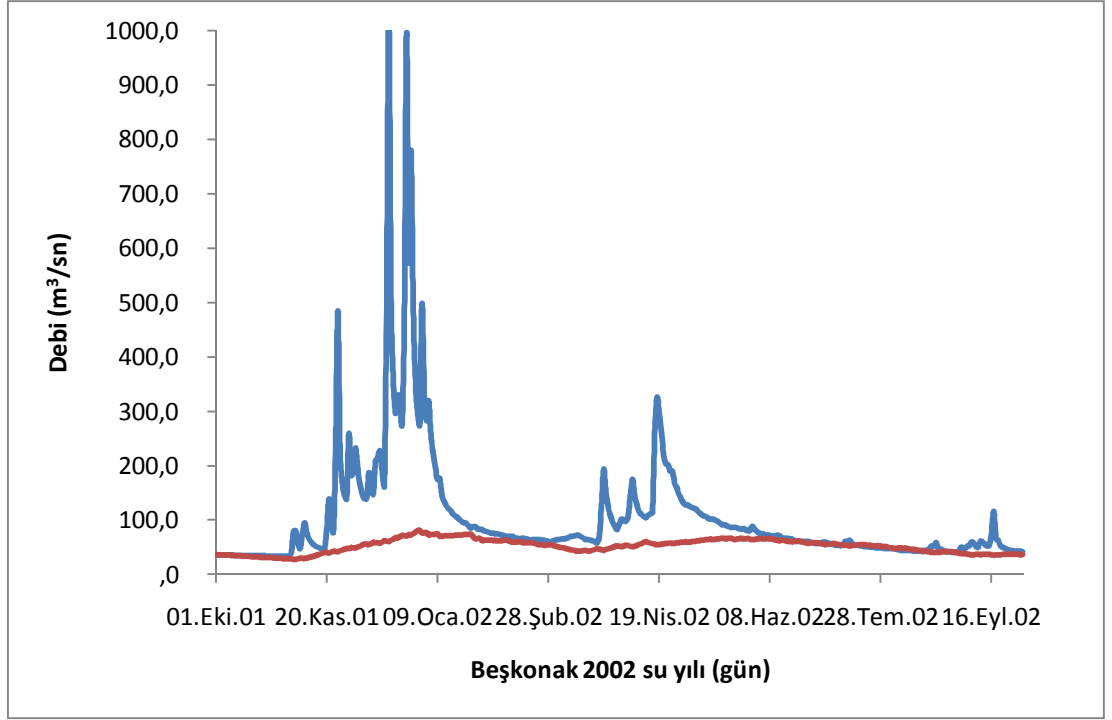
$$Q_b = Q_{b-1} * e^{0,0139} \quad (4.22)$$

$$Q_b = Q_{b-1} * e^{0,0079} \quad (4.23)$$

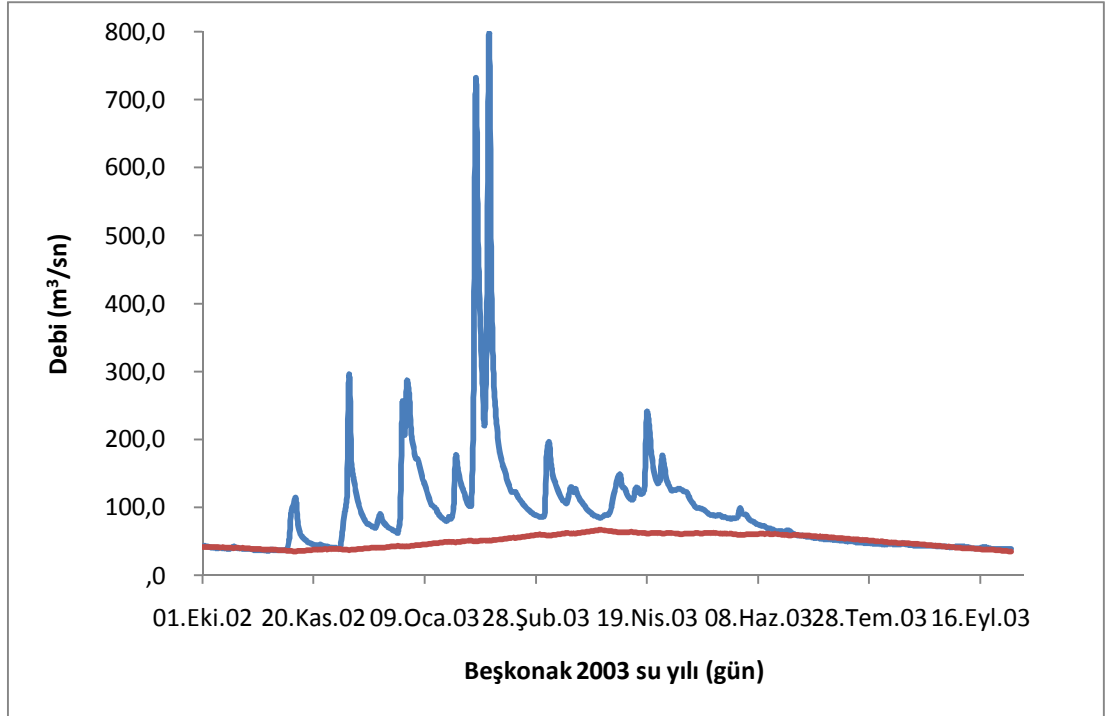
$$Q_b = Q_{b-1} * e^{-0,0068} \quad (4.24)$$



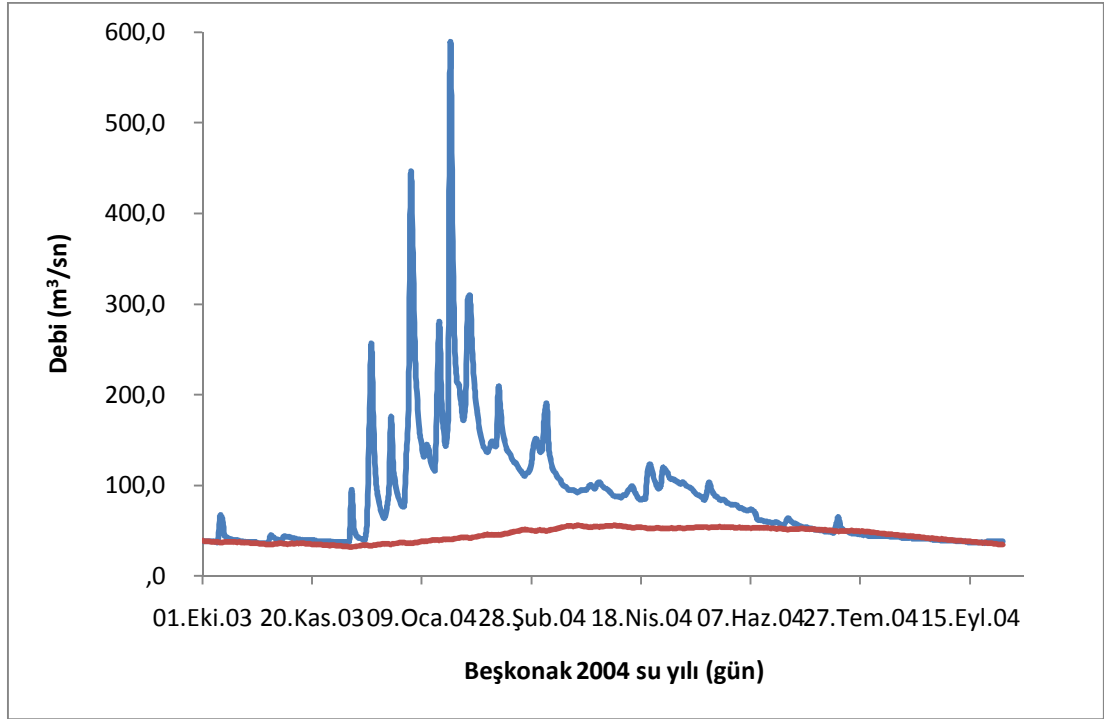
Şekil 4. 42. 2001 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



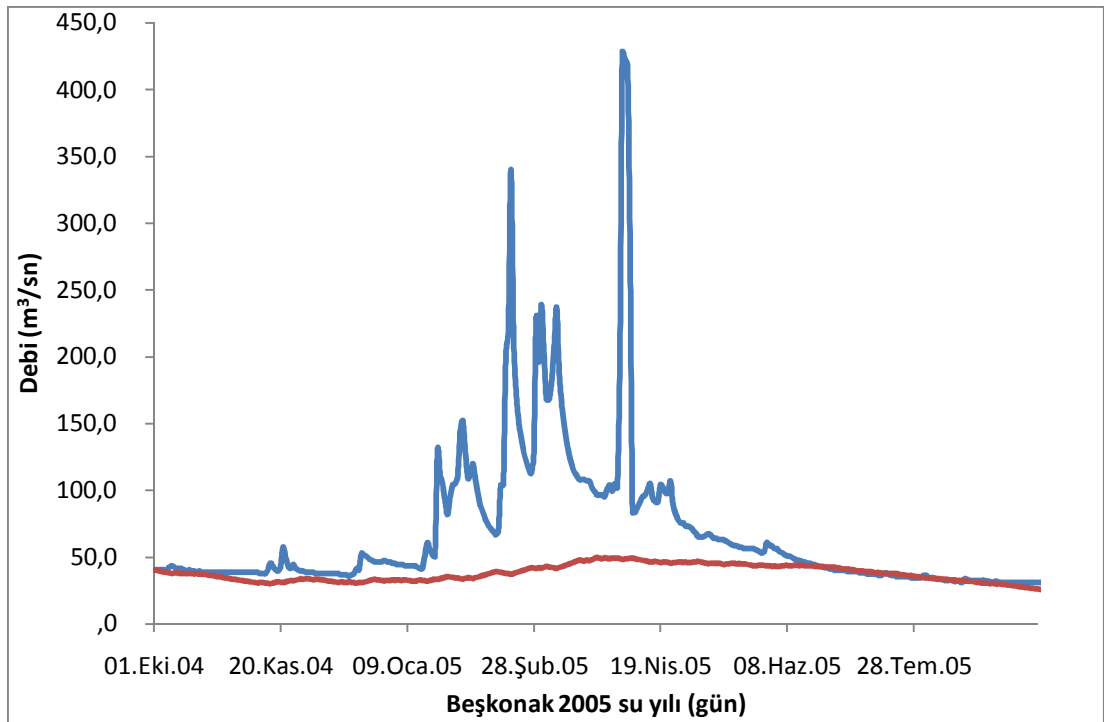
Şekil 4. 43. 2002 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



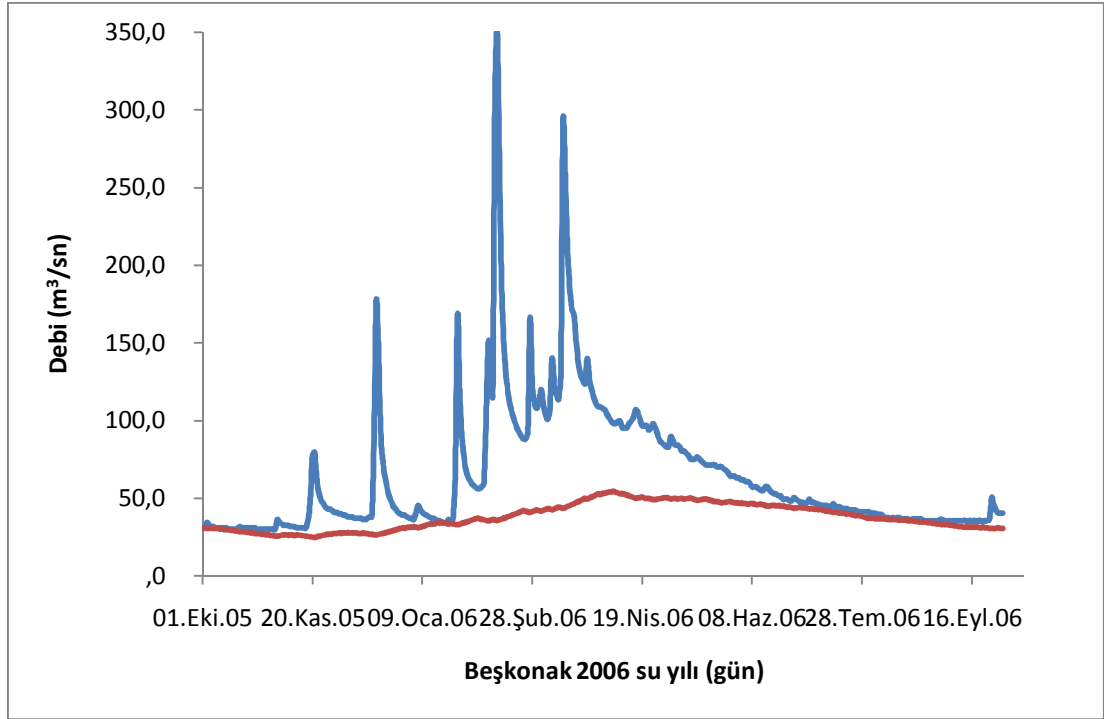
Şekil 4. 44. 2003 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



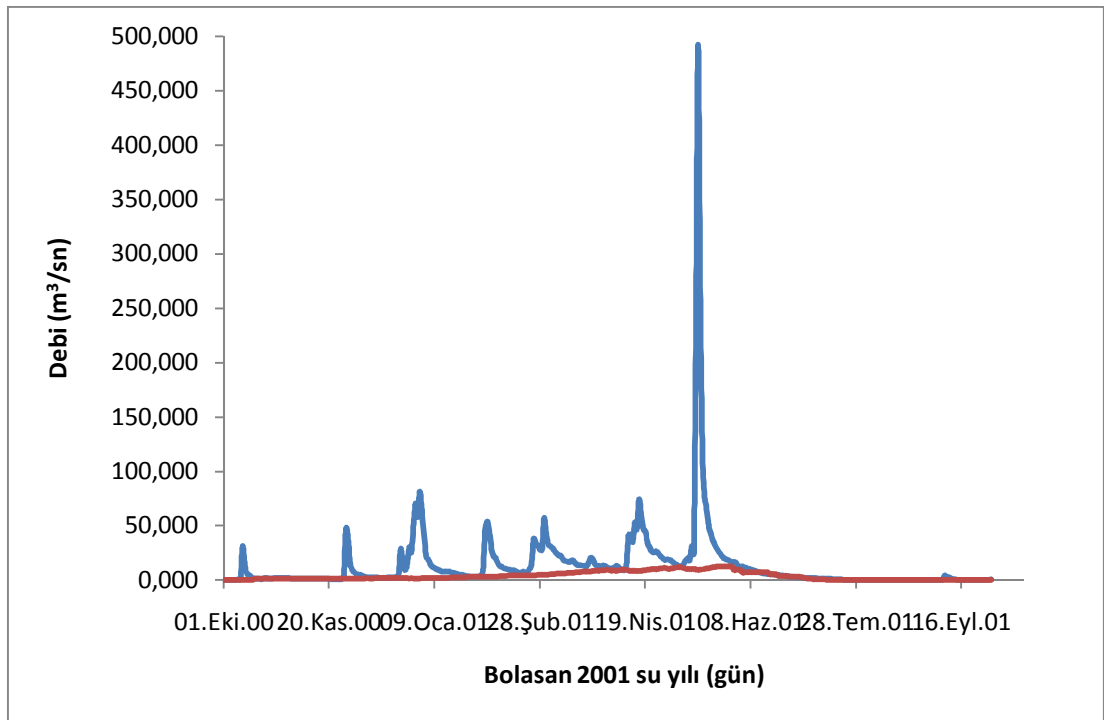
Şekil 4. 45. 2004 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



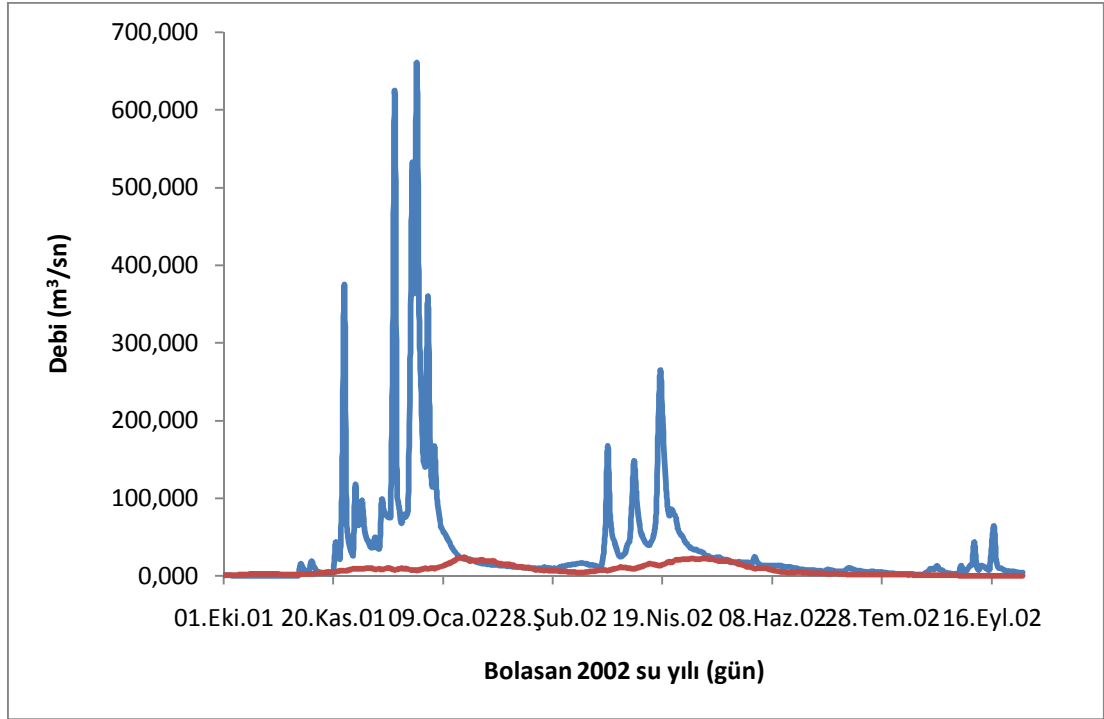
Şekil 4. 46. 2005 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



Şekil 4. 47. 2006 su yılı Beşkonak akım verileri ve taban akışı değerleri testi



Şekil 4. 48. 2001 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri testi



Şekil 4. 49. 2002 su yılı Bolasan akım verileri ve taban akışı değerleri testi

Test aşaması kısmında 2001-2006 yılları arasındaki Beşkonak akım verileri ve 2001-2002 yılları arasındaki Bolasan akım verileri kullanılmıştır. Testin doğru sonuçlanabilmesi için akarsuyun tamamen taban akışına geçtiği yaz aylarının akım verileri ile taban akışının çakışması gerekmektedir. Ancak Bolasan ve Kasımlarda taban akışının yaz aylarında sıfıra yakın veya sıfır olması bu dönemlerde modelin testini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden genel olarak taban akışının yaz aylarında dahi yaklaşık olarak $30 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğu Beşkonak ölçüm istasyonu verilerine göre test edilmesi daha doğru olmaktadır. Oluşturulan yöntemin 2001 – 2006 yılı Beşkonak akım verilerine uygulanışına baktığımızda 2004 yılı hariç genellikle hidrografla taban akışının kesiştiği görülmektedir. 2004 yılında yapılan analizde kapanmama oranının da %14 mertebesinde kalması, diğer yıllarda da kapanmamanın en fazla %3 mertebesine ulaşması modelin kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Bundan sonraki aşamada oluşturulan taban akışı ayırma yöntemi ve elde edilen katsayılar genel olarak düzenlenen parametrik havza modellemesine kombine edilmeye çalışılacaktır.

4.12. Yüzey Akışı Çekilme Katsayısının Belirlenmesi

Yapılmaya çalışılan parametrik havza modelinin tam olarak modellenebilmesi için yüzeysel akışta meydana gelen çekilmenin de bilinmesi gerekmektedir. Akarsuda meydana gelen çekilmeyi belirlemede en çok kullanılan yöntem Bousinesq denklemidir (Denklem 2.1). Yapılan irdeleme sonucunda yüzeysel çekilmelerde meydana gelen çekilmenin her dönem aynı olmadığı görülmüştür. Bu yüzden çalışmada her ay için farklı çekilme katsayıları tespit edilmiştir. Yüzeysel akış katsayılarını tespit edebilmek için toplam akıştan bir önceki bölümde tespit edilen taban akışı ayırma yöntemi ile elde edilmiş taban akışı çıkarılmıştır. Taban akışı ayrıldıktan sonra sadece yüzeysel akış belirlenmiştir. Daha sonra her çekilme olayı için ayrı ayrı çekilme katsayıları belirlenmiş ve sonra aylık olarak sınıflandırılmıştır. Bu işlem 1980 -2000 yılları arasındaki Beşkonak, Bolasan ve Kasımlar ölçüm istasyonları için yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Ortalamalara göre Eylül ayı yüzeysel çekilme katsayısı 1,9 iken Nisan ayı yüzeysel çekilme katsayısı 0,05'e kadar düşmektedir. Ortalama yüzeysel çekilme katsayıları Çizelge 4.10 de verilmiştir.

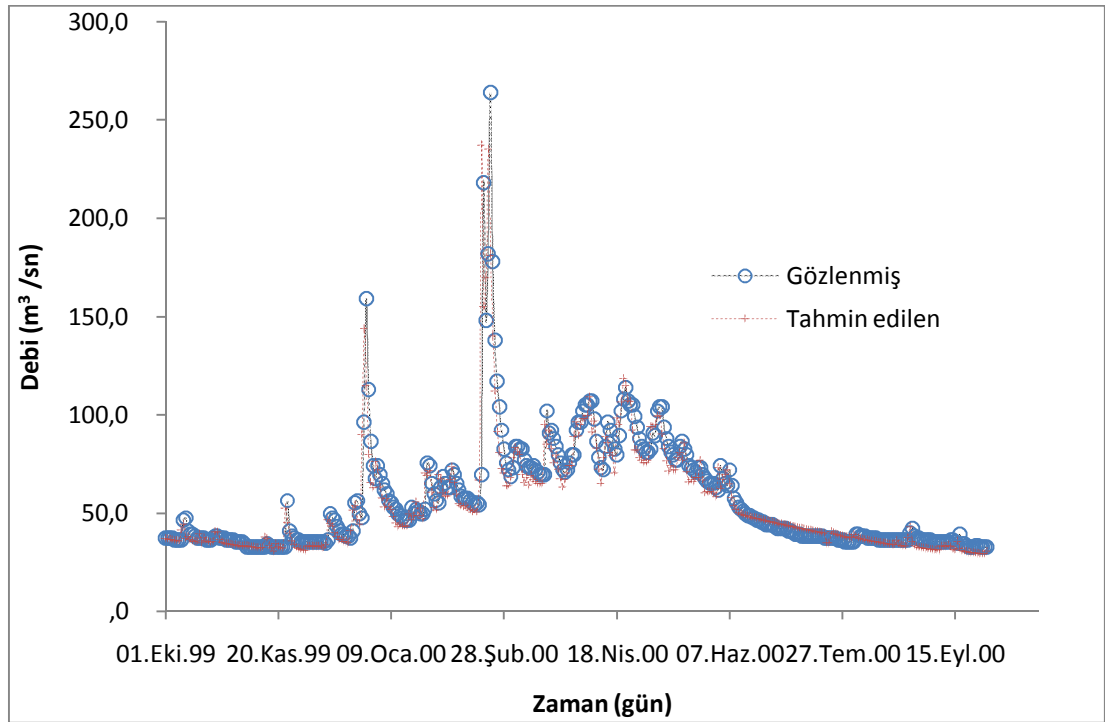
Çizelge 4. 10 Ortalama yüzeysel çekilme katsayıları

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
α	1,5	1,3	0,9	0,6	0,3	0,1	0,05	0,15	0,35	0,72	1,2	1,9

4.13. Nehir Kollarında Modelin Kombinasyonu

Bu bölümde daha önceden oluşturulan bütün alt modellemelerin kombinasyonu sağlanmıştır. Öncelikle Bölüm 4.11 de anlatılan yöntemle yağışın olup olmasına ve tarih aralığına göre taban akışı belirlenir. Sonraki aşamada ise her bir hücrede

yağışlar sonucu meydana gelen akış Bölüm 4.8 de anlatıldığı şekilde tespit edilir. Daha sonra tespit edilen bu akış, varsa bir önceki günden gelen akışla toplanarak içinde bulunduğu tarihe göre Bölüm 4.12 de tespit edilen çekilme katsayısına tabi tutulur. Elde edilen bu değer o günkü hücrede meydana gelen yüzeysel akış değerini verir. Bulunan bu değer üzerine taban akışı değeri de eklendiğinde günlük toplam akışı tespit etmiş olunur. Bu şekil de 1 Ekimden 30 Eylül'e kadar devam edildiğinde hücre için 1 senelik hidrograf elde edilmiş olmaktadır. Modelin doğruluğunu da tespit edebilmek için daha önceden ölçülmüş akım değerlerinin bulunduğu hücreler kullanılmıştır. Şekil 4.50'de Beşkonak ölçüm istasyonunun bulunduğu hücrenin 2000 su yılının yağış değerlerine göre hidrografının tespit edilmesi ve gözlenmiş değerleri ile kıyaslaması gösterilmiştir.



Şekil 4. 50. 2000 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları

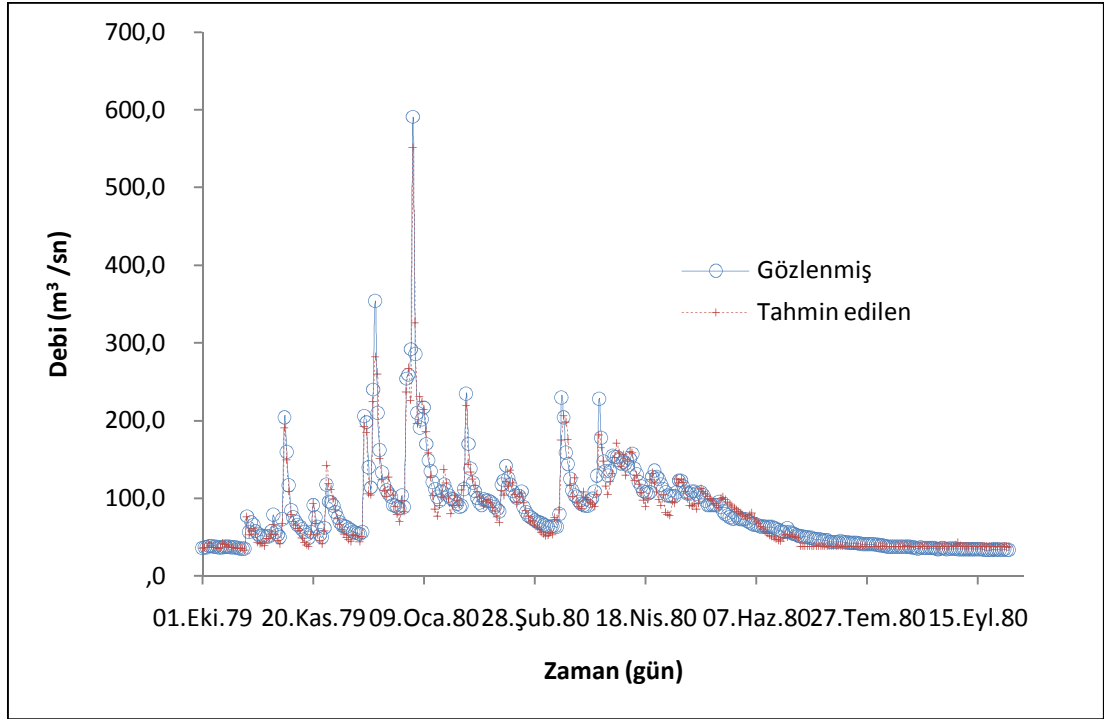
4.14. Model Uygulaması ve Testi

Bu aşamada modelin doğruluğu test edilmeye çalışılmıştır. Test aşamasında havza üzerinde bulunan bütün hücrelerin test edilmesi imkansızdır. Ancak nehir üzerinde

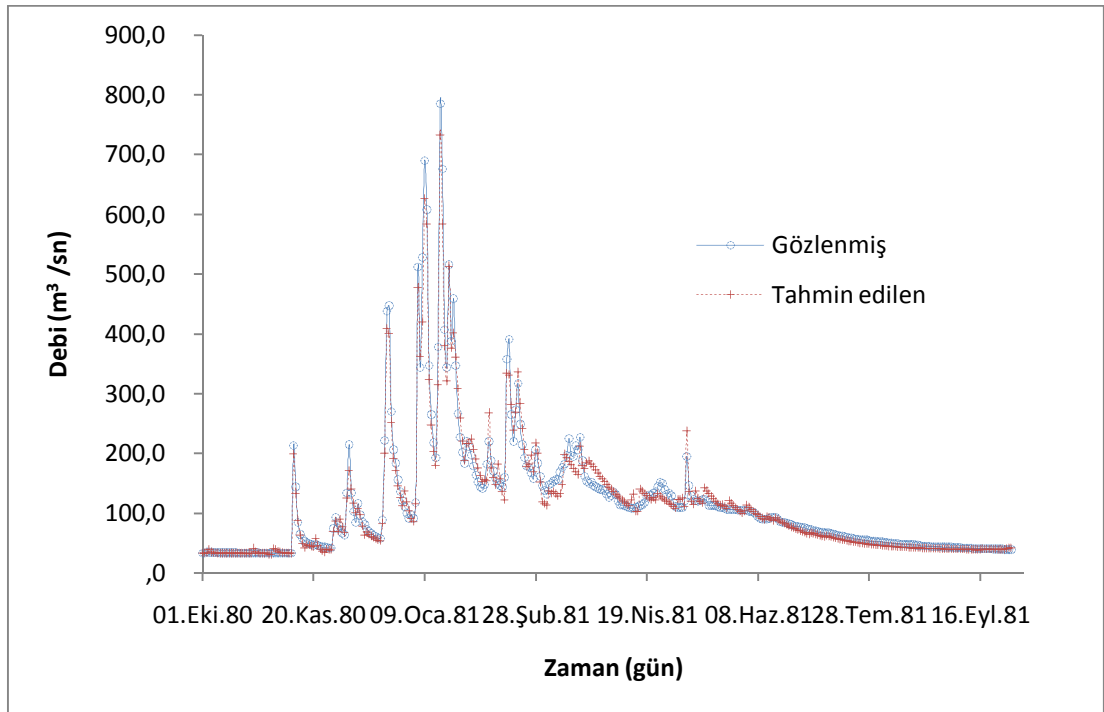
bulunan DSİ ve EİE'ye ait olan akım gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılabilir. Bu istasyonlardanda DSİ'den alınan verilerin uyumsuzluğunun görülmesi nedeni ile test EİE'den alınan veriler için uygulanmıştır. Bu aşamada oluşturulan test sonuçları Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Ayrıca bu testlerin bazı örnekleri Şekil 4.51, 4.52, 4.53 ve 4.54'de gösterilmiştir. Geri kalan bütün test grafikleri ekler kısmında verilmiştir.

Çizelge 4. 11.Model test sonuçları

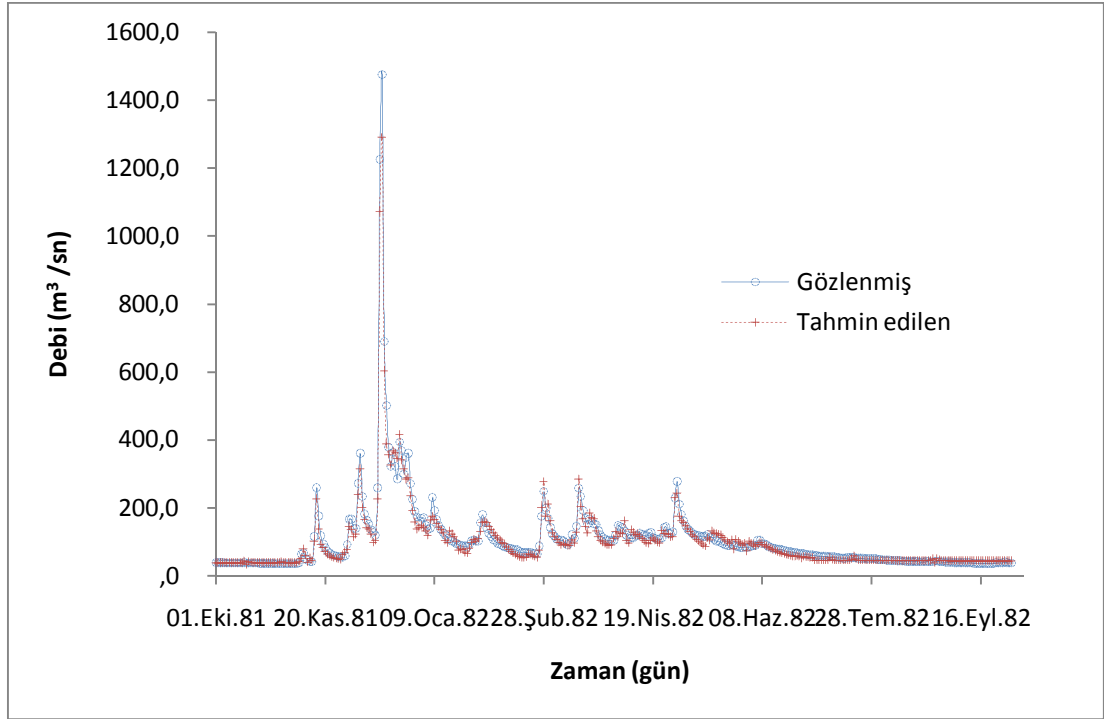
	Beşkonak		Bolosan		Kasımlar	
	r ²	OMH %	r ²	OMH	r ²	OMH %
1980	0,951	10,1	-	-	-	-
1981	0,976	8,26	-	-	-	-
1982	0,981	6,24	-	-	-	-
1983	0,949	10,48	-	-	-	-
1984	0,96	11,02	-	-	-	-
1985	0,963	7,04	0,918	11,98	-	-
1986	0,952	9,15	0,973	7,12	-	-
1987	0,973	7,12	0,97	6,05	-	-
1988	0,952	8,12	0,959	7,89	-	-
1989	0,961	7,52	0,981	5,45	-	-
1990	0,975	8,12	0,964	7,23	-	-
1991	0,984	6,23	0,979	6,43	-	-
1992	0,965	6,32	0,978	6,89	-	-
1993	0,966	7,12	0,982	12,94	0,981	11,02
1994	0,962	5,92	0,987	7,65	0,974	8,43
1995	0,958	8,32	0,972	8,53	0,982	6,52
1996	0,974	5,12	0,983	6,43	0,976	7,43
1997	0,97	6,53	0,979	7,21	0,978	6,32
1998	0,968	7,32	0,98	5,32	0,975	8,65
1999	0,972	8,97	0,986	4,32	0,981	5,32
2000	0,925	11,23	0,932	9,82	0,912	12,32
2001	0,969	6,57	0,976	6,12	0,961	6,57
2002	0,891	12,23	0,914	11,23	0,973	5,43
2003	0,983	4,87	0,985	7,26	0,967	6,78
2004	0,982	5,63	0,965	8,23	0,933	8,99
2005	0,977	5,21	-	-	-	-
2006	0,954	7,63	-	-	-	-
Ortalama	0,963	7,718	0,968	7,705	0,966	7,815



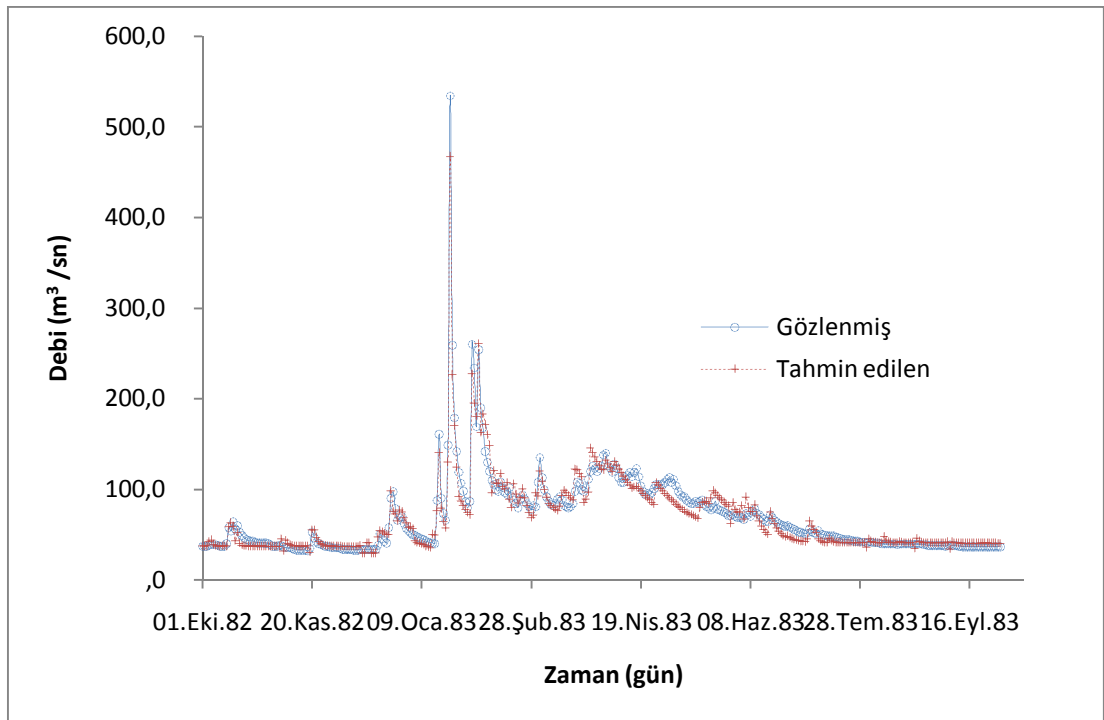
Şekil 4. 51. 1980 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Şekil 4. 52. 1981 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Şekil 4. 53. 1982 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Şekil 4. 54. 1983 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları

5. SONUÇLAR

Hayatsal öneme sahip olan suyun bir plan çerçevesinde kullanılması, özellikle günümüz de büyük önem kazanmaya başlamıştır. Dünyadaki suyun çok az bir miktarını oluşturan tatlı su kaynakları zaman ve alan ölçeğinde sınırlı bir niteliğe sahiptir. Bu nedenle, suyun dağılımının iyi analiz edilmesi, var olan su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi son derece önemlidir. Böylece eldeki mevcut su kaynaklarının değerlendirilip analizlerin yapılarak uygun projelerle en iyi şekilde kullanılması sağlanmış olacaktır. Bu çalışmada ise genel olarak Köprüçay Nehri havzasının planlaması yapılmıştır.

Modellemede, havza 500 x 500 m lik hücrelere bölünmüş ve bu hücrelere sayısal yükseklik modeli uygulanarak havza sınırları ve su toplama kanalları belirlenmiştir. Böylelikle Köprüçay Nehrinin su toplama havzasının alanı tespit edilmiştir.

Sonra aşamada modellemede kullanılan her hücrenin eğimi, bitki örtüsü ve jeolojik yapısı tespit edilerek tabakalar halinde bu hücrelere işlenmiştir. Bu parametrelerin katmanlar halinde hücrelere işlenmesi kurulan model için bir alt yapı oluşturmuştur.

Daha sonra havzada meydana gelebilecek bir yağış sonrasında her bir hücrede meydana gelecek akışın tespit edilebilmesi amacı ile bulanık mantık modeli kullanılarak akış katsayıları belirlenmiştir. Bu işlem yapılırken eğim, bitki örtüsü ve jeolojik yapı girdi parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca bu işlem yıl içindeki değişik dört dönem (1. Dönem: Eylül, Ekim, Kasım, 2. Dönem: Aralık, Ocak, Şubat, Temmuz, Ağustos, 3. Dönem: Mart, 4. Dönem: Nisan, Mayıs, Haziran) için tekrarlanmıştır. Böylelikle yılın değişik dönemlerinde meydana gelen yağışların her bir hücrede meydana getirebileceği akış miktarının tespit edilebilebilmesi için gerekli altyapı hazırlanmıştır. Sonra Thisessen çokgenleri yardımı ile havzaya etki eden yağış ölçüm istasyonları tespit edilmiş ve bu istasyonların etki alanları belirlenmiştir.

Bir sonraki aşamada yine modelin alt yapı çalışmalarından biri olan eksik yağış verilerinin tespiti yapılmıştır. Thisessen çokgenleri yardımı ile belirlenmiş olan ve havza alanını en iyi temsil ettiği düşünülen yağış ölçüm istasyonların da yapılan

ölçümlerin süreklilik arz etmemesi modelin oluşturulması en büyük eksikliklerden bir tanesidir. Bu nedenle ele alınan 15 adet meteoroloji istasyonundan sadece Aksu, Kasımlar, Sütçüler, Serik ve Cevizli istasyonlarındaki eksik yağış verileri tamamlanmaya çalışılmıştır. Eksik verilerin tamamlanabilmesi için ağırlıklı ortalama, harmonik ortalama, çoklu regresyon ve YSA ile modeller kurulmuş ve istasyonları en iyi temsil eden model yapılan testler sonucunda seçilmiştir. Bu istasyonlardan Aksu, Kasımlar, Sütçüler ve Serik akım gözlem istasyonları için en iyi sonuçların YSA ile yapılan modellerden elde edildiği görülmüştür. Öte yandan Cevizli yağış istasyonunun havzayı temsil etme oranının çok düşük olması nedeni ile bu istasyonda sadece ağırlıklı ortalama metodunun kullanılmasına karar verilmiştir. Daha sonra seçilen modeller ile yağış istasyonlarına ait eksik veriler tamamlanmıştır.

Akım gözlem istasyonu verileri irdelendiğinde E.İ.E. den alınan akım verilerinin hem kendi içerisinde hemde yağış verileri ile bir uyumluluk içinde olduğu görülürken D.S.İ. den alınan verilerde bu uyumun olmadığı görülmüştür. Bu yüzden modelin doğruluğunun test edilme aşamasında EİE'den elde edilen veriler kullanılmıştır.

EİE'ye ait Bolasan ve Kasımlar akım gözlem istasyonlarında bulunan eksik akım verilerin tamamlanabilmesi amacı ile YSA modelleri kurulmuş ve yapılan testler sonucunda en iyi YSA modelleri seçilmiştir. Seçilen modellerle de akım verilerinin eksik olduğu su yılları tamamlanmıştır.

Akım verileri tamamlandıktan sonra yağış verileri ve akış katsayıları kullanılarak herhangi bir yağıştan sonra meydana gelebilecek yüzeysel akışın tespiti yapılmıştır. Ancak bulunan yüzeysel akış değerlerinin doğruluğu her bir hücrede ölçümün olmaması ve ölçüm bulunan noktada da ölçüm değerinin sadece yüzeysel akış olamaması nedeni ile ispatı yapılamamıştır. Bu yüzden ölçüm istasyonları üzerinden doğruluk testinin yapılabilmesi için, taban akışı ve çekilme katsayılarının da tespit edilme gereği düşünülmüştür. Bu aşamada akım hidrografının tam olarak tahmin edilebilmesi için gerekli olan taban akışının tahminin yapılması için yeni bir yöntem teklif edilmiştir. Teklif edilen yöntemde taban akışının yağışlı günlerde yükseldiği, yağışın olmadığı günlerde de azaldığı kabulünden yola çıkılmış taban akışının

yükselmesi sırasındaki yükselme katsayıları (15 Aralık – 1 Nisan aralığı ve 1 Nisan - 15 Aralık aralığı), alçalma sırasındaki alçalma katsayıları tespit edilmiştir. Teklif edilen yöntem test verileri (2001-2006) ile test edilerek kullanılabilirliği tartışılmış ve kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.

Modelin geliştirilmesindeki son aşama yüzeysel akım çekilme katsayılarının tespitidir. Bunun için bir su yılı boyunca tek bir çekilme katsayısının olmadığı mevsimden mevsime hatta aydan aya farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Eldeki verilere göre (1980 – 2000 su yılları) her bir çekilme olayında yüzeysel çekilme katsayıları hesaplanmış ve aylara göre gruplanarak ortalamaları alınmış böylelikle kullanılabilecek yüzeysel çekilme katsayıları tespit edilmiştir.

Modelin tüm alt yapısı oluştuktan sonra son olarak alt yapıyı oluşturan tüm modeller kombine edilerek test aşamasına geçilmiştir. Bu modelin doğruluğunu tespit etmek amaçlı havza üzerinde bulunan Beşkonak, Bolasan ve Kasımlar akım gözlem istasyonlarından 1980 – 2006 su yılları arasında ölçülmüş olan tüm veriler kullanılmış ve elde edilen değerler ile test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda bu modelin kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

Oluşturulan parametrik havza modellemesinin kullanılabilirliği gözlenen değerlerle tahmin edilen değerler arasında oluşan regresyon değerleri ve ortalama karesel hata yüzdelere bakılarak doğruluğu test edilmiştir. Regresyon değeri üç ölçüm istasyonundan alınan değerlere bakıldığında ortalama 0,966 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama mutlak hata yüzdeside ortalama olarak %7,5 olarak bulunmuştur. Denenmesi yapılmış toplam 58 adet su yılında en düşük regresyona sahip değer 0,891 ile 2002 su yılında elde edilmiş olan Beşkonak ölçüm istasyonunun sonucudur. En yüksek ortalama mutlak hata yüzdesi ise %12,32 ile 2000 su yılında Kasımlar ölçüm istasyonundan elde edilmiş değerdir. En iyi regresyona ise 0,987 lik değerle 1994 Bolasan ölçüm istasyonunda ulaşılmıştır. En iyi ortalama karesel hataya ise %4,32 ile 1999 su yılı Bolosan akım gözlem istasyonunda ulaşılmıştır. Bu değerlere bakıldığında Köprüçay Nehri ana kolunun veya yan kollarının yıllık akım hidrograflarının doğruya çok yakın bir sonuçla tahmin edilebileceği sonucuna

varılmıştır. Böylelikle ölçüm verisi bulunmayan herhangi bir noktada yapılacak olan akarsu yapısı veya su yönetimi ile ilgili bir çalışmada kullanılmak üzere su kaynaklarında çok büyük öneme sahip akış hidrografi değerlerinin elde edilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca yağış istasyonlarına verilecek yağış senaryo değerleri ile her bir noktada meydana gelebilecek maksimum ve minimum akış değerleri tespit edilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Abrahart, R., J., See, L., 1999. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecast in two contrasting catchments. *Hydrological Processes*, 14, 2157–2172.
- Agarwal, A., Singh, R., D., Mishra, S.K., Bhunya, P.K., 2005. ANN-based sediment yield models for Vamsadhara river basin (India). *Water SA*, 31(1), 95-100.
- Ahmad, S., Simonovic, S., P., 2005. An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. *Journal of Hydrology*, 315(1-4), 236-251.
- Aksoy, H., Wittenberg,, H., 2010, Doğrusal olmayan çekilme eğrisi analizi ile taban akışının ayrılması, 22-24 Eylül, Denizli
- Alparslan E., Aydöner C., Canan S., Dönertaş A., S., Yüce H., Kafarov R., Erkan B., 2004. TÜBİTAK-MAM YDBAE’de Uçakla Dijital Fotoğraf Çekimi Çalışmaları. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 35-40, Fatih Üniversitesi/İstanbul
- Anctil, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., 2004. A soil moisture index as an auxiliary ANN input for stream flow forecasting. *Journal of Hydrology*, 286(1-4), 155-167.
- Anctil, F., Perrin, C., Andreassian, V., 2003. Ann output updating of lumped conceptual rainfall/runoff forecasting models. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1269-1279.
- Anderson, D., McNeill G., 1992. A DACS State of the Art Report. *Artificial Neural Networks Technology*
- Barnes.S., 1939. The structure of base flow recession curves. *Transactions American Geophysical Union* 20, 721–725.
- Bayazıt, M., 1995. Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası
- Beven, J.K., 2003, *Rainfall-Runoff Modelling*, Lancaster Uni.,U.K
- Bilen, Ö., 2009. Türkiye’nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları. DSİ idari ve Mali İşler Başkanlığı, ANKARA.
- Boughton WC, 1993. A hydrograph-based model for estimating water yield of ungauged catchments. *Institute of Engineers Australia National Conference*, Publ, 93/14, 317-324

- Boussinesq, J., 1877. Essai sur la theorie des eaux courantes. Memoires presentes par divers savants a l'Academie des Sciences de l'Institut National de France, Tome XXIII No 1. (Cited by Hall (1968).)
- Bowden, G. J., Dandy, G.C., Maier, H.R., 2005. Input determination for neural network models in water resources applications. Part 1: Background and methodology, 301(1-4), 75-92.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M. 1976. Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco.
- Bruton, J. M., McClendon, R. W., Hoogenboom, G., 2000. Estimating daily pan evaporation with artificial neural networks. Transactions of The ASAE, 43(2), 491-496.
- Burian, S. J., Durrans, S. R., 2002. Evaluation of an artificial neural network rainfall disaggregation model. Water Science and Technology, 45(2), 99-104.
- Burrough, P. A., McDonnell, R.A., 1998. Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press, Oxford, 33pp.
- Camarasa, A.M., Tilford, K.A., 2002. Rainfall-Runoff Modelling of Ephemeral Streams in the Valencia Region (Eastern Spain). Hydrological Processes, 16, 3329-3344.
- Caquot, A., 1941. Ecoulement des eaux pluviales. Compte rendu de l'Académie des sciences de Paris du 20 octobre 1941.
- Cedarcrest, http://images.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www2.cedarcrest.edu/academic/bio/hale/bioT_EID/lectures/tetanusneuron.gif&imgrefurl=http://www2.cedarcrest.edu/academic/bio/hale/bioT_EID/lectures/tetanusneuron.html&usq=__3KXzgB2HtGzfPX_E2Tut9QdBy8=&h=334&w=600&sz=29&hl=tr&start=11&um=1&itbs=1&tbnid=11aAdq45Zd6dxM:&tbnh=75&tbnw=135&prev=/images%3Fq%3Dsinir%2Bh%25C3%25BCcresi%26um%3D1%26hl%3Dtr%26sa%3DDN%26rls%3Dcom.microsoft.tr:IESearchBox%26rlz%3D1I7GGLR_en%26tbs%3Disch:1 (Erişim Tarihi; 12.03.2010)
- Chapman, D., 1987. Planning for conjunctive goals. Artificial Intelligence, 32, pp. 333-377
- Chapman, T. G., 1991. Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses" by M. Stewart et al. GROUND WATER 45, no. 1: 17-27 R.J. Nathan and T.A. McMahon. Water Resources Research 27, no. 7: 1783-1784.
- Chapman, T., 1999, A Comparison of Algorithms for Stream Flow Recession and Baseflow Separation, Hydrological Processes 13, 701-714.

- Cıgızoğlu, H., K., 2005. Application of generalized regression neural networks to intermittent flow forecasting and estimation. *Journal of Hydrological Engineering*, ASCE, 10(4), 336-341.
- Cıgızoğlu, H., K., Kişi, O., 2005. Flow prediction by three back propagation techniques using k-fold partitioning of neural network training data. *Nordic Hydrology*, 36(1), 49-64.
- Cıgızoğlu, H., K., Kişi, O., 2006. Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation. *Journal of Hydrology*, 317(3-4), 221-238.
- Codeproject, http://www.codeproject.com/KB/recipes/NeuralNetwork_1.aspx?msg=2692150, Erişim Tarihi: 12.03.2010.
- Crobeddu, E., Bennis S., Rhoulane S., 2007. Improved Rational Hydrograph Metod. *J. Hydrol.* 338, 63-72.
- Çelik M., Saygın Ö., Süer A., Kınacı O., Günay E., Çaçaş E., Dal E., 2004. Şehir Planlamada Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Çalışmaları, 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri 113-126 Fatih Üniversitesi/İstanbul
- Çimen, M., Saplıoğlu, K. 2004a, A Procedure for Separation of Baseflow, Conference of Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS), 25-29 May, Ohrid, FY Republic of Macedonia, 402.
- Çimen, M., Saplıoğlu, K., 2004b, Akarsu Çekilme Sabitlerinin Belirlenmesi İçin Bir Bilgisayar Programı, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, 15-17 Nisan, İstanbul, 278-280.
- Dawson, C., W., Wilby, R.L., 1999. A comparison of artificial neural networks used for river flow forecasting. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(4), 529-540.
- EİE.i, <http://www.eie.gov.tr/turkce/hidroloji/09oakdeniz.html>, 2006. Erişim Tarihi: 11.10.2007
- Elmas Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Erdas Imagine Field Guide, 2003.
- Feasibility Report, on Beskonak Hydroelectric Power Development Project. Japan International Cooperation Agency, 1983.
- Fekete, B., M., Vörösmatry, C.J., Lammers, R.B., 2001. Scaling gridded river networks for macroscale hydrology: development, analysis, and control of error. *Water Resources Research* 37(7), 1955-1967.

- Frakes, B., Yu, Z.B., 1999. An evaluation of two hydrologic models for climate change scenarios. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1351-1363.
- Girgin Z., Akyürek Z., Usul N., 2004. Türkiye İçin Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Su Kalitesi Veri Analiz Sistemi Geliştirilmesi. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri 231-247 Fatih Üniversitesi/İstanbul
- Guo, James C., Y., 2001. Rational hydrograph method for small urban watersheds. *J. Hydrol. Eng.* 6 (4), 352–356.
- Güldal, V., 1997, Akarsu Askı Maddesi Debisi Tahmini İçin Nonlineer Bir Sistem Modeli, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- Gülgen F., 2004. Kartografya ve VBS Uygulamaları İçin Topografik Veri Setlerinden Arazi Karakteristik Çizgilerinin Çıkartılması. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri 249-255 Fatih Üniversitesi/İstanbul
- Gülgen, F., 2003. Arazinin Karakteristik Çizgilerinin Otomatik Olarak Türetilmesi. Master Tezi, YTÜFen Bilimleri Enstitüsü
- Günyaktı, A., Altınbilek, H., D., 1991. Akım Hidrografının Kısımlara Ayrılmasında İzotop Yöntemi. *İMO Teknik Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, sayfa 285-292.
- Hopfield, J., J., 1985. Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 79.
- Hsu, K., Gupta, H., V., Scrooshian, S., 1995a. Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water Resources Research*, 31, 2517-2530.
- Hsu, N.S., Kuo, J.T., Chu, W., Lin, Y.J., 1995b. Proposed Daily Streamflow-Forecasting Model for Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(2), 132-143.
- Hughes, D., A., 2004. Incorporating groundwater recharge and discharge functions into an existing monthly rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences-Journal- des Sciences Hydrologiques*, 49(2), 297-311.
- Imhoff, K., 1964. Manuel de l'assainissement urbain. Dunod, Paris.
- Islam, M.N., Sivakumar, B., 2002. Characterization and Prediction of Runoff Dynamics: A Nonlinear Dynamical View. *Advances in Water Resources*, 25(2), 179-190.

- Jain A, Srinivasulu S., 2006. Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques. *Journal of Hydrology*, 317(3-4), 291-306.
- Jakeman A., J, Hornberger GM, 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resources Research* 29:2637-2649.
- Jenson, S., K., Domingue, J., O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geogrhc information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(11), 1593-1600.
- Jones, R., 2002. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples, *Computers and Geosciences* 28 (2002), pp. 1051–1060
- Keskin, M., E., Terzi, Ö., 2006. Artificial neural network models of daily pan evaporation. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 11(1), 65-70.
- Kılınç, M., Gülbahar, N., Yeğnidemir, M. K., 2003. Su Kaynakları Mühendisliğ ve Küreselleşme. I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu 22-26 Eylül Gümüldür, İZMİR, 17-21
- Kişi, Ö., 2006. Daily pan evaporation modelling using a neuro-fuzzy computing technique. *Journal of Hydrology*, 329(3-4), 636-646.
- Kohonen T., 1987. State Of The Art In Neural Computing. *IEEE First International Conference on Neural Networks*, 1, 79-90.
- Kuichling, G., 1889. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *ASCE Transactions* 120, 1–56.
- Kumar, A., R., S., Sudheer, K.P., Jain, S.K., Agarwal, P.K., 2005. Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks: comparison of network types. *Hydrologic Processes*, 19(6), 1277-1291.
- Kumler, M., P., 1994. An Intensive Comparison of Triangulated Irregular Networks (TINs) and Digital Elevation Models (DEMs). *Cartographica*, 31(2):1-99.
- Kurt, İ. 2007, Filtre Edilmiş Yuvarlatılmış Minimumlar Taban Akışı Ayırma Yöntemi, İTÜ İnşaat Fakültesi
- Li, Y., T., Gu, R.R., 2003. Modeling flow and sediment transport in a river system using an artificial neural network. *Environmental Management*, 31(1), 122-134.
- Linsley, R., K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., 1958. *Hydrology for Engineers*. (2nd ed.), Mcgraw-Hill, New York.

- Lischeid, G., Uhlenbrook, S., 2003. Checking a process-based catchment model by artificial neural Networks. *Hydrological Processes*. 17(2), 265-277.
- Lloyd-Davies, D.E., 1906. The elimination of stormwater from Sewerage Systems. *P. I. Civil Eng.* 164, 41–67.
- Ludwik, A., T., 1978. Harmonizing Water Use and Development with Environmental Protection. Albert E. U., ve Ludwik A. T., (der), *Water in a Developing World- The Management of a Critical Resources*, Colorado ABD, Westview Press, s 75.
- Lyne V., Hollick M., 1979. Stochastic time-variable rainfall runoff modelling. *Institute of Engineers Australia National Conference* 89–93.
- Maier, H., R, Dandy G.C., 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications. *Environmental Modelling and Software*, 15, 101-124.
- Markus, M., 1997. Application of neural networks in stream flow forecasting. PhD Dissertation, Department of Civil Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Martz, L., W., Garbrecht, J., 1992. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from Digital Elevation Models. *Computers and Geosciences*, 18 (6), pp. 747-761
- Mc Kerchar, A., I., Delleur, J., W., 1974. Application of Seasonal Parametric Linear Stochastic Models to Monthly Flow Data. *Water Resources Research*, 10, 246-255.
- McCulloch, W., S., Pitts, W., H., 1943. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neural Nets. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Volume 5
- Meisels, A., Raizman, S., Karnieli, A., 1995. Skeletonizing a DEM into a drainage network. *Computers and Geosciences*, 21 (1), pp.187-196.
- Mendoza, G., F., Steenhuis, T., Walter, M., T., Parlange, J., 2003. Estimating basin-wide hydraulic parameters of a semi-arid mountainous watershed by recession-flow analysis. *Journal of Hydrology* 279, no. 1 4: 57–69.
- Meyboom, P. 1961. Estimating groundwater recharge from stream hydrographs. *Journal of Geophysical Research* 66, no. 4: 1203–1214.
- Minns, A., W., Hall, M., J., 1996. Artificial neural networks as rainfall-runoff models. *Hydrological Sciences Journal*. 41(3), 399-417.

- Moore, I., D., Grayson, R., B., Ladson, A., R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5, 3-30.
- MTA, http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/jed/images/urunler/yeni500/buyuk/KONYA1.jpg Erişim Tarihi: 16/02/2010
- Mueller, J.E., 1979. Problems in the definition and measurement of stream length. *Professional Geographer* 31(3), 306-311
- Mulvaney, T., J., 1851. On the use of self-registering rain and flood gauges in making observation of the relation of rainfall and floods discharges in a given catchment. *P. Civil Eng. Ireland.*, 4,18–31.
- Nathan, R., J., and McMahon. T., A., 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research* 26, no. 7: 1465–1473.
- Nayak, P., C., Sudheer, K., P., Jain, S., K., 2007. Rainfall-runoff modeling through hybrid intelligent system. *Water Resources Research*, 43(7), Article Number: W07415.
- Newham, L., T., H., Norton, J., P., Prosser I., P, Croke, B., F., W., Jakeman, A., J., 2003. Sensitivity analysis for assessing the behavior of a landscape-based sediment source and transport model. *Environmental Modeling and Software*, 18(8-9), 741-751.
- Olivera, F., 2001. Extracting hydrologic information from spatial data for HMS modeling. *Journal of Hydrologic Engineering* 6(6), 524-530.
- Olivera, F., Lear, M., S., Famiglietti, J., S., Asente K., 2002. Extracting low - resolution river networks from high - resolution digital elevation models. *Water Resources Research* 38 (11).
- Olivera, F., Valenzuela, M., Srinivasan, R., Choi, J., Cho, H., Koka, S., Agrawal, A., 2006. ArcGIS-SWAT: a geodata model and GIS interface for SWAT. *Journal of the American Water Resources Association* 42(2) 295-309.
- Otnes, J., 1953. Uragulerte elvers vassforing i torrvarsperioder. *Nor. Geogr. Tidsskr.*, 14, 210-218.
- Otnes, J., 1978. Torrvaerskurven In: J. Otnes and E. rwetad (editors) *Hydrologi i Praksis*. Ingeniorforlaget, Oslo, pp. 227-233
- Panagoulia, D., 2006. Artificial neural networks and high and low flows in various climate regimes. *Hydrological Sciences Journal*, 55(4), 563-587
- Paz, A., R., Collischonn, W., Risso, A., Mendes, C., A., B., 2008. Errors in river lengths derived from raster digital elevation models. 34, 1584-1596.

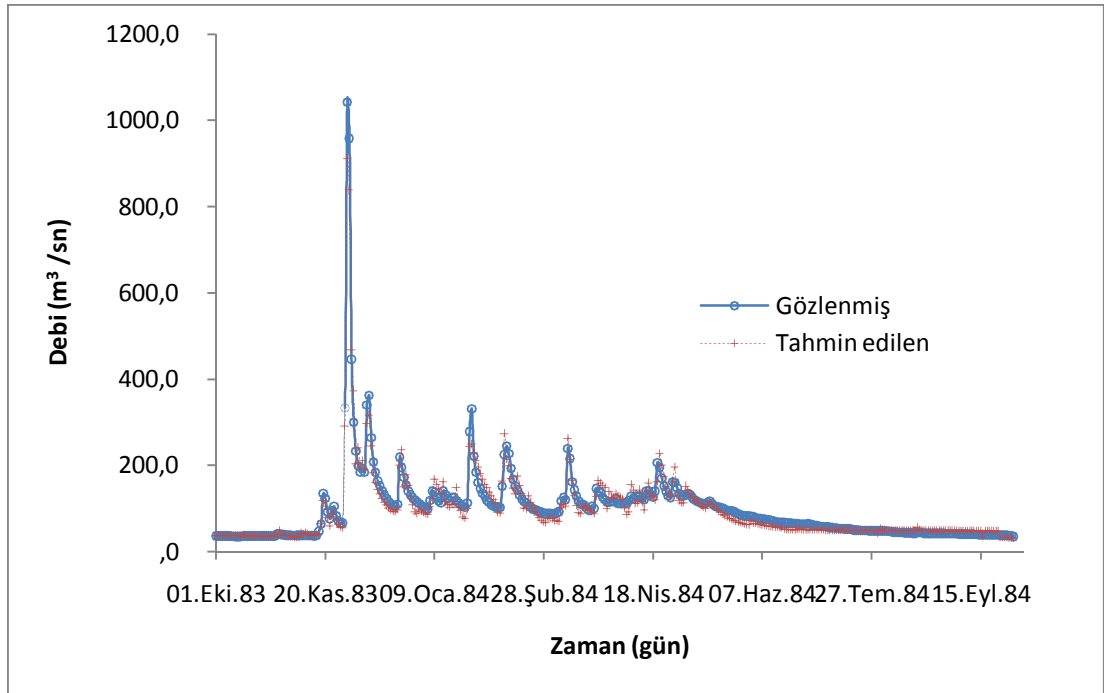
- Paz, A., R., Collischonn, W., Silveria, A., L., L., 2006. Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models. *Water Resources Research* 42(W08502).
- Peuker, T., Douglas, D., 1975. Detection of surface-specific points by local parallel processing of digital terrain elevation data. *Computer Graphics and Image Processing* 4 (1975), pp. 375–387.
- Pike, R., J., 1993. A bibliography of geomorphometry. United States Geological Survey Open-File Report 93-262-A, Menlo Park, USA, 132pp.
- Pitman, W., V., 1973. A mathematical model for generating river flows from meteorological data in South Africa. Report no. 2/73, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.
- Raghuwanshi, N.S., Singh, R., Reddy, L.S., 2006. Runoff and sediment yield modeling using artificial neural networks: upper Siwane river, India. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 11(1), 71-79.
- Rasmussen, P.F., Salas, J.D., Fagherazzi, L., Rassam, J.-C., Bobee, B., 1996. Estimation and Validation of Contemporaneous PARMA Models for Stream Flow Simulation. *Water Resour. Res.*, 32 (10), 3151-3160.
- Reed, S., M., 2003. Deriving flow directions for coarse-resolution (1-4km) gridded hydrologic modeling. *Water Resources Research* 39(9), 1238
- Rice, K., C., Hornberger, G., M., 1998. Comparison of hydrochemical tracers to estimate source contributions to peak flow in a small, forested, headwater catchment. *Water Resour. Res.* 34 (7), 1755–1766.
- Rossmiller, R., 1983. Rational Formula Revisited. *Stormwater Detention Facilities*. William De Groot, pp. 146–162.
- Rumelhardt, D.E., 1987. Parallel distributed processing, explanations in the microstructure of cognition. Vol. 1, Mit Press.
- Sabins F.F., 2000, *Remote Sensing Principles and Interpretation*, Remote Sensing Enterprises, Incorporated and University of California, Los Angeles.
- Sakawa, M., 1993. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. McGraw-Hill Inc., USA.
- Saplıoğlu, K., 2005, Akarsu çekilmelerine etkiyen parametrelerin belirlenmesi ve çekilmenin modellenmesi, SDÜ, Fenbilimleri enstitüsü İnşaat mühendisliği anabilim dalı, Isparta

- Saplıoğlu, K., Çimen, M., 2010, Taban akışı ayırımı için yeni bir yöntem, e- Journal of new world sciences academy, vol 5, number 4, 580-589
- Sarangi, A., Madramootoo, C., A., Enright, P., Prasher, S., O., Patel, R., M., 2005. Performance evaluation of ANN and geomorphology-based models for runoff and sediment yield prediction for a Canadian watershed. *Current Science*, 89(12), 2022-2033.
- Seemuller, W., W., 1989. The extraction of ordered vector drainage networks from elevation data, *Computer Vision. Graphics and Image Processing*, 47, pp.45-48.
- Sen, N., 2003. New forecast models for Indian south-west Monsoon season Rainfal. in *Current Science*, vol. 84, No. 10, May, pp.1290-1291.
- Shamseldin, A., Y., O'Connor, K., M., 1996. A nearest neighbor linear perturbation model for river flow forecasting. *Journal of Hydrology*, 179, 353-375.
- Singhtrattna, N., Rajagopalan, B., Clark, M., Kumar K., K., 2005. Seasonal Forecasting of Thailand Summer Monsoon Rainfal, in *International Journal of Climatology*. Vol. 25, Issue 5, American Meteorological Society, , pp. 649-664
- Sloto, R., A., Crouse, M., Y., 1996, HYSEP: A Computer Program for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis, US Geological Survey, Water Resources Investigations Report 96-4040.
- Smith, A., A., Lee, K., B., 1984. The rational method revisited. *Can. J. Civil Eng.* 11, 854–862.
- Smith, J., A., 1991. Long-range streamflow forecasting using nonparametric regression. *Water Resources Bulletin*, 27(1), 39-46.
- Stewart, M., Cimino, J., Ross, M., 2007, Calibration of Base Flow Separation Methods with Streamflow Conductivity, *Ground Water*, 45(1), 17.
- Sudheer, K., P., Gosain, A.K., Ramasastri, K.S., 2002. A data-driven algorithm for constructing artificial neural network rainfall-runoff models. *Hydrological Processes*, 16(6), 1325-1330.
- Sy, N., L., 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 51(1), 3-20.
- Şen, Z., 2004. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Tao, P.C., Delleur, J.W., 1976. Seasonal and Nonseasonal ARMA Models in Hydrology. *ASCE J. Hydrol. Div.*, 102 (HY10), 1541-1559.

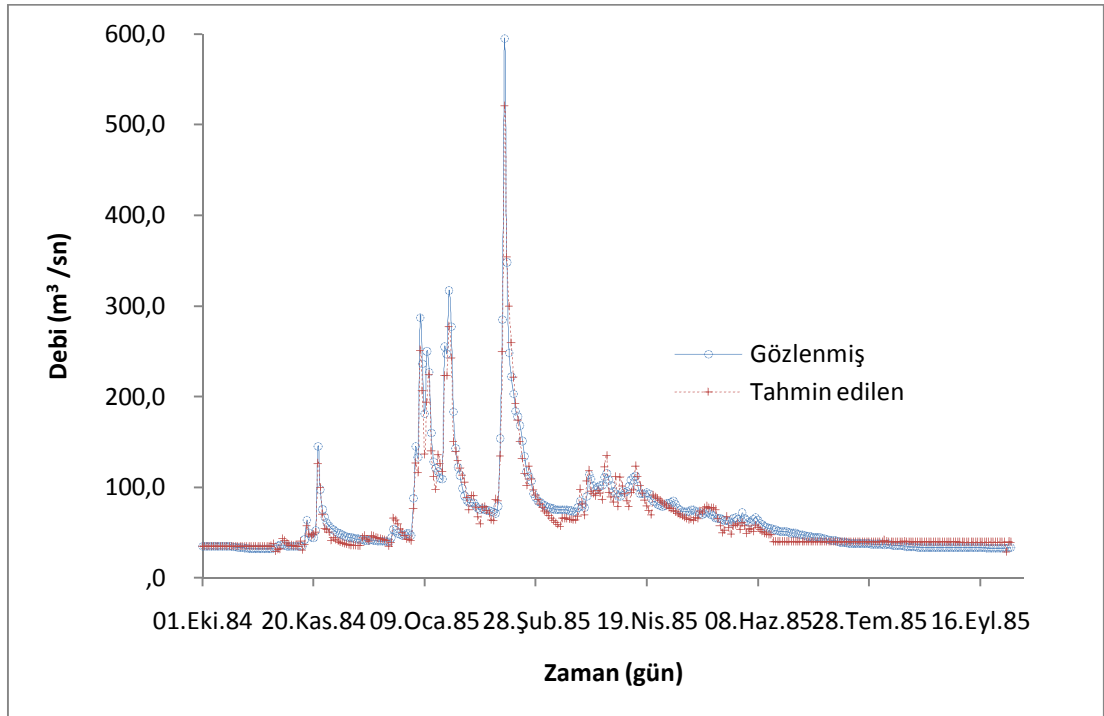
- Tarboton, D., G., Tarboton, R., L., Bras, I., Rodriguez-Iturbe, 1991. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5, pp. 81–100.
- Tayfur, G., Singh, V., P., 2006. ANN and fuzzy logic models for simulating event-based rainfall-runoff. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(12), 1321-1330.
- Tekeli, İ., Şorman, Ü., Gürleşen, N. 2000. Ankara-Güvenç havzasında akım hidrografının bileşenlerine ayırımında izotop tekniklerinin kullanımı. *Toplu Sonuç Raporu, 2000-Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü, Ankara.*
- Teodorovic, D., Vukadinovic, K., 1998. *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Thompson, R.M, Hipel, K.W., Mcleod, A.I., 1985. Forecasting quarter-monthly river flow. *Water Resources Bulletin*, 21(5), 731-741.
- Toth, E., Brath, A., Montanari, A., 2000. Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 239(1-4), 132-147.
- Turcotte, R., Turcotte, J.-P. Fortin, A.N. Rousseau, S. Massicotte and J.-P. Villeneuve, 2001. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology* 240 (2001) (3–4), pp. 225–242
- TÜBİTAK, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/jeolojik/index2.htm> Erişim zamanı:05.01.2010
- Türker C., 2003 Kavramsal bir yağış-akış modeli geliştirilmesi ve Eğirdir gölünde uygulanması, SDÜ, Fenbilimleri enstitüsü İnşaat mühendisliği anabilim dalı, Isparta
- Uhlenbrook S., Frey M., Leibundgut Ch., Maloszewski P., 2002, Hydrograph separations in a mesoscale mountainous basin at event and seasonal timescales. *Water Resources Research*, 38, 6, 1-14.
- Üstün H. G., 2008 İklim değişimlerinin su kaynakları üzerine etkisi, SDÜ, Fenbilimleri İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, Isparta.
- Verdin, K., L., Verdin, J.P., 1999. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. *Journal of Hydrology* 218, 1-12.
- Wang, W., 2006. Stochasticity, Nonlinearity and Forecasting of Streamflow Processes. Ph.D. Thesis.

- Werner, P., W., Sundquist, K., J., 1951. On the groundwater recession curve for large watersheds, in IASH General Assembly, Brussels, IAHS Publ., 33, 202-212.
- Widrow, B., Hoff, Marcian., 1960. Adaptive Switching Circuits. IRE WESCON Convention Record; Part 4, August.
- Wood J., 1996. The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models. PhD. Thesis, Department of Geography, University of Leicester, UK.
- Wright, C., E., 1970. Catchment characteristics influencing low flows. *Water and Water Engineering* 74: 468–471.
- Wu, J.S., Han, J., Annambhotla, S., Bryant, S., 2005. Artificial neural networks for forecasting watershed runoff and stream flows. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(3), 216-222.
- Yang, C., C., Prasher, S., O., Lacroix, R., 1997. Artificial neural network model for subsurface-drained farmlands. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 123(4), 285-292.
- Yen, B., C., Akan, A., O., 1999. Hydraulic design for urban drainage systems. In: Mays, L.W. (Ed.), *Hydraulic Design Handbook* McGraw-Hill, New York.
- Yoeli, P., 1984. Computer assisted determination of the valley and ridge lines of digital terrain models. *International Yearbook of Cartography*, 24, pp.197-206.
- Yu, z., Schwartz, W., 1999, Automated Calibration Applied to Watershed-Scale Flow Simulations, *Hydrologic Process* 13, 191-209
- Zaw, W., T., and Naing, T., T., 2008. Empirical Statistical Modeling of Rainfall Prediction over Myanmar. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* Volume 36 December, 2070-3740
- Zealand, C., M., Burn, D., H., Simonovic, S., P., 1999. Short term streamflow forecasting using artificial neural Networks. *Journal of Hydrology*, 214, 32-48.
- Zuzel, J., F, Robertson, D., L, Rawls, W., J., 1975. Optimizing long-term streamflow forecast. *Journal of Soil and Water Conservation*, 30(2), 76-82.

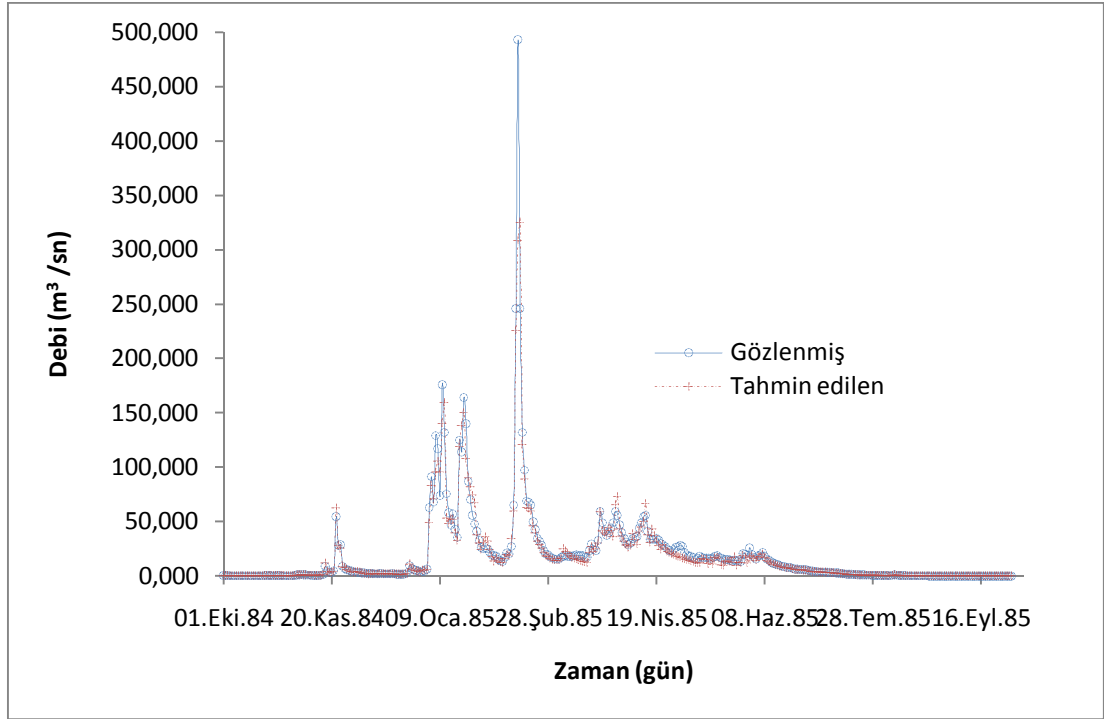
EK



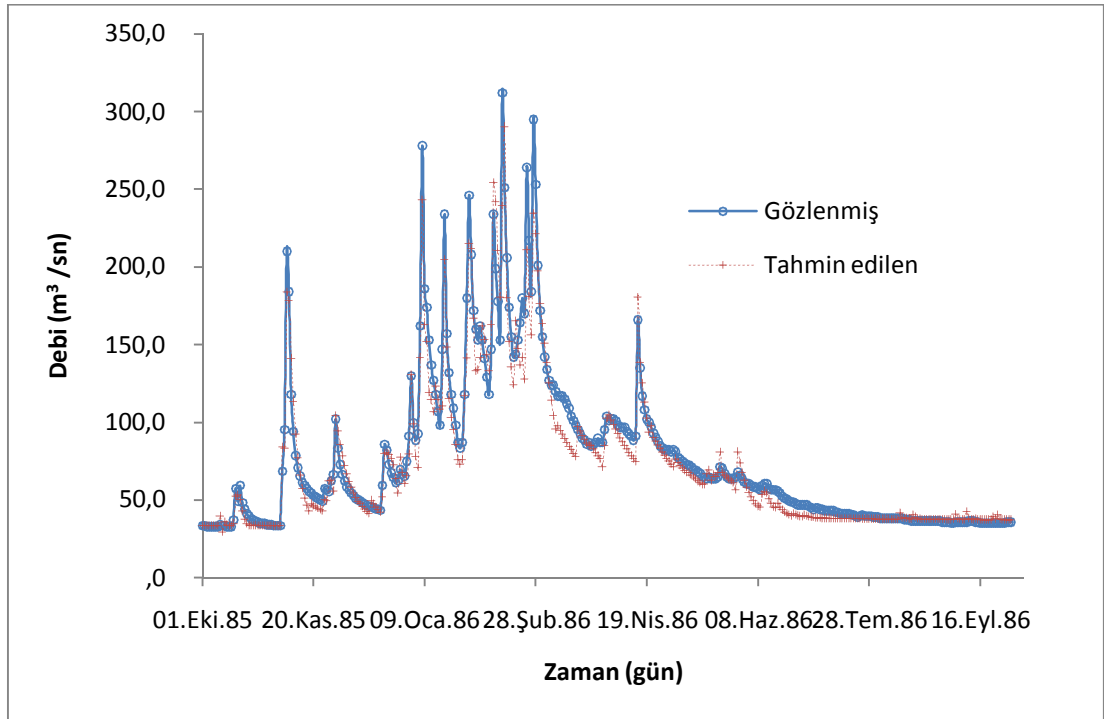
Ek 1. 1984 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



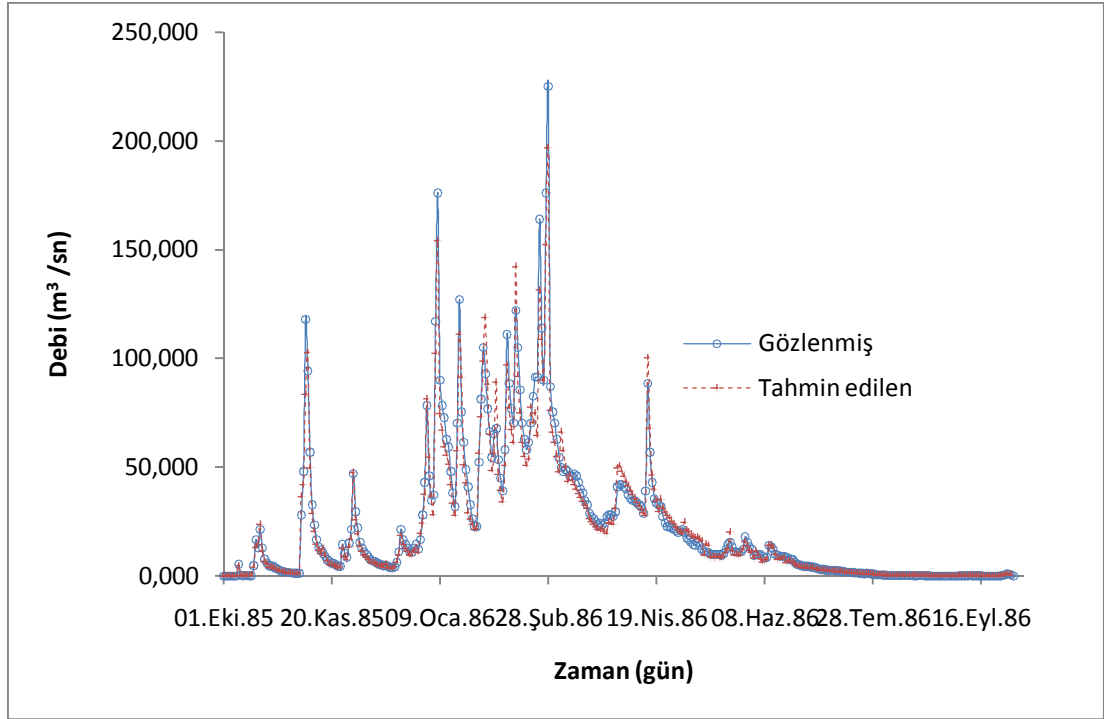
Ek 2. 1985 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



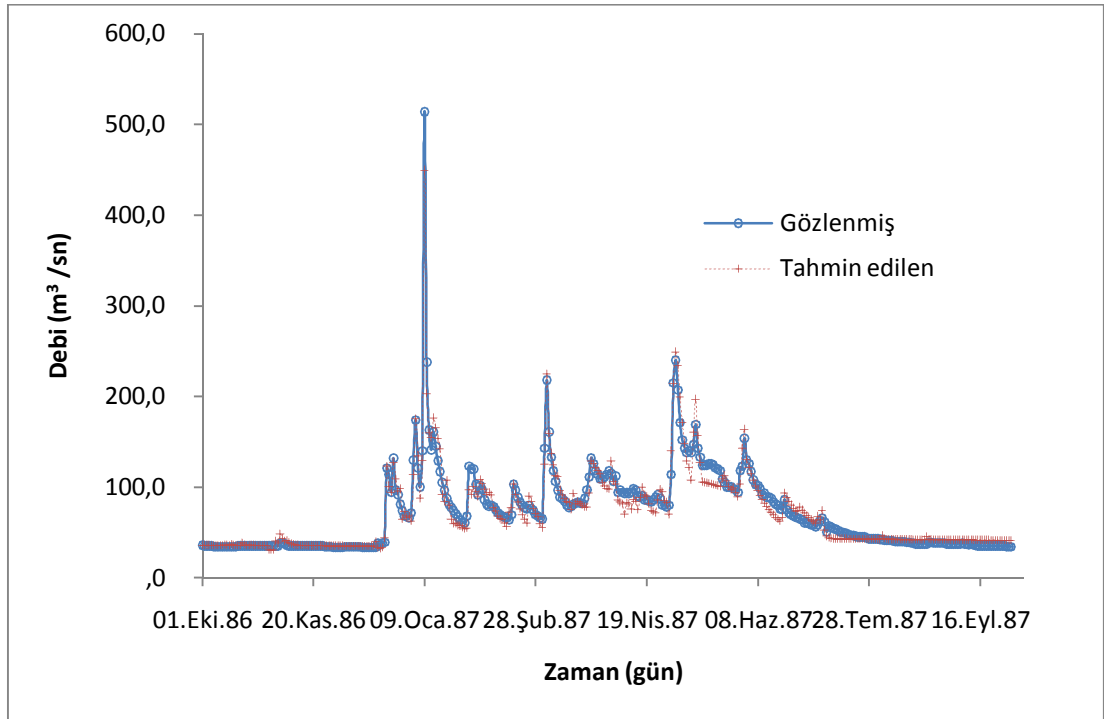
Ek 3. 1985 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



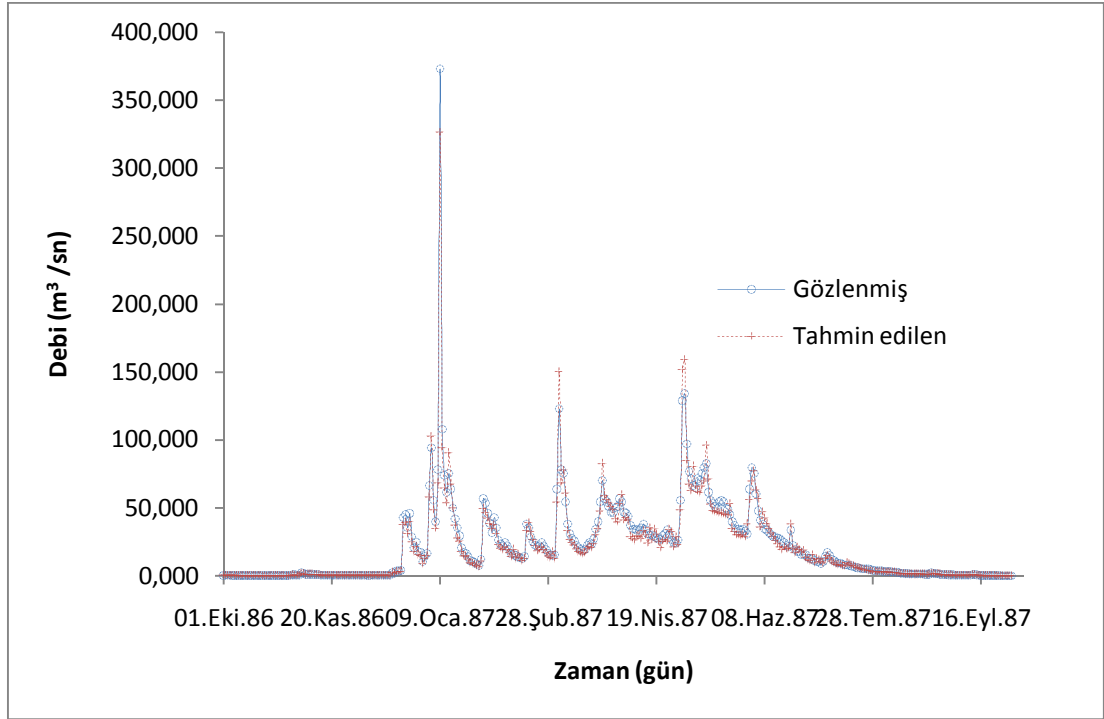
Ek 4. 1986 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



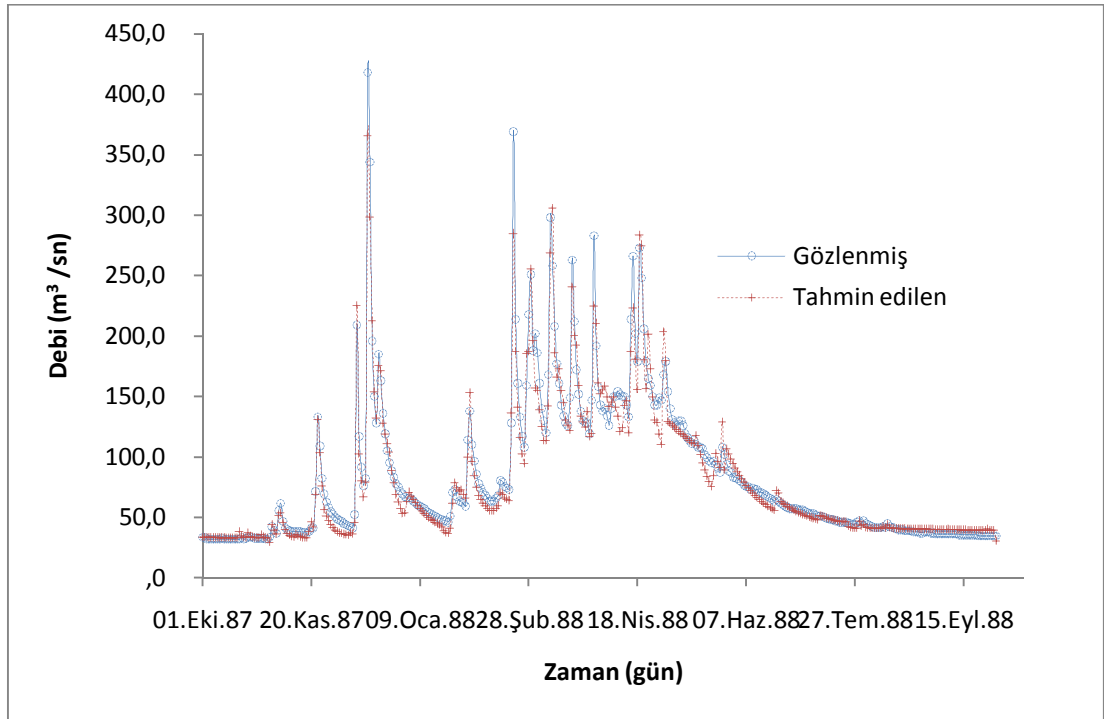
Ek 5. 1986 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



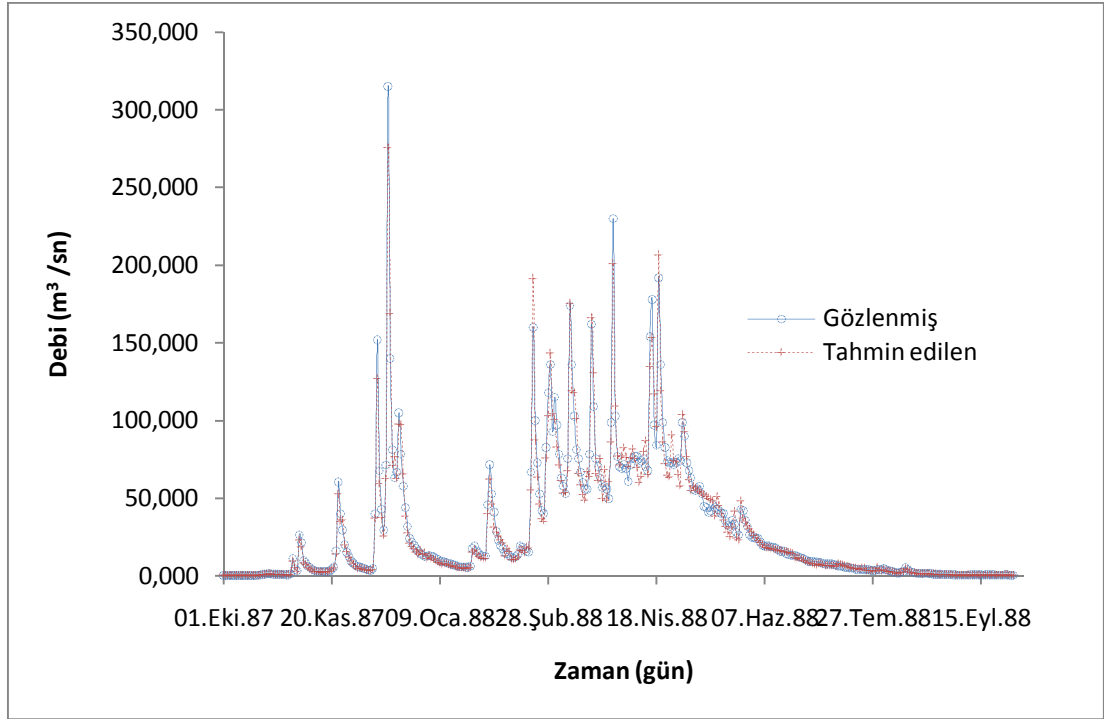
Ek 6. 1987 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



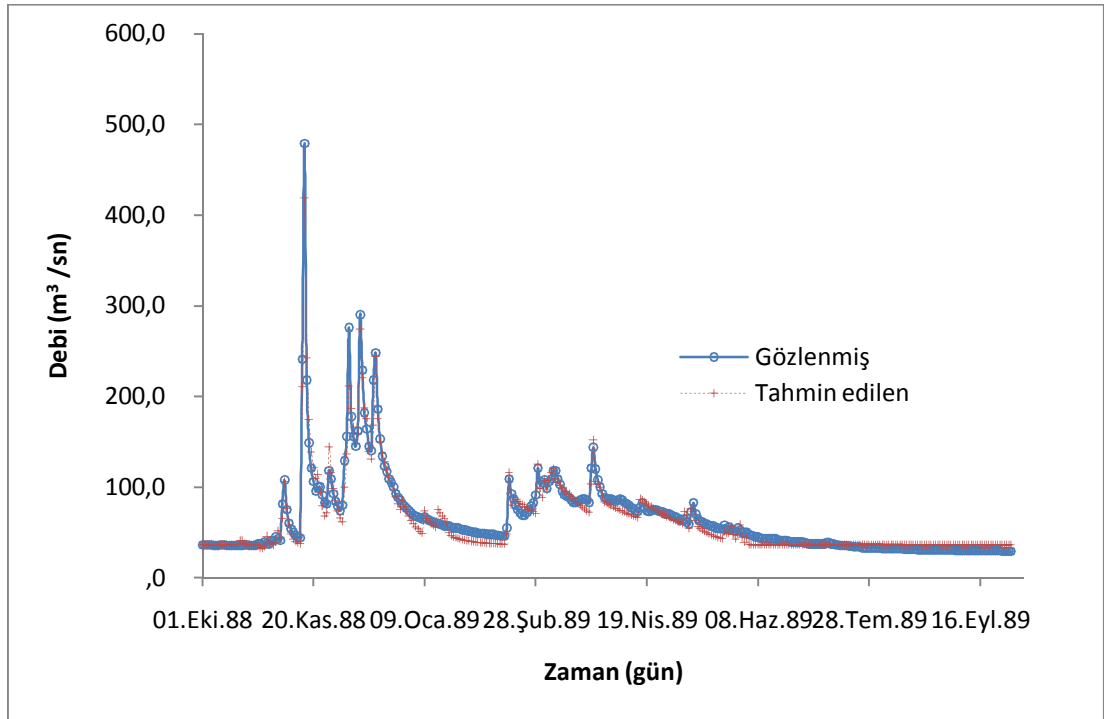
Ek 7. 1987 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



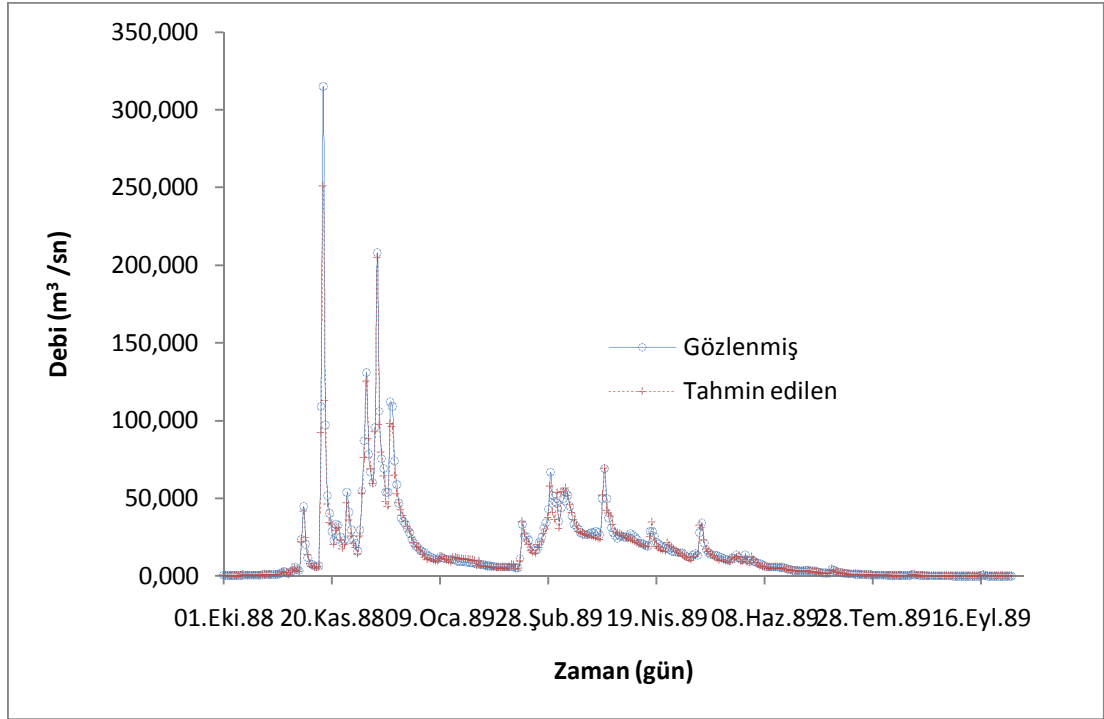
Ek 8. 1988 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



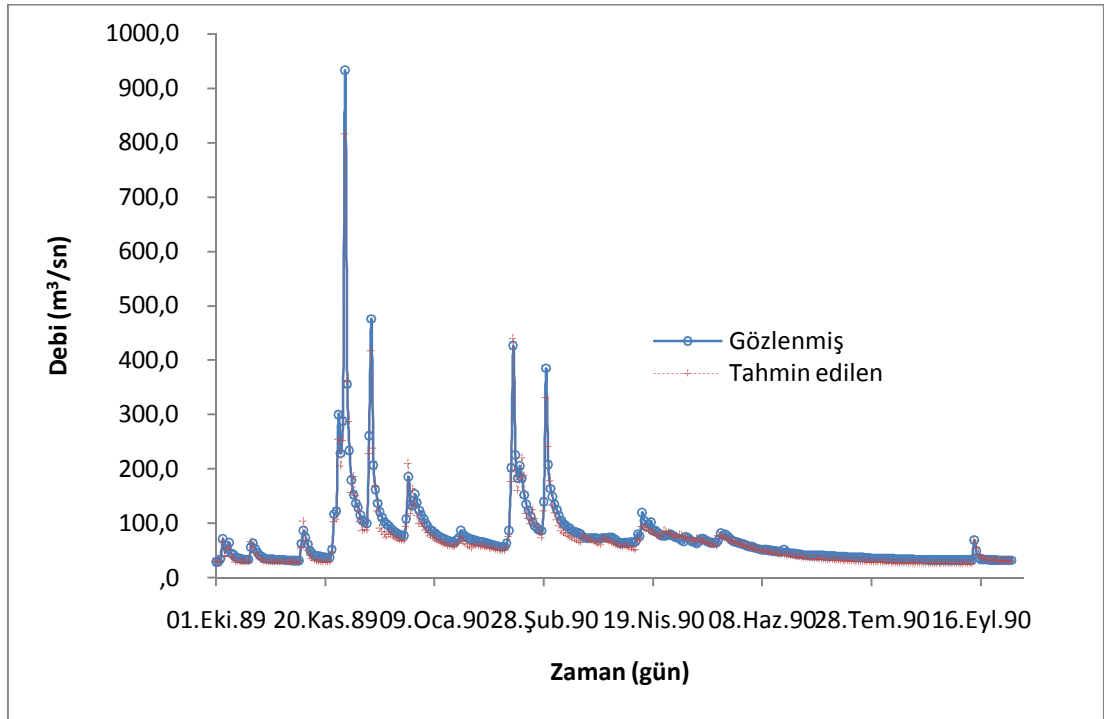
Ek 9. 1988 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



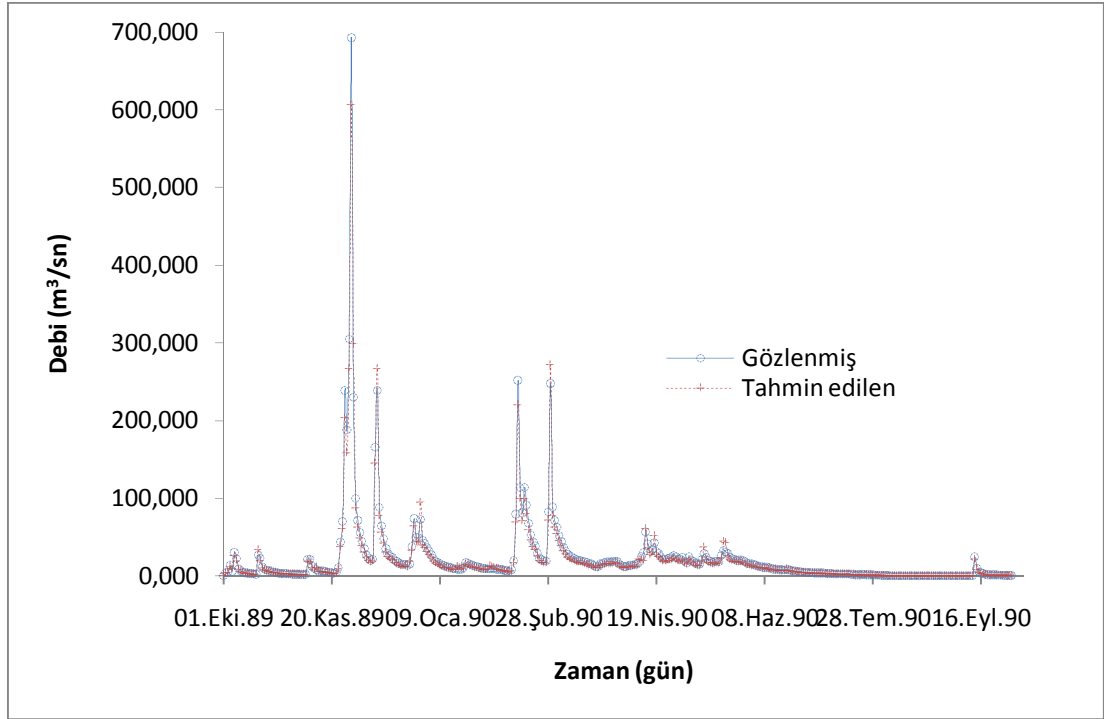
Ek 10. 1989 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



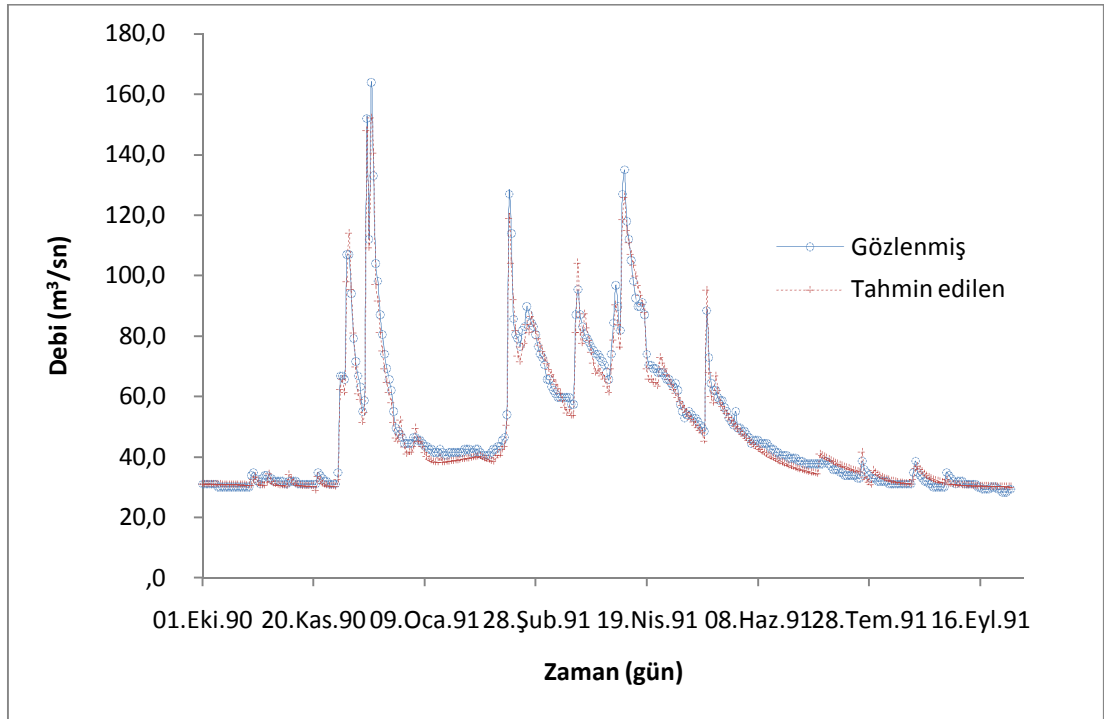
Ek 11. 1989 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



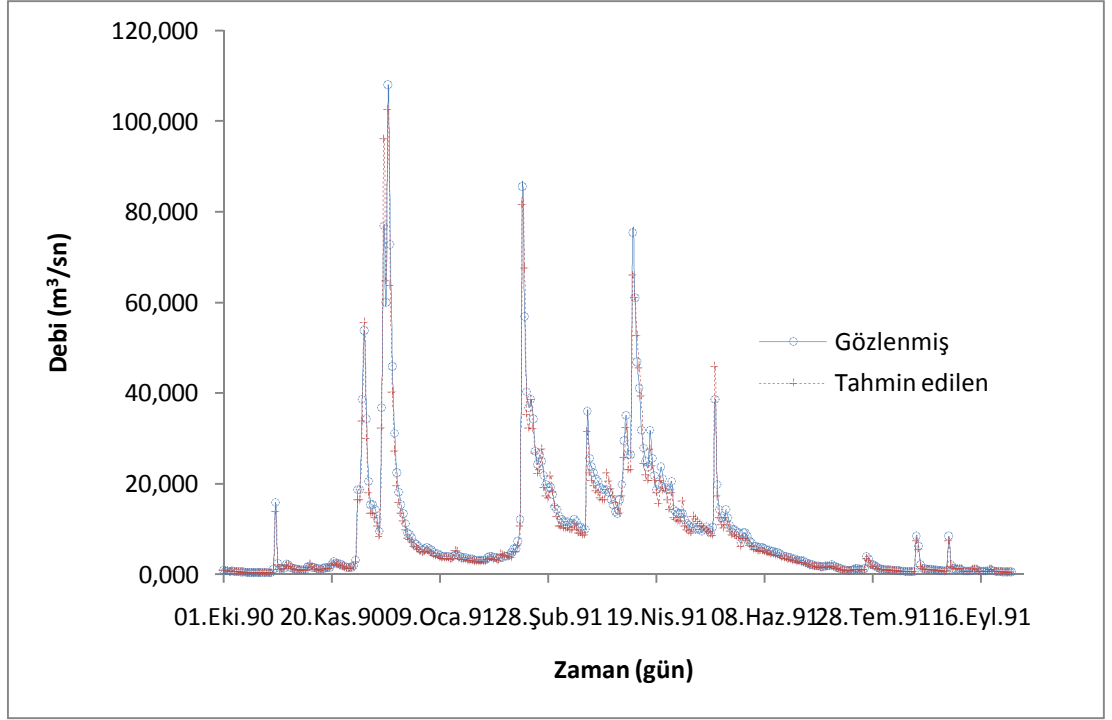
Ek 12. 1990 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



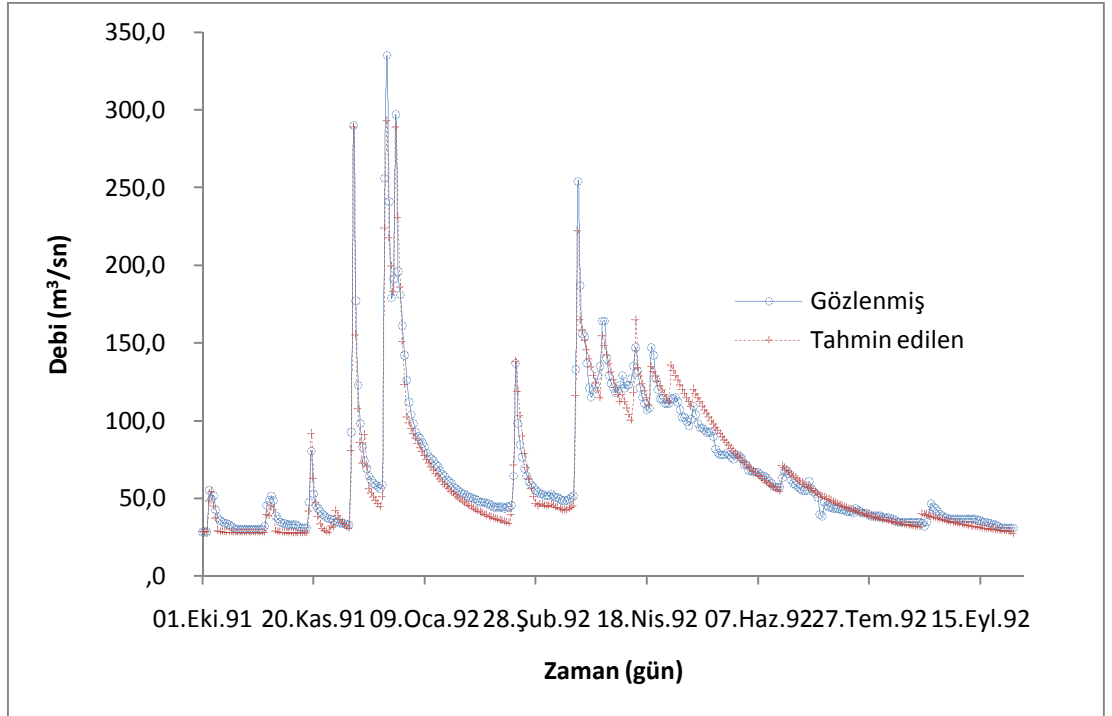
Ek 13. 1990 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



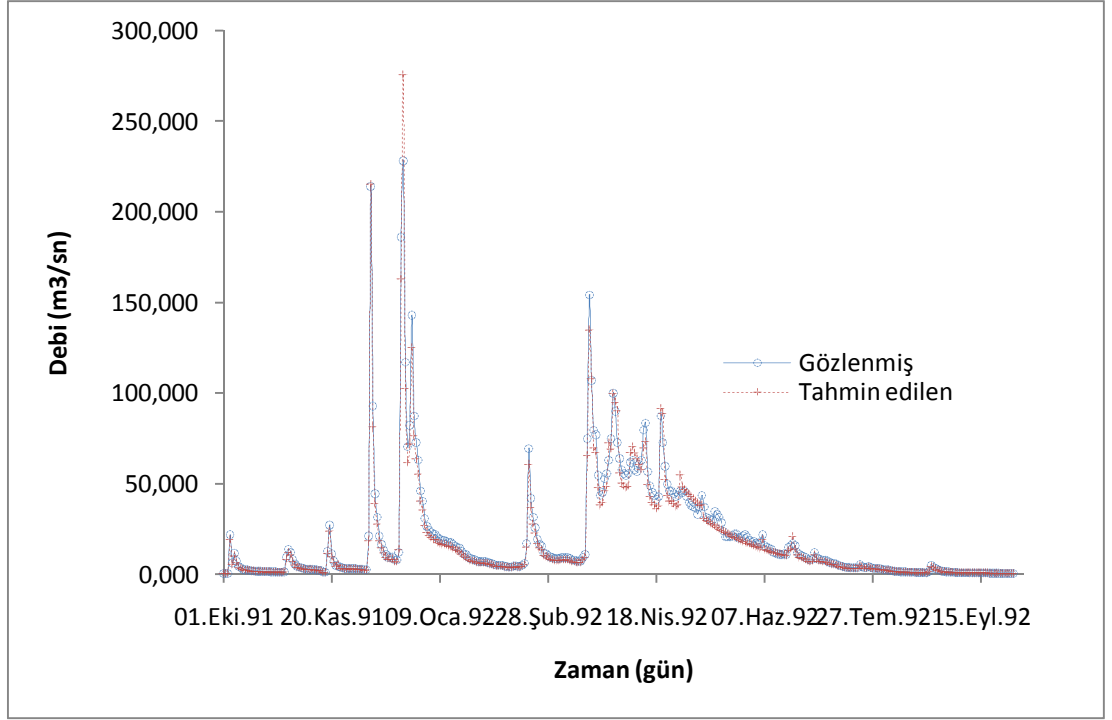
Ek 14. 1991 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



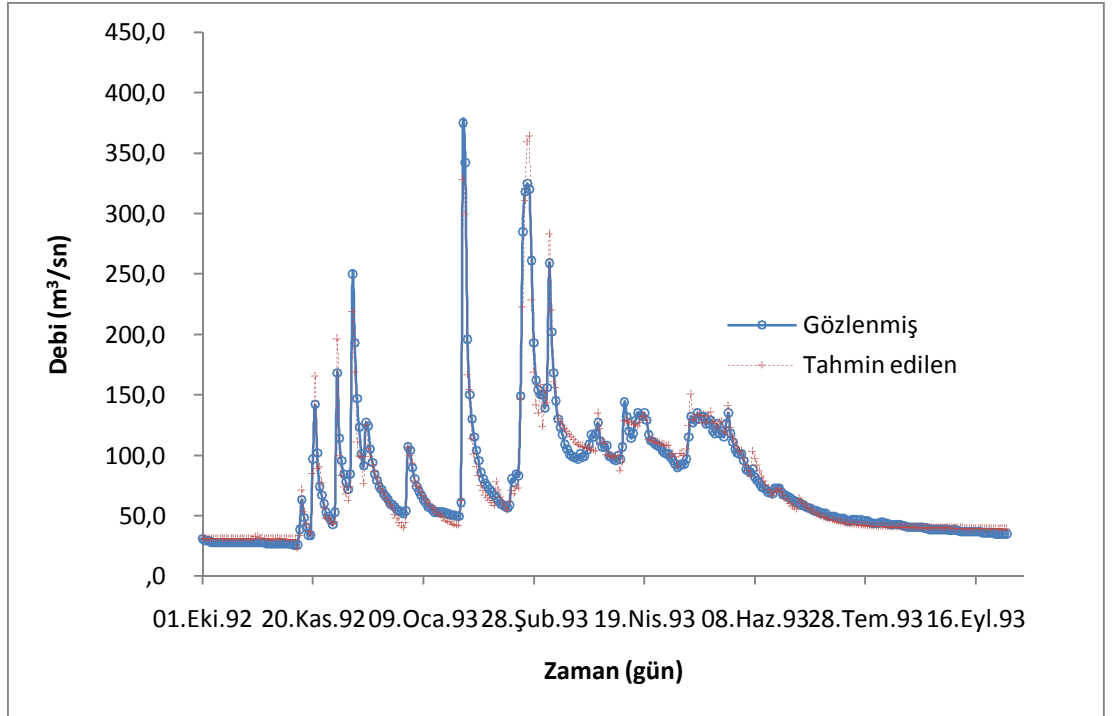
Ek 15. 1991 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



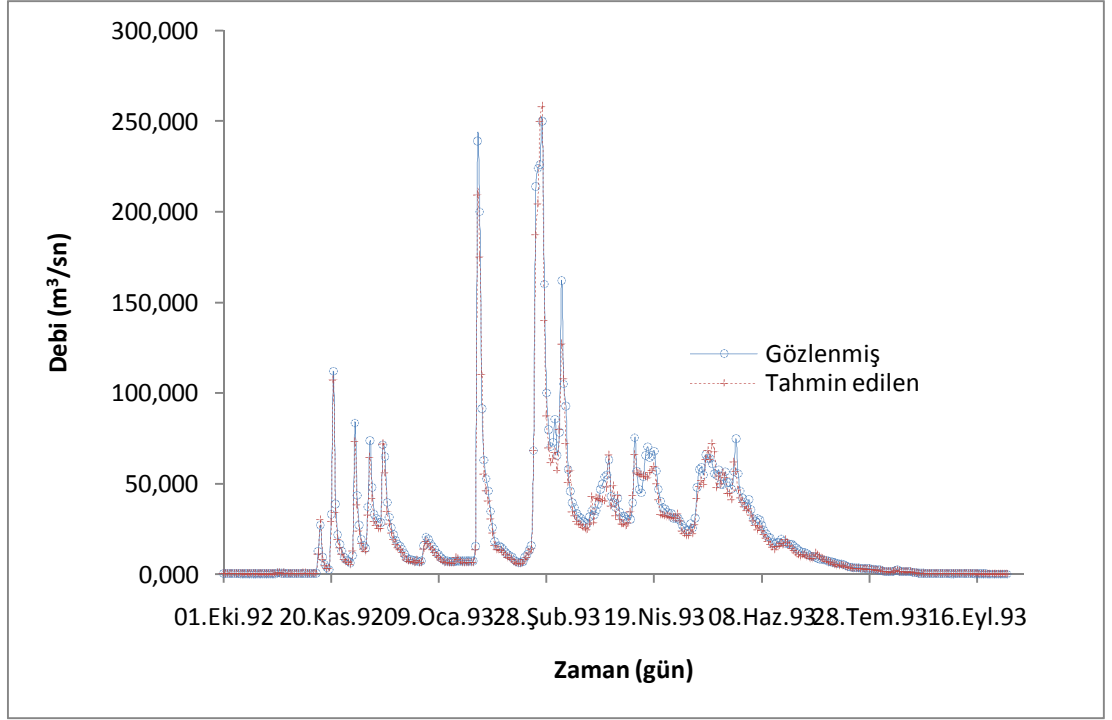
Ek 16. 1992 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



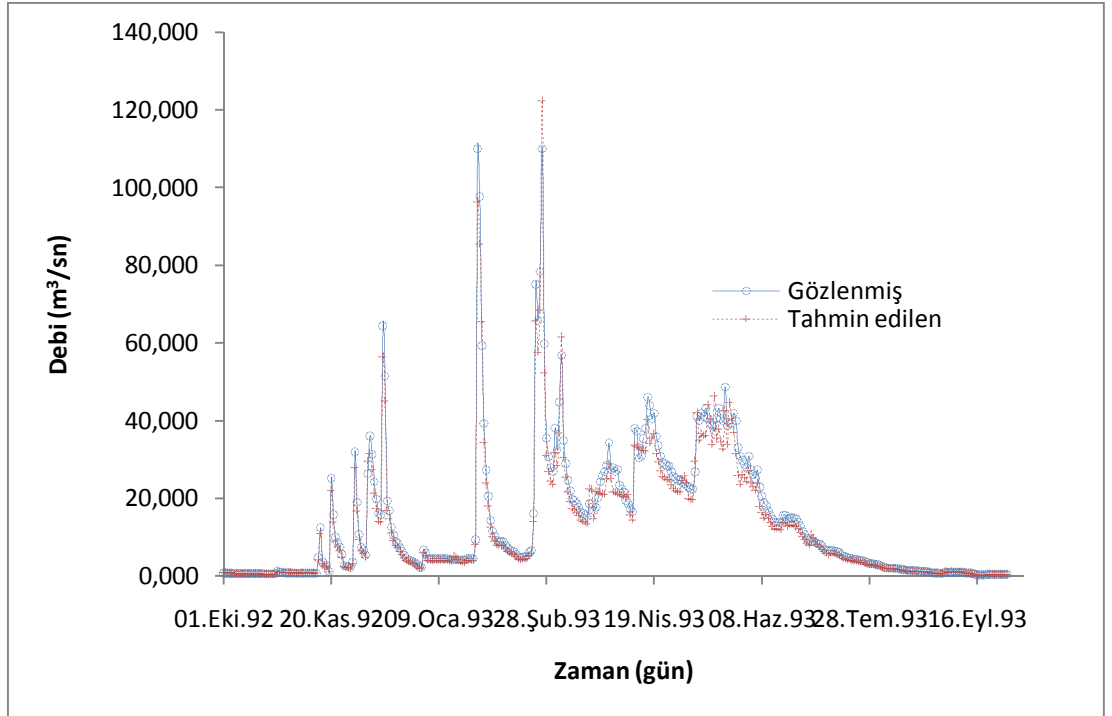
Ek 17. 1992 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



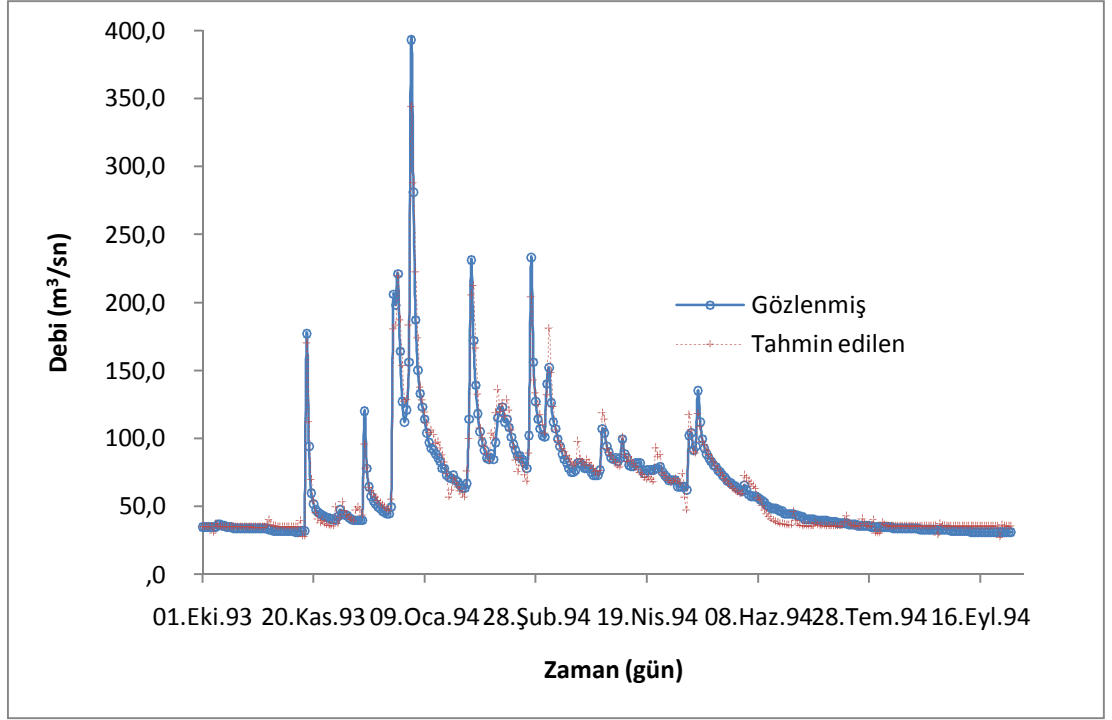
Ek 18. 1993 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



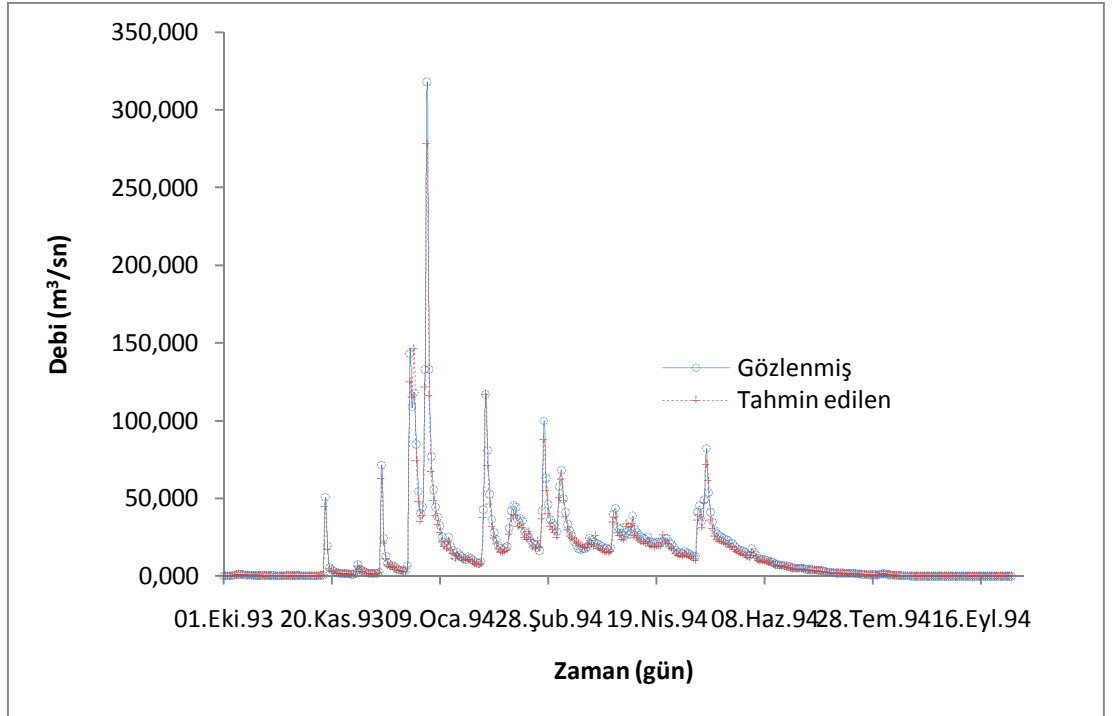
Ek 19. 1993 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



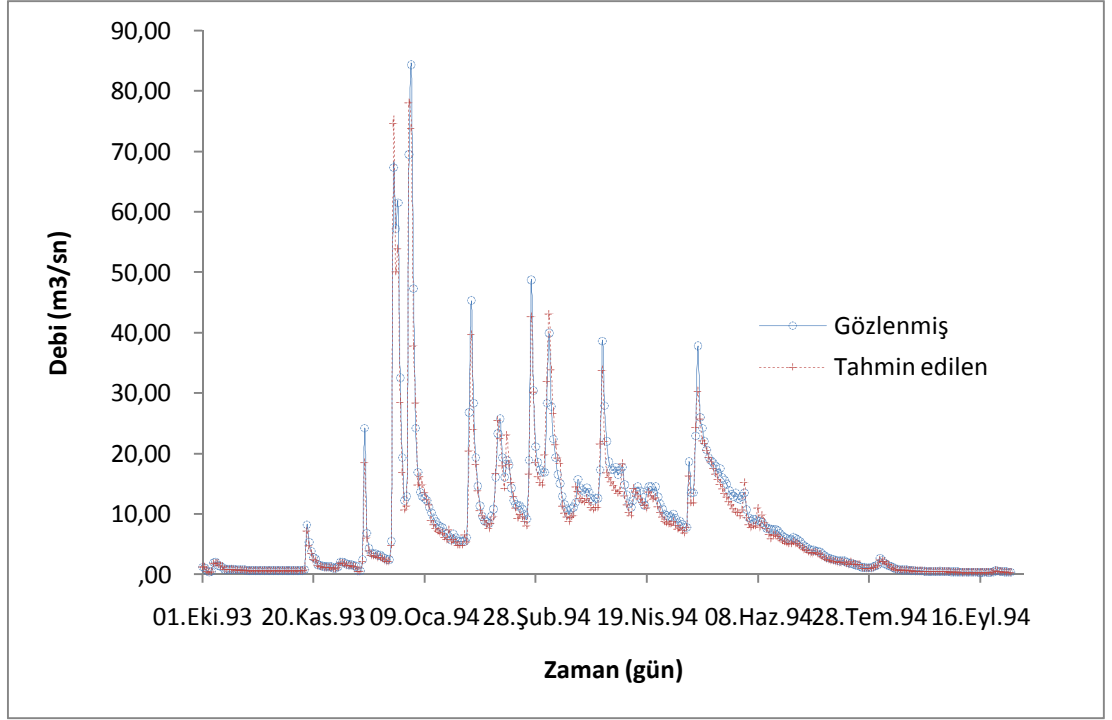
Ek 20. 1993 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



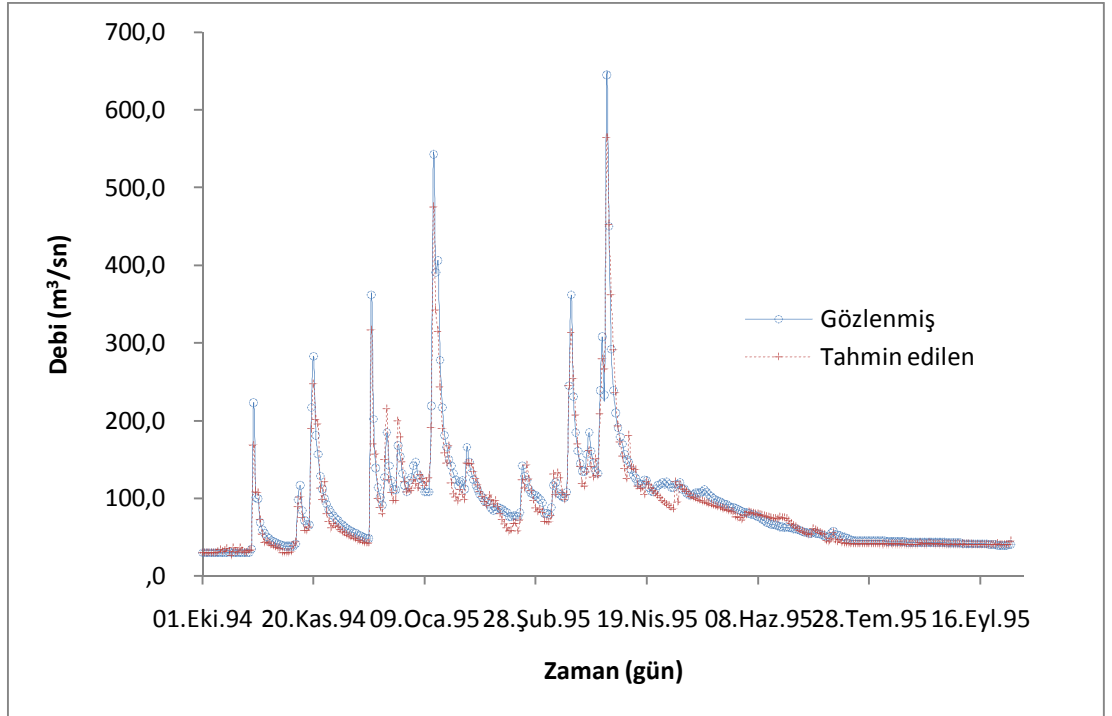
Ek 21. 1994 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



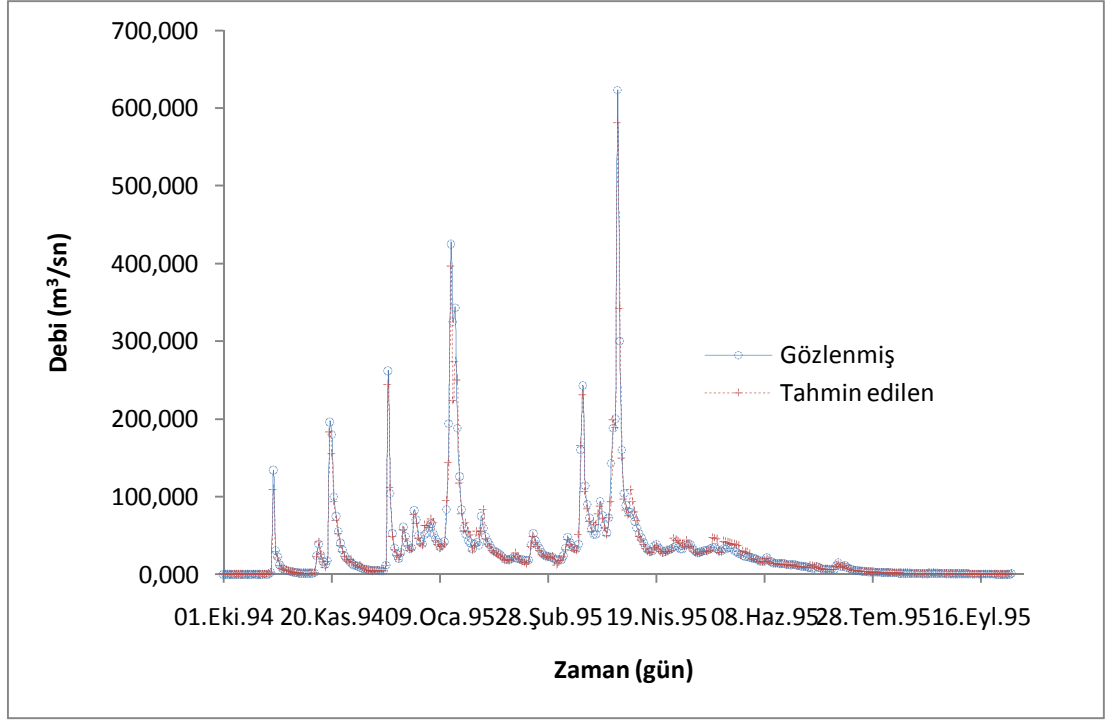
Ek 22. 1994 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



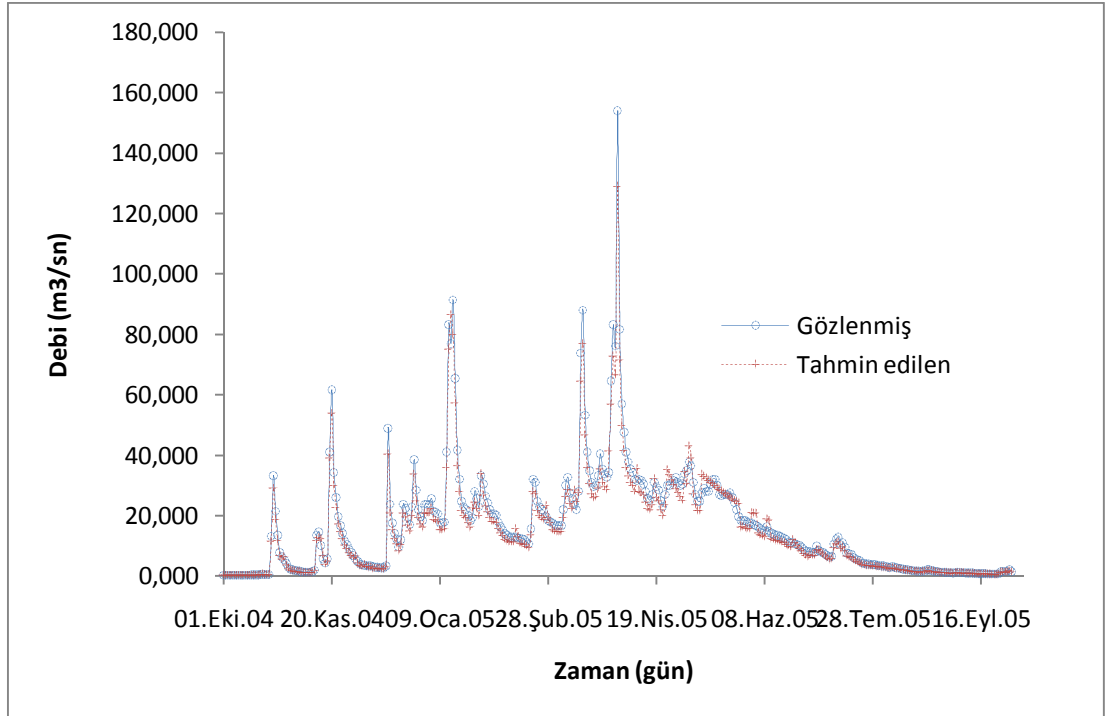
Ek 23. 1994 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



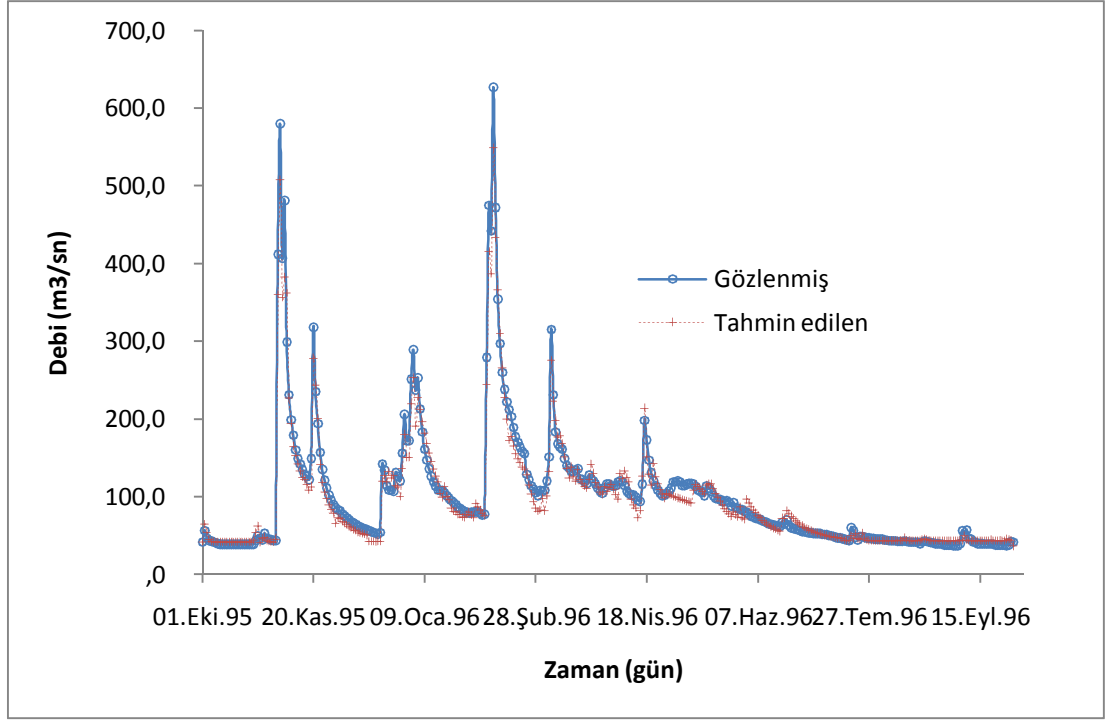
Ek 24. 1995 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



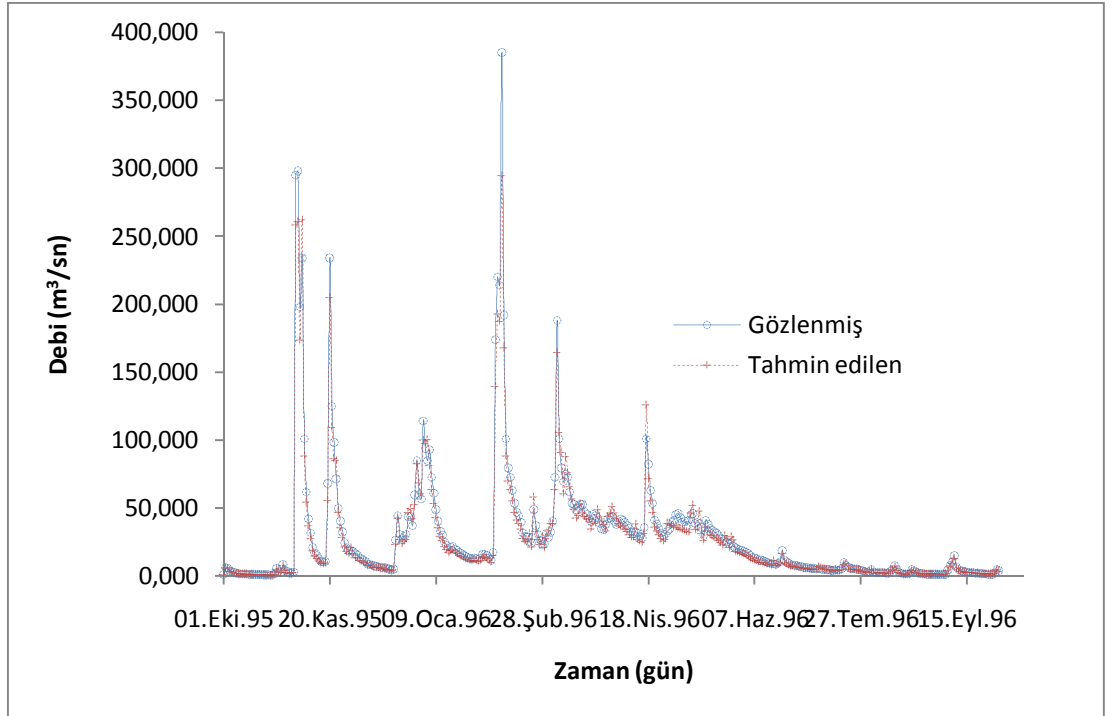
Ek 25. 1995 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



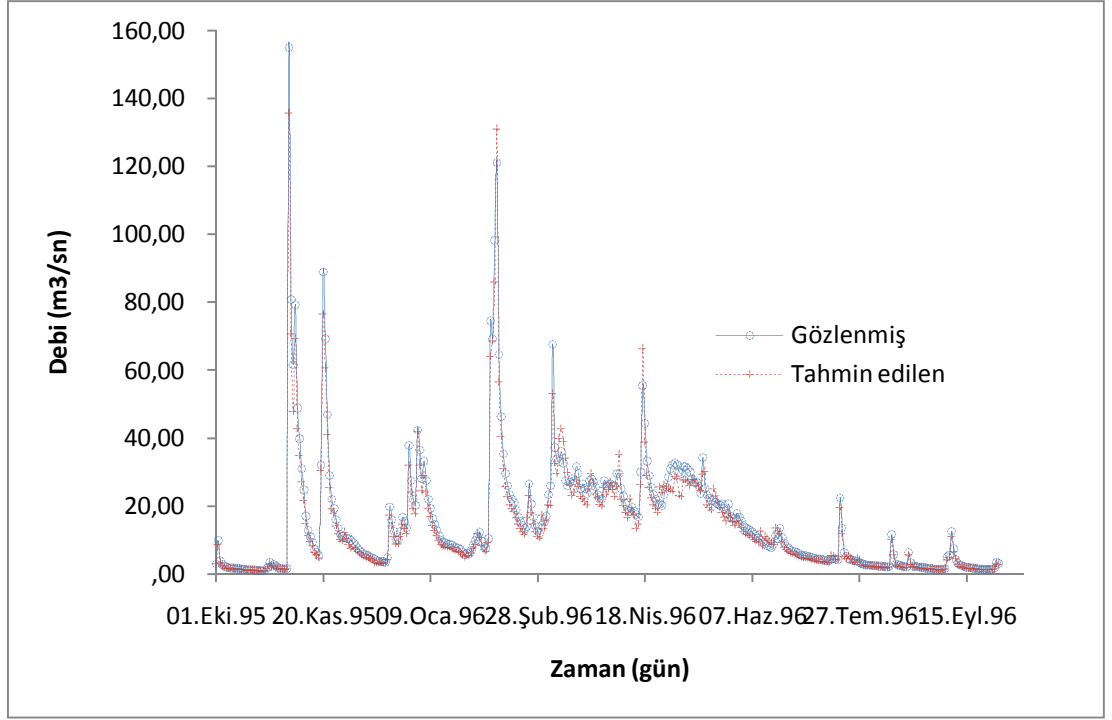
Ek 26. 1995 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



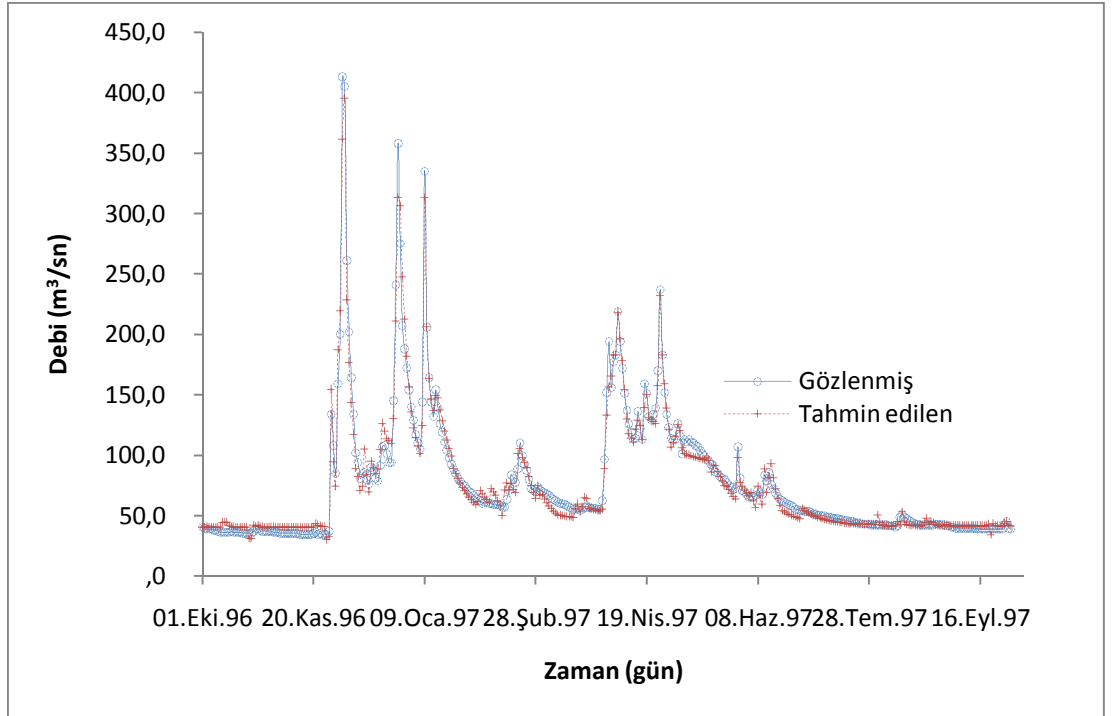
Ek 27. 1996 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



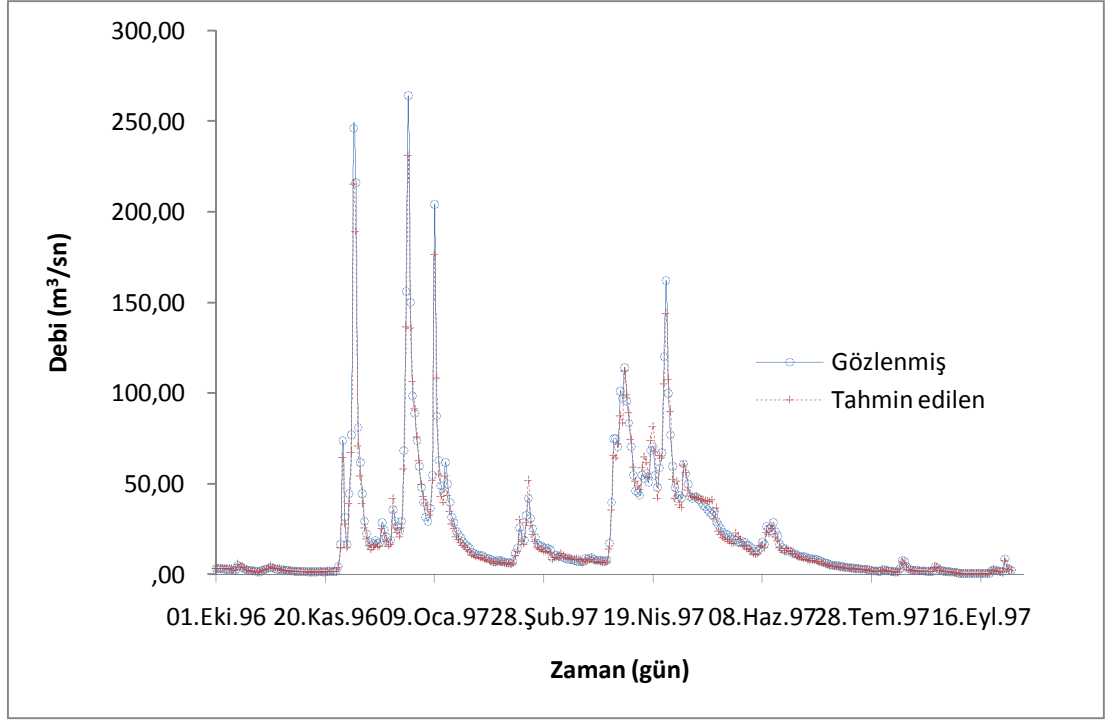
Ek 28. 1996 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



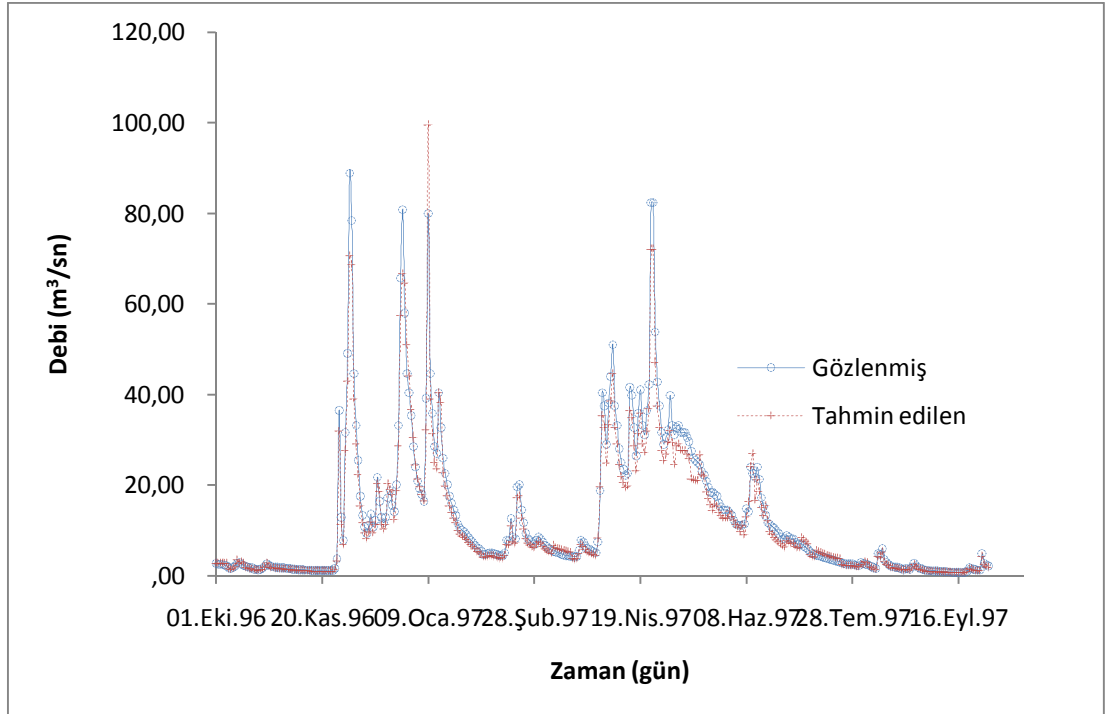
Ek 29. 1996 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



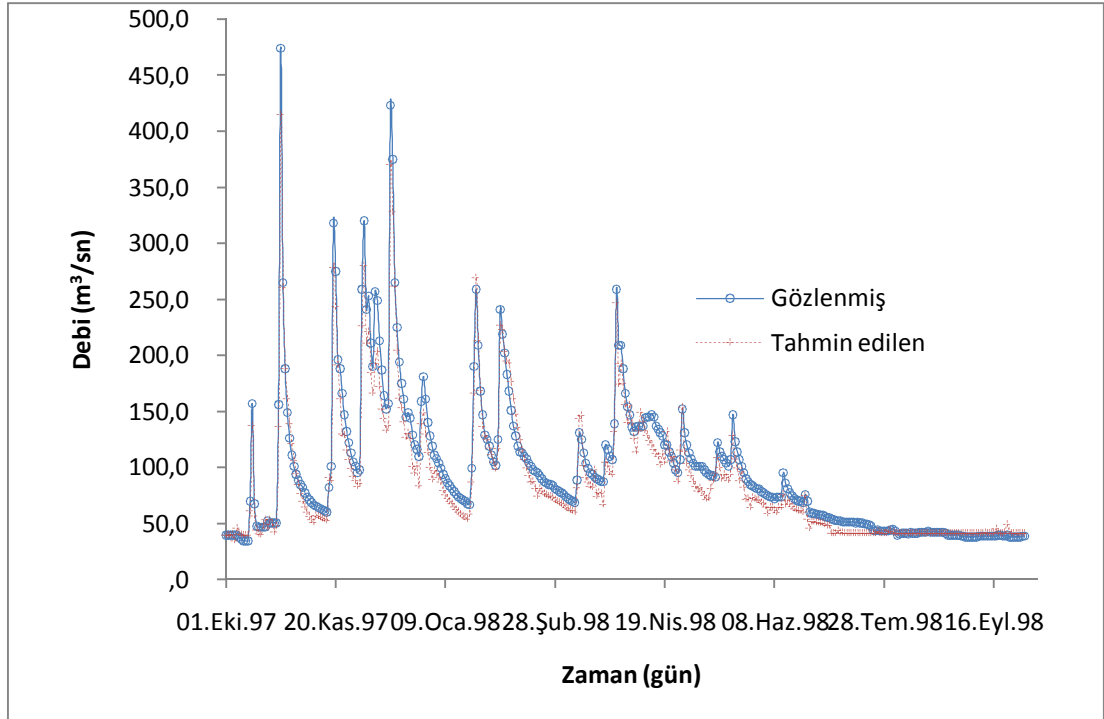
Ek 30. 1997 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



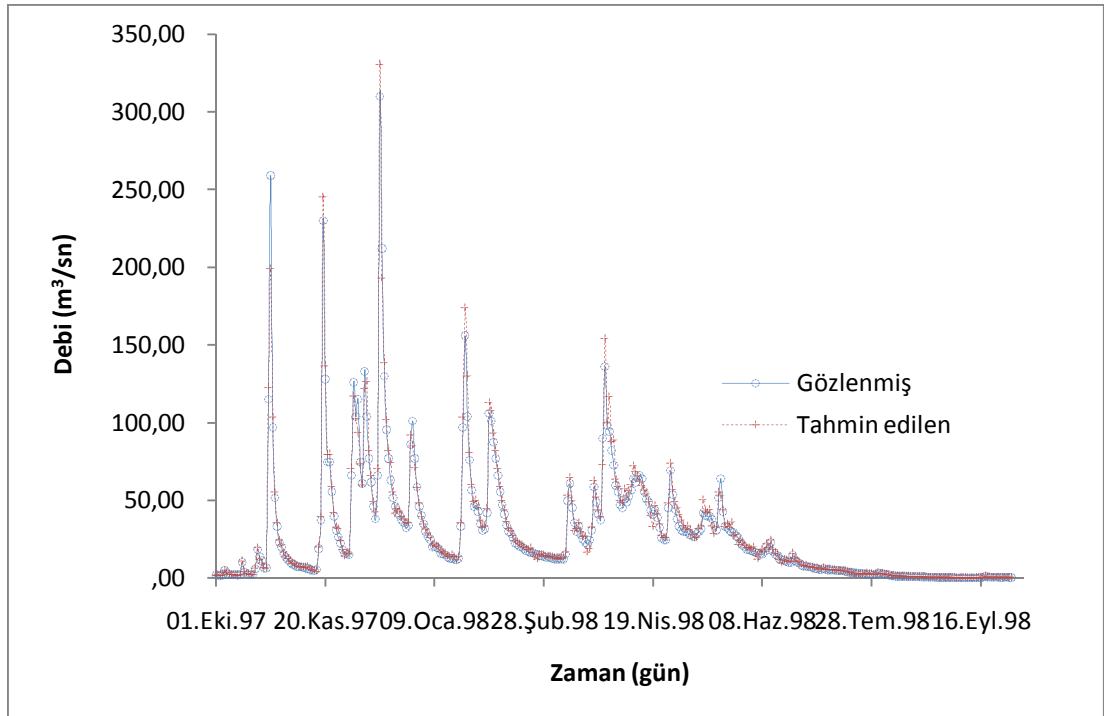
Ek 31. 1997 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



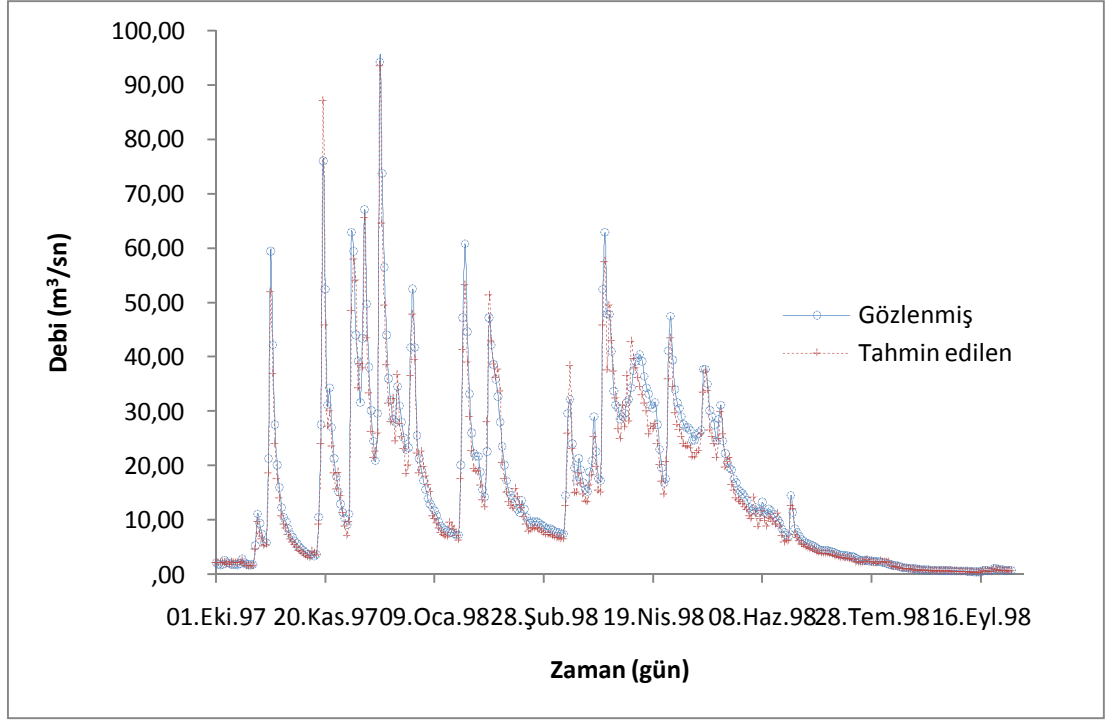
Ek 32. 1997 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



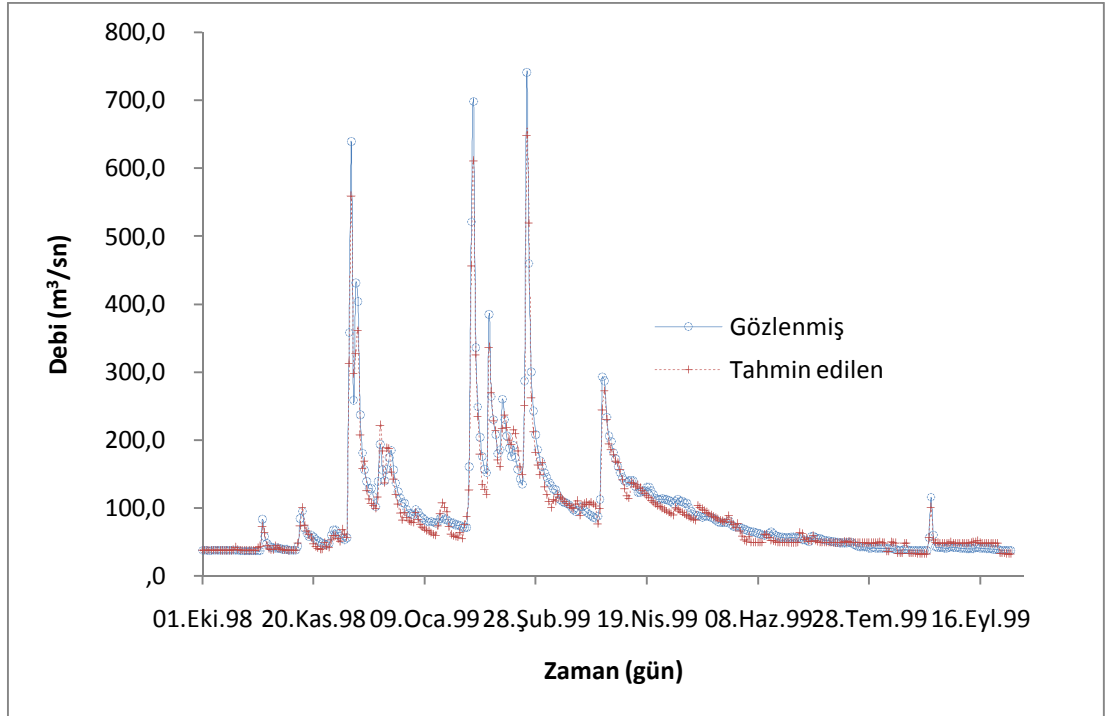
Ek 33. 1998 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



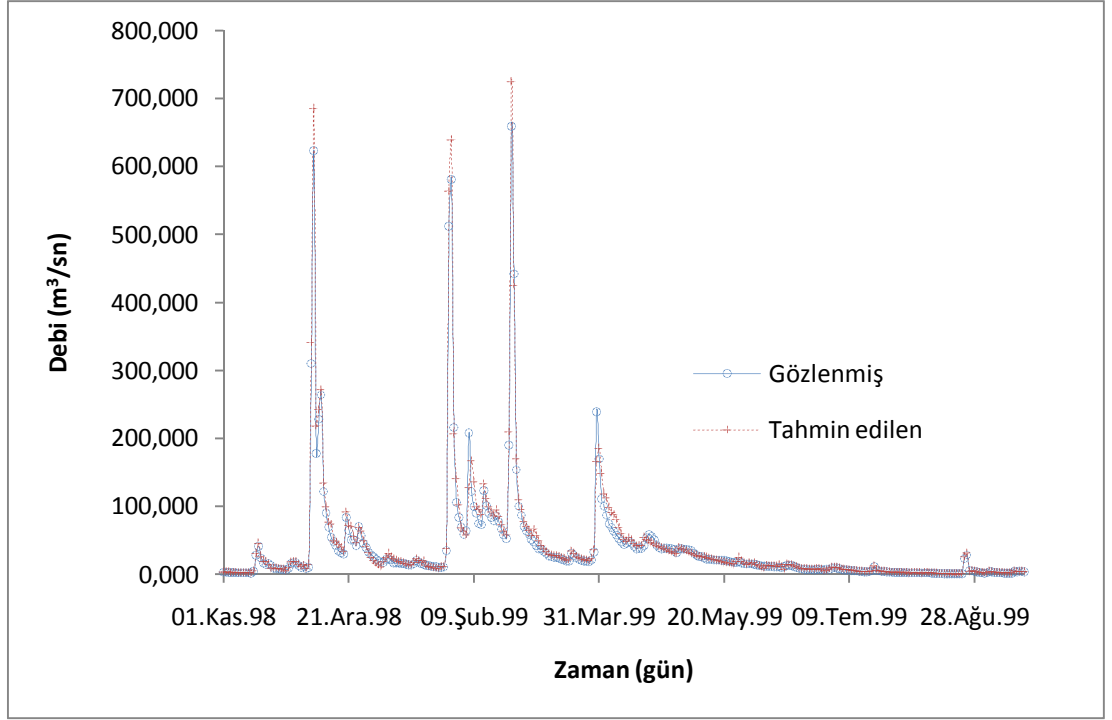
Ek 34. 1998 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



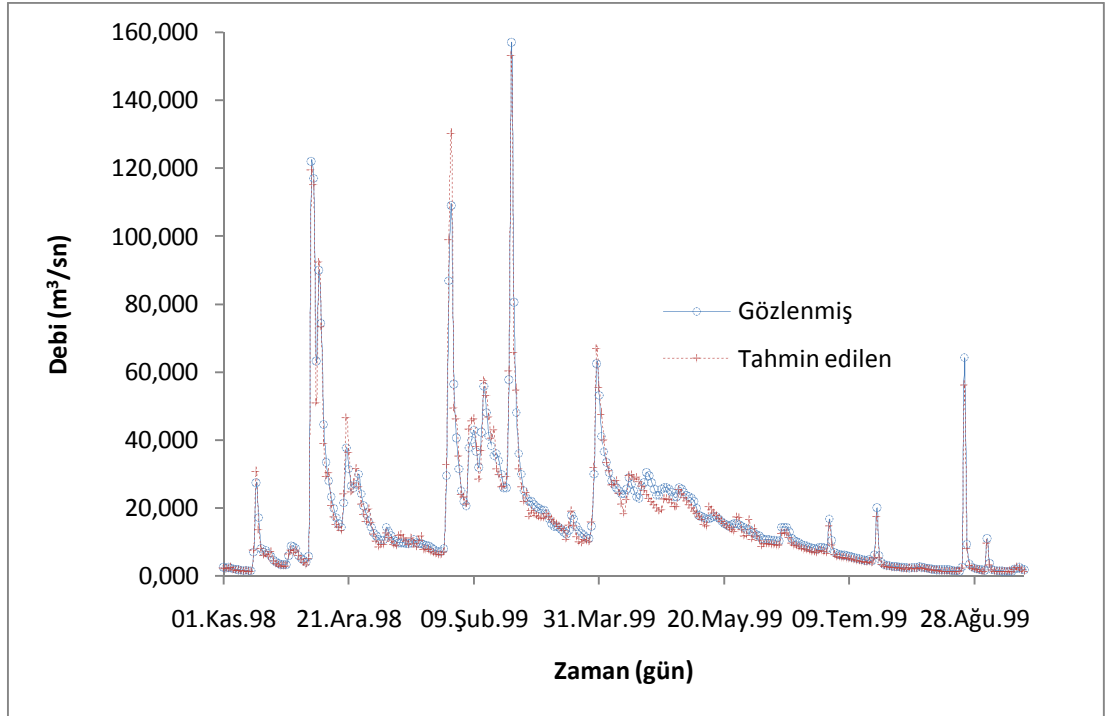
Ek 35. 1998 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



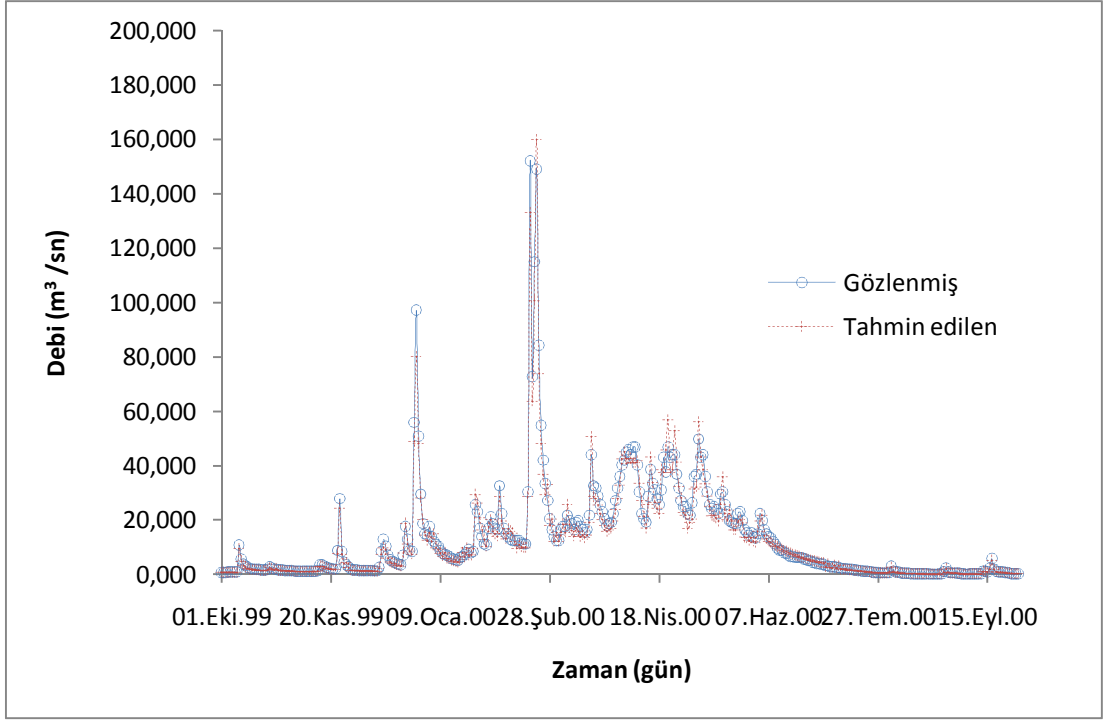
Ek 36. 1999 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



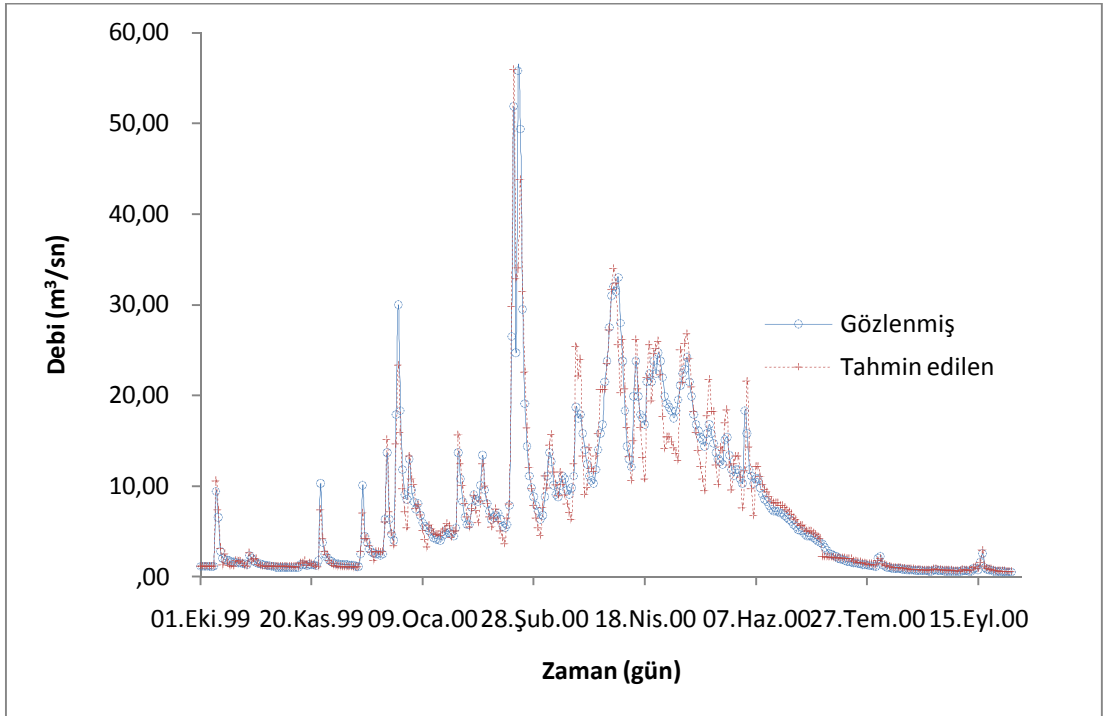
Ek 37. 1999 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



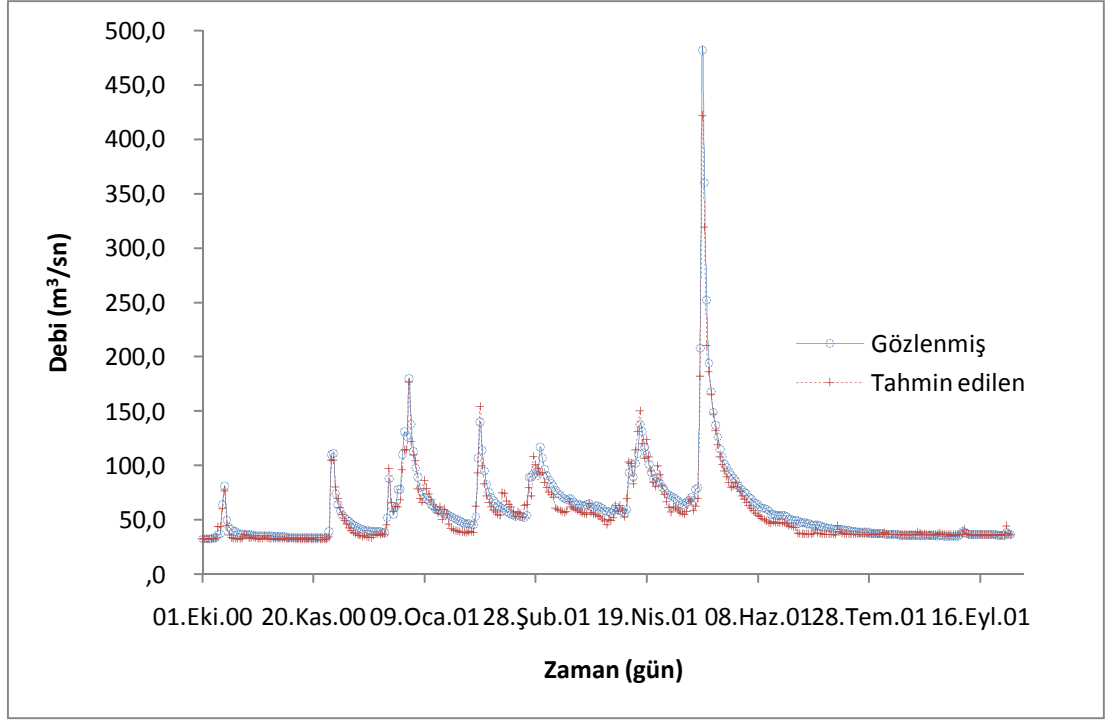
Ek 38. 1999 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



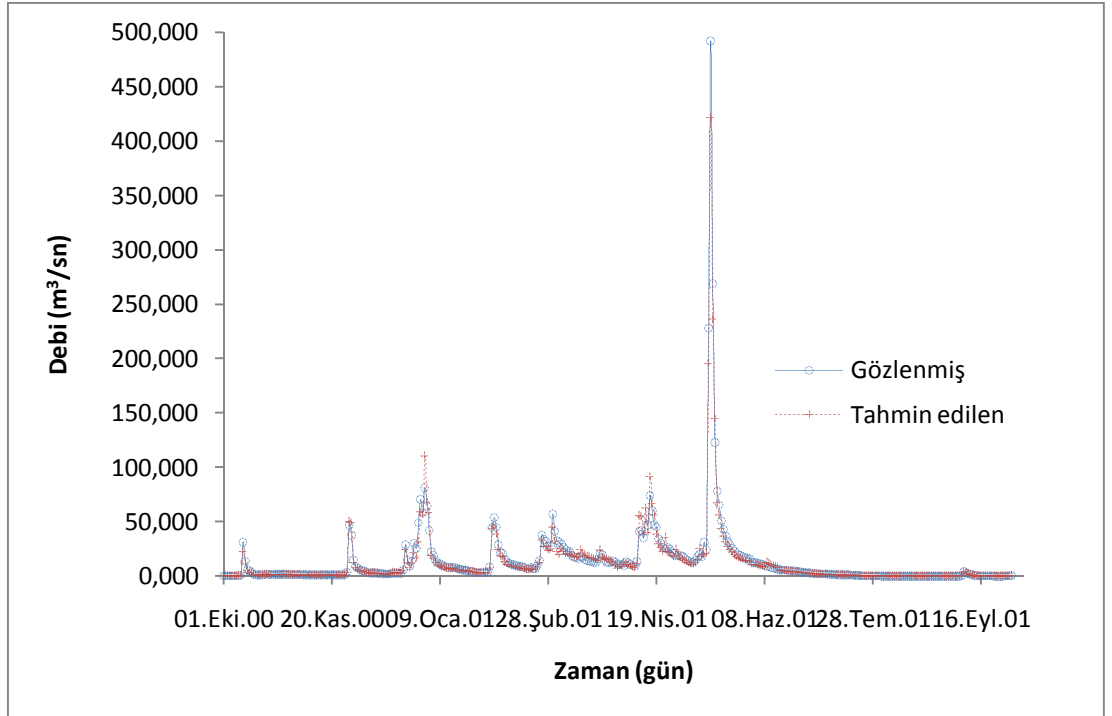
Ek 39. 2000 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



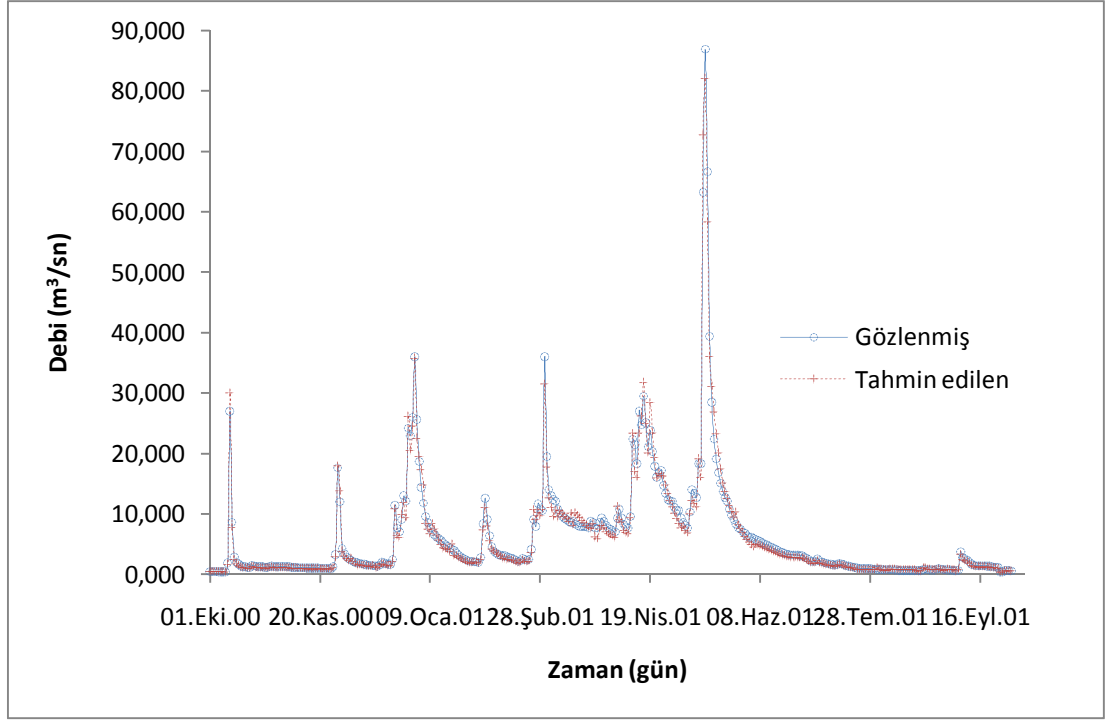
Ek 40. 2000 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



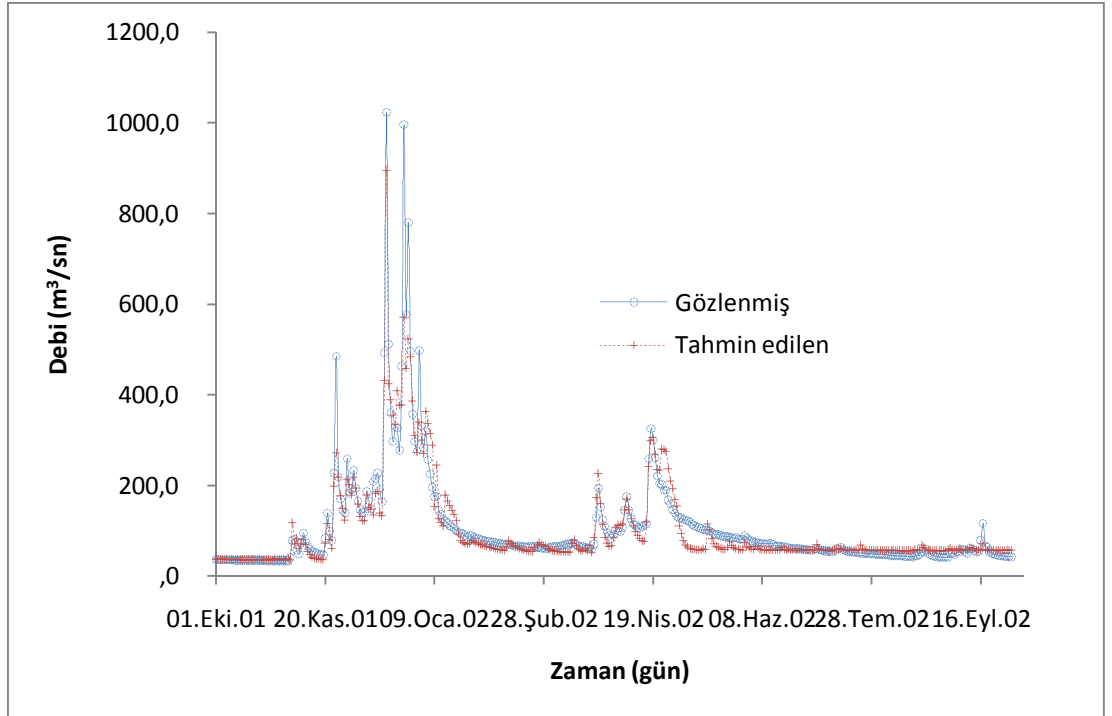
Ek 41. 2001 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



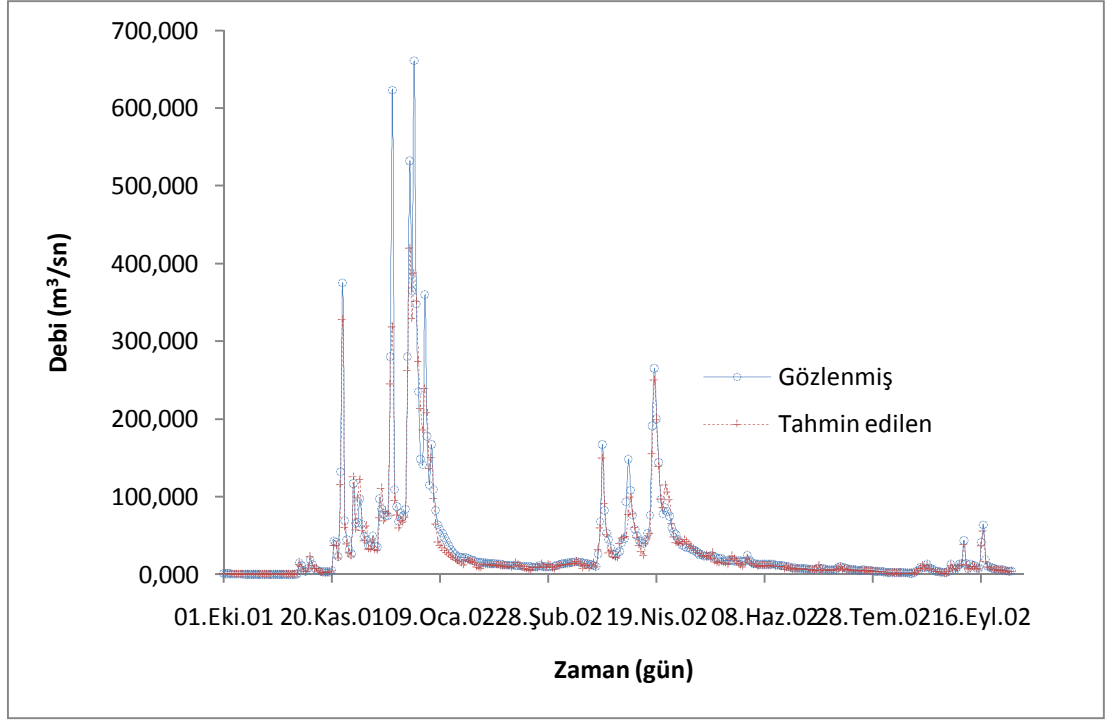
Ek 42. 2001 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



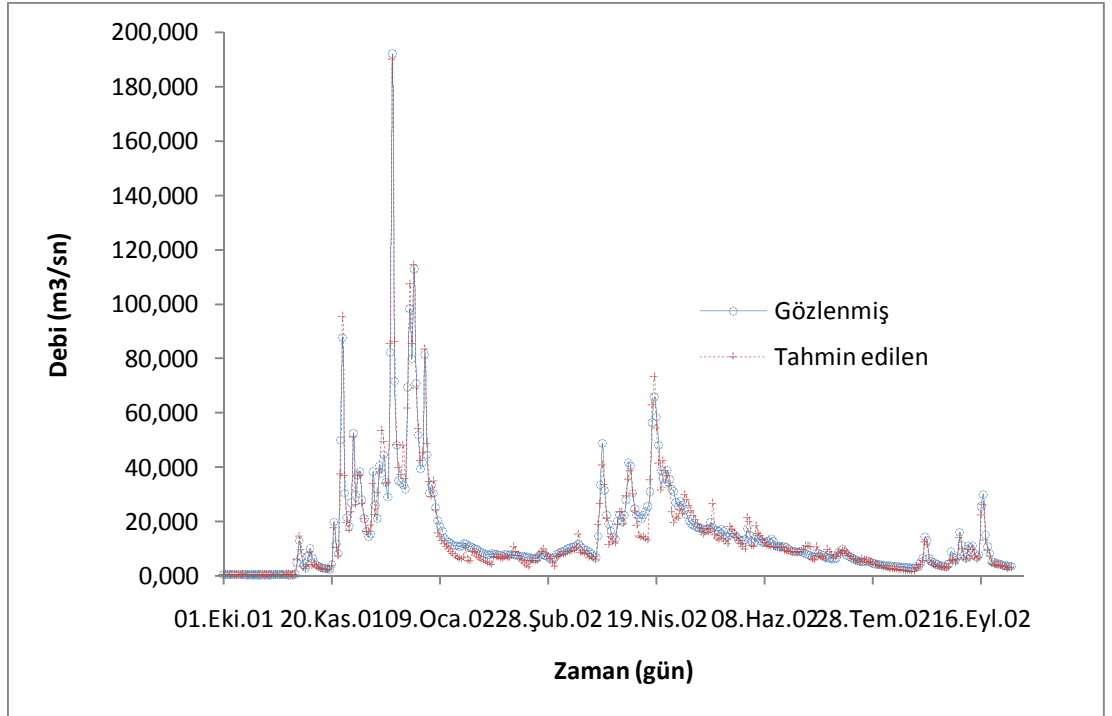
Ek 43. 2001 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



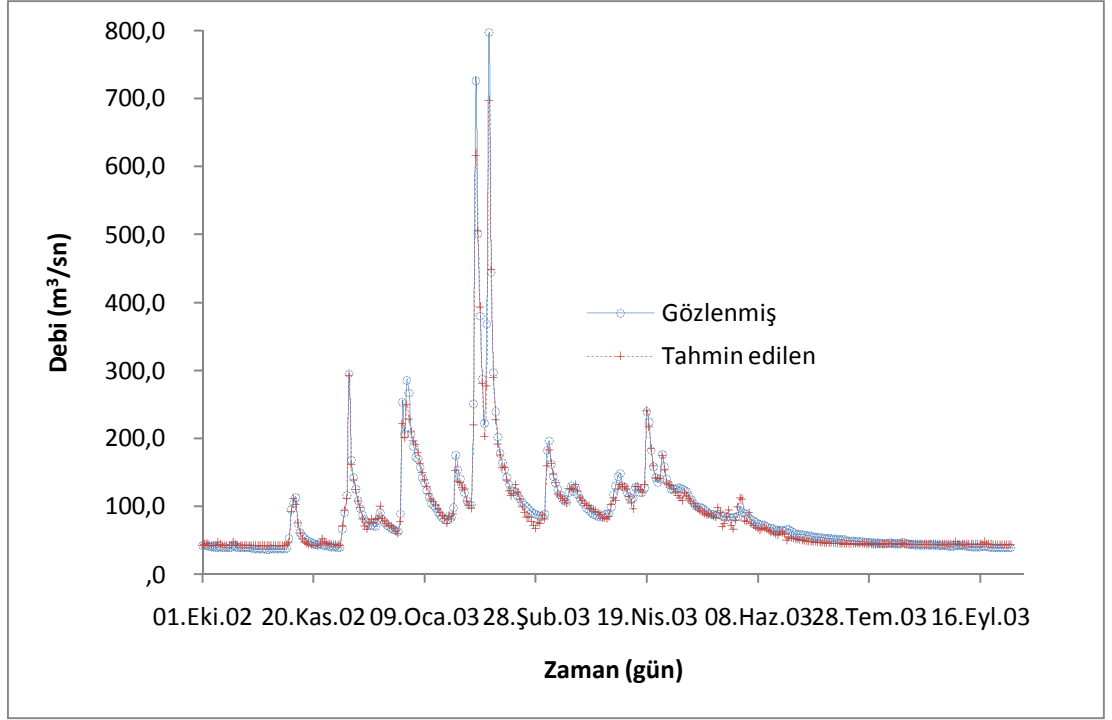
Ek 44. 2002 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



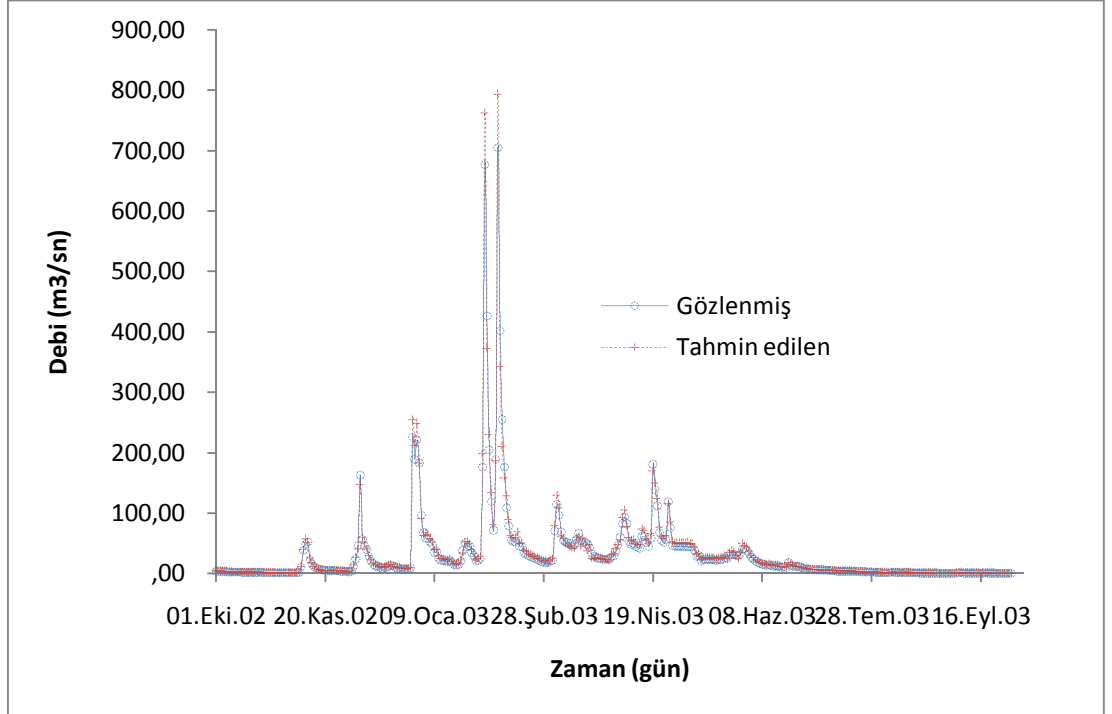
Ek 45. 2002 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



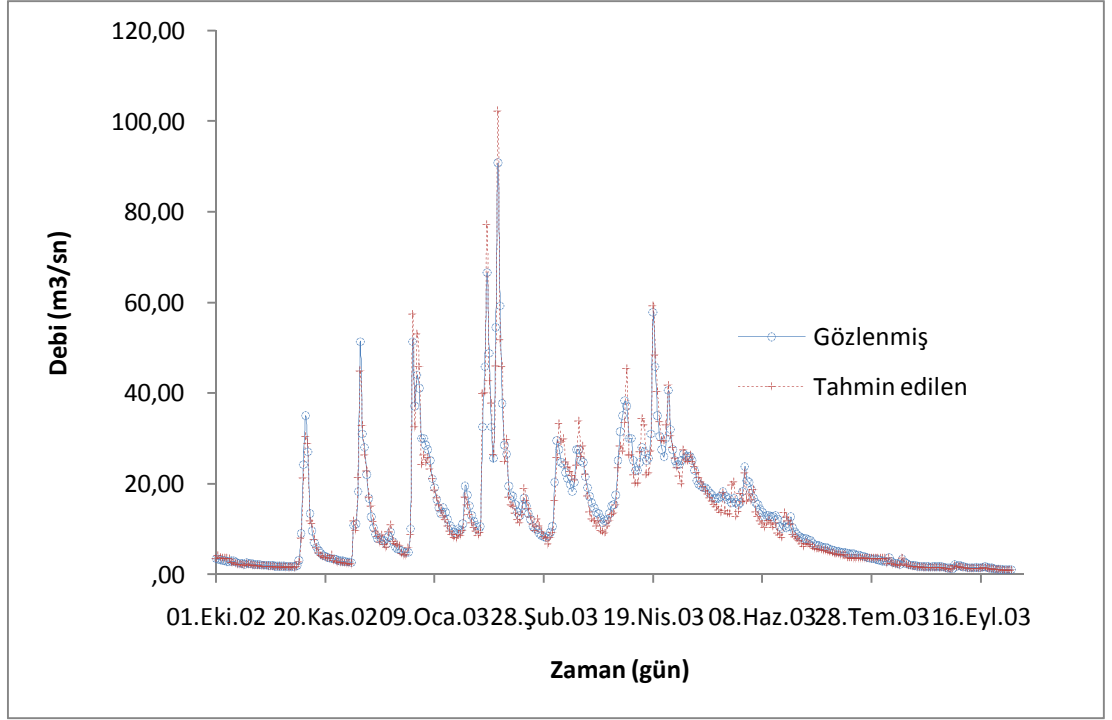
Ek 46. 2002 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



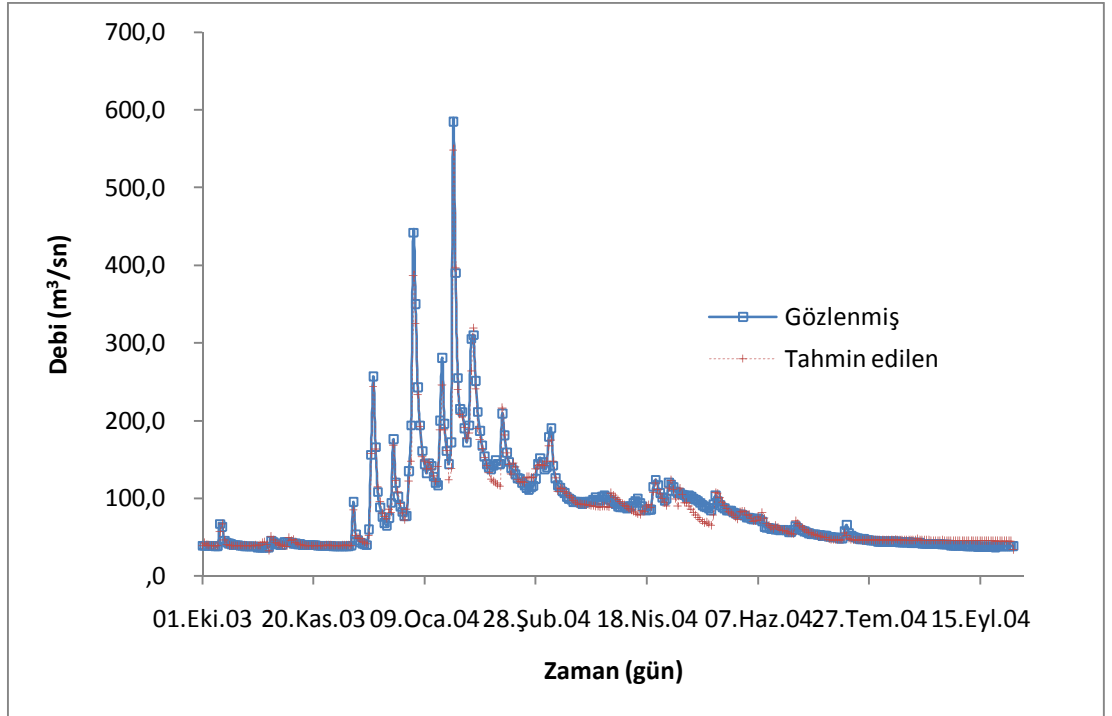
Ek 47. 2003 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



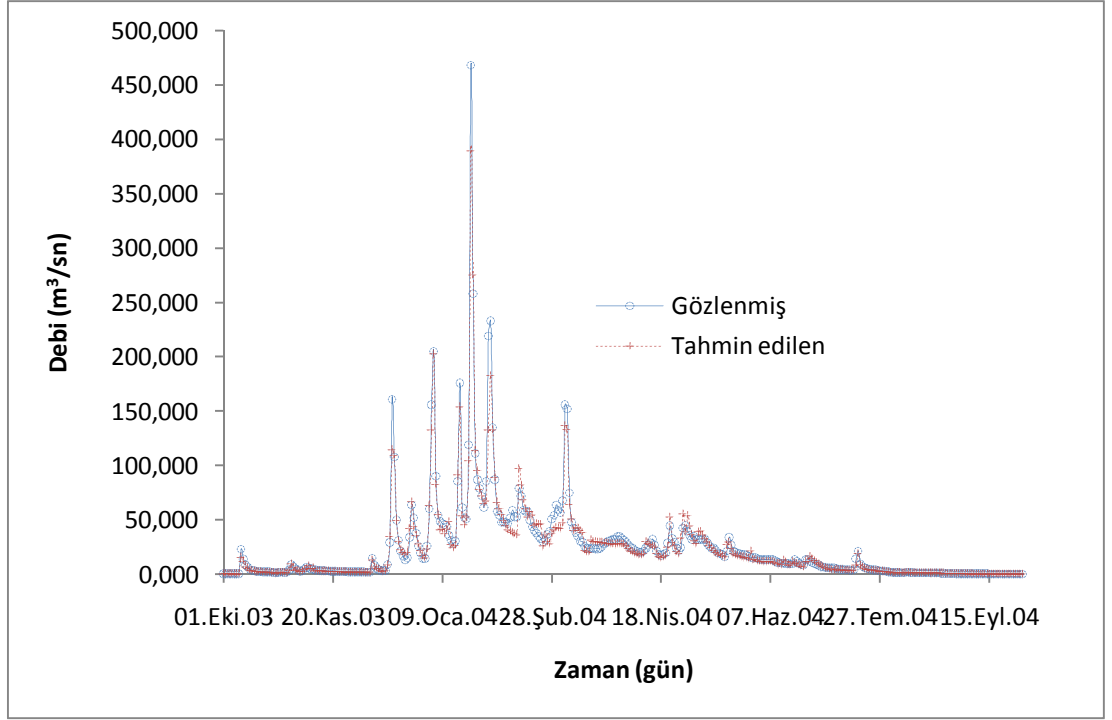
Ek 48. 2003 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



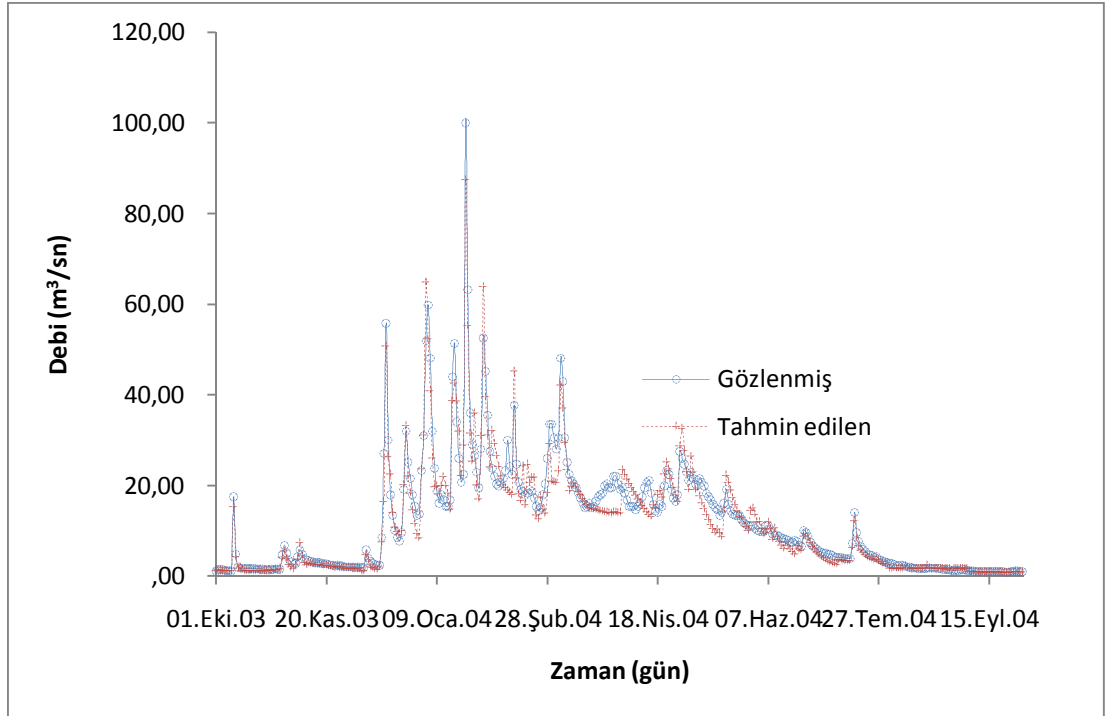
Ek 49. 2003 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



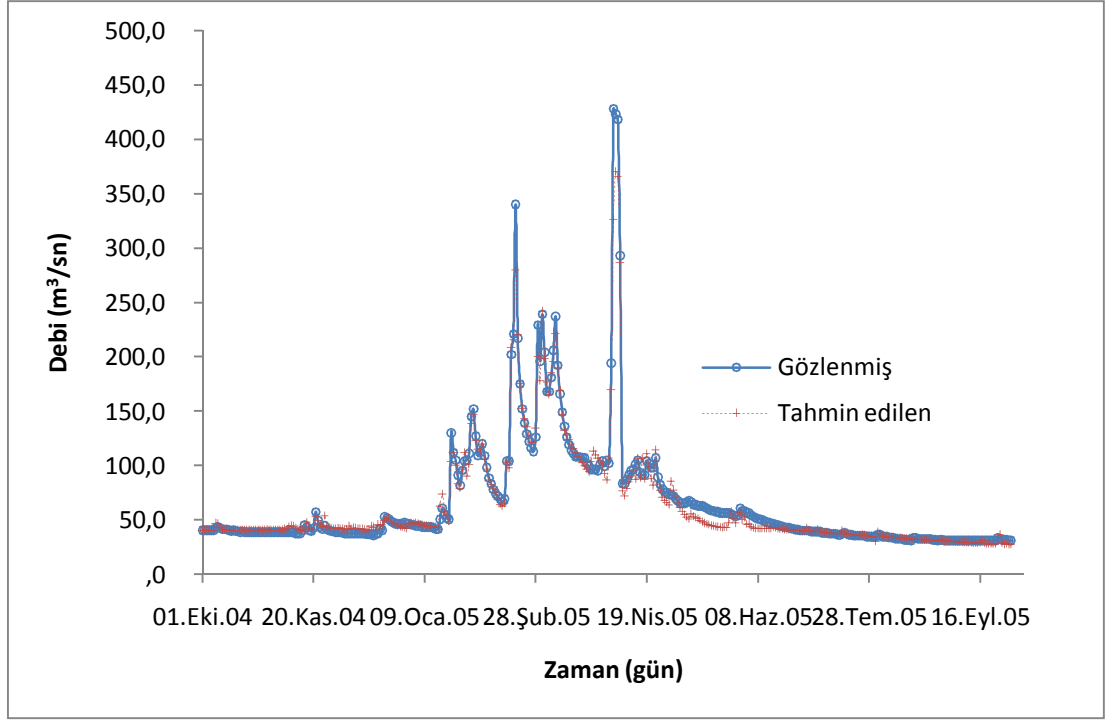
Ek 50. 2004 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



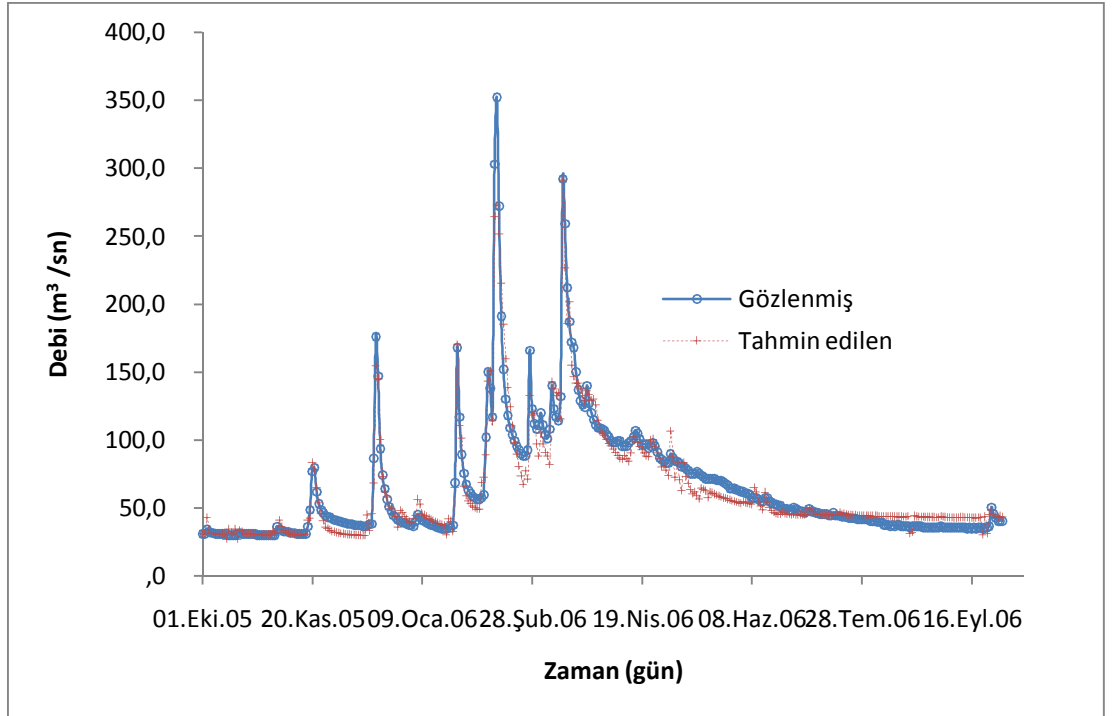
Ek 51. 2004 su yılı Bolosan gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Ek 52. 2004 su yılı Kasımlar gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Ek 53. 2005 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları



Ek 54. 2006 su yılı Beşkonak gözlemlenmiş ve tahmin edilen akım hidrografları

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal Saplıoğlu

Doğum Yeri ve Yılı : Kastamonu, 02.04.1979

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kastamonu Abdurrahman Paşa Lisesi (1992-1995)

Lisans : Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (1996-2000)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Bölümü (2002-2005)

Çalıştığı Kurum (Yıl): Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi (2002- devam ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)

1. Saplıoğlu, K., Çimen, M., 2010, Taban akışı ayırımı için yeni bir yöntem, e-Journal of new world sciences academy, vol 5, number 4, 580-589
2. Saplıoğlu K., Çimen M. 2010, Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Cilt:1 Sayı:1 s.14-21, Isparta.
3. Çimen, M., ve Saplıoğlu, K., 2003. Akarsu Çekilme Analizi, 1. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 22-26 Eylül, İzmir, 565-573.
4. Çimen, M., ve Saplıoğlu, K., 2004. Akarsu Çekilme Sabitlerinin Belirlenmesi İçin Bir Bilgisayar Programı, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, 15-17 Nisan, İstanbul, 278-280.
5. Çimen, M. ve Saplıoğlu, K. 2004. Taban Akışı Ayırımı İçin Bir Yöntem, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 23-25 Haziran, İstanbul, 355-362.
6. Saplıoğlu, K. ve Çimen, M. 2005. Akarsu Çekilme Katsayılarının Belirlenmesi İçin Bir Yöntem, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül, Antalya, II. Cilt, 8-14.
7. Türktemiz B., Saplıoğlu K., Çimen M., 2008 Akarsu Akımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini :Köprüçay Örneği, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 19-21 Haziran, Isparta, Türkiye, 204-208
8. Saplıoğlu K., Çimen M., 2008 Aylık Sediment Yükünün YSA ile Tahmini: Köprüçay Nehri Beşkonak İstasyonu Örneği, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 19-21 Haziran, Isparta, Türkiye, 209-213



9. Çimen, M. ve Saplıoğlu, K. 2004. A Procedure for Separation of Baseflow, Conference of Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS), 25-29 May, Ohrid, FY Republic of Macedonia, 402.
10. Keskin, M. E., Yılmaz, A. G., Taylan, E.D., Saplıoğlu, K., 2006, Türkiye'nin Su Potansiyeli, The III. International Scientific and Practical Conference, Baku, 6-7 July.
11. Çimen, M. ve Saplıoğlu, K. 2007. Streamflow forecasting by Fuzzy Logic method, International Congress:River Basin Mangement, Vol. II, 22-24 March, Antalya, Turkey, 612-620.
12. Saplıoğlu K., Çimen M., 2009'Predicting of Daily Precipitattin Using Artificial Neural Network', International Symposium On Engineering And Architectural Sciences Of Balkan, Caucasus And Turkic Republics" in Isparta, TURKEY on October 22-24.
13. Saplioglu K., Cimen M., Akman B., 2010, Daily precipitation prediction using by artificial neural network in Isparta station, Balwois, Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29 May -749 p.p 1-8
14. Kuzugudenli E., Ozkan K.,Saplioglu K., 2010, The effects of water resource on riparian forest growth, Balwois - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29, May -622 p.p 1-6