

**HİDROLOJİK HAVZALARDA TOPOGRAFİK İNDEKS MODELİ
(TOPMODEL) VE HİDROLOJİK MÜHENDİSLİK MODELİ (HEC-HMS)
KULLANILARAK YAĞIŞ-AKIM İLİŞKİSİNİN MODELLENMESİ**

Gözde Nisan AYCI

Yüksek Lisans Tezi

Hidrolik Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2020

ÖZET

HİDROLOJİK HAVZALARDA TOPOGRAFIK İNDEKS MODELİ (TOPMODEL) VE HİDROLOJİK MÜHENDİSLİK MODELİ (HEC-HMS) KULLANILARAK YAĞIŞ-AKIM İLİŞKİSİNİN MODELLENMESİ

Gözde Nisan AYCI

Hidrolik Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2020

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Su doğada sürekli bir döngü içerisinde. Yağış-akış süreci bu döngünün önemli bir kısmını oluşturur. Yağışlardan meydana gelen akışın tahmini su kaynaklarının projelendirilmesinde etkin bir rol oynar. Havza, üzerine gelen yağış akışa dönüştüren bir sistemdir. Havzada meydana gelen fiziksel olaylar (yağış, akış, buharlaşma vb.) hakkında bilgi toplanabilir. Günümüz teknolojisi yağış-akış, sıcaklık vb. hidro-meteorolojik verilerin ölçülmesine imkan sağlamaktadır. Hidrolojik model kurularak ölçülen verilerden parametre ve bazı fonksiyonlar kullanılarak belirli bir zaman aralığı belirlenerek gerçeğe yakın bir benzetim ile modelleme yapılmaktadır. Bu çalışmada Kurukavak deresi havzasında 1987-1991 yılları arasında gözlenen günlük veriler tümsel bir model olan HEC-HMS ve yarı dağılımlı bir model olan TOPMODEL kullanılarak yağış ve akım ilişkisinin modelleme çalışması yapılmıştır.

Her iki modelin performansını ölçmek için NSE kullanılmıştır. HEC için kalibrasyon NSE değeri 0,60-0,96, validasyon 0,69-0,82 aralığındadır. Diğer taraftan TOPMODEL ile yapılan modelleme sonucunda kalibrasyon 0,67-0,96, validasyon 0,78-0,99 aralığındadır. Sonuç olarak her iki modelde de başarılı sonuçlar elde edilmiş ve havza uygun bir şekilde temsil edilmiştir. Ama sonuçlar dikkatle incelendiğinde TOPMODEL'in HEC-HMS modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: TOPMODEL, HEC-HMS, Kurukavak havzası, Yağış-akış modellemesi, Günlük modelleme.

ABSTRACT

MODELING OF RAINFALL-RUNOFF RELATIONSHIP BY USING TOPOGRAPHIC INDEX MODEL (TOPMODEL) AND HYDROLOGICAL ENGINEERING MODEL (HEC-HMS) IN HYDROLOGICAL BASINS

Gözde Nisan AYCI

Department of Hydraulic

Programme in Civil Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2020

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Water is in a cycle in nature. Rainfall-runoff process forms an important part of this cycle. It plays an active role in the design of the estimated water resources of the flow from precipitation. asin is a system that converts precipitation into flow. Information about physical events (precipitation, flow, evaporation, etc.) occurring in the basin can be collected. Today's technology (rainfall-runoff, temperature, etc.) enables the measurement of hydrometeorological data. A specific time interval is determined by using parameters and some functions from the data measured by establishing a hydrological model and modeling is carried out with a realistic simulation. In this study, Daily data observed between 1987-1991 in the basin of Kurukavak stream were modeled using HEC-HMS, a lumped model, and TOPMODEL, a semi-distributed model.

NSE (Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient) was used to measure the performance of both models. The calibration NSE value for HEC is in the range of 0.60-0.96, validation in the range of 0.69-0.82. On the other hand, as a result of modeling with TOPMODEL, calibration is between 0.67-0.96 and validation is between 0.78-0.99. As a result, successful results were obtained in both models and they were properly represented in the basin. However, when the results were analyzed carefully, it was seen that TOPMODEL gave more successful results than the HEC-HMS model.

Keywords: TOPMODEL, HEC-HMS, Kurukavak Basin, Rainfall-Runoff Modelling,
Daily modelling.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana karşı yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa TOMBUL'a, tez çalışmam boyunca beni yönlendiren ve bilgisini esirgemeyen arkadaşım İnş. Müh. Nihal ALTUN'a ve bugünlere ulaşmamda katkısı olan benden maddi ve manevi desteğini hiç kesmeyen ablam Özge AYCI başta olmak üzere değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yaptığım ve yapacağım bütün çalışmalar geleceğe ışık tutmak ve refah içinde bir toplum olmaya katkı sağlamak içindir. Daha mutlu ve daha güzel bir gelecek temenni ediyor ve bu yaptığım bu çalışmayı yeğenim Yılmaz ERDOĞAN'a armağan ediyorum. K. Atatürk'ün de dediği gibi "Küçük hanımlar, küçük beyler! Sizler hepiniz geleceğin bir gülü, yıldızı ve ikbal ışığısınız. Memleketi asıl ışığa boğacak olan sizsiniz. Kendinizin ne kadar önemli, değerli olduğunuzu düşünerek ona göre çalışınız. Sizlerden çok şey bekliyoruz."

Gözde Nisan AYCI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gözde Nisan AYCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	2
1.2. Çalışmanın Amacı	4
2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER.....	5
2.1. Kurukavak Deresi Havzası	5
2.2. Hidro-meteorolojik Veriler	7
3. HEC-HMS MODELİ.....	12
3.1. Kayıp (Loss) Metodu.....	15
3.2. Dönüşüm (transform) Metodu	16
3.3. Taban (baseflow) Metodu	17
3.4. HEC-HMS Model Uygulaması	18
3.4.1. SCS-Eğri Numarası Kayıp Modeli	21
3.4.2. Clark Birim Hidrograf Yöntemi	23
3.4.3. Model Parametreleri Kalibrasyon ve Validasyon	24
4. TOPMODEL	32
4.1. TOPMODEL Model Uygulaması	36

4.1.1. Model Parametreleri	38
4.1.2. Model Kalibrasyon ve Validasyonu	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKÇA.....	47
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Havza elemanları	14
Tablo 3.2. HEC-HMS model yazılımında yer alan kayıp (loss) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13)	16
Tablo 3.3. HEC-HMS model yazılımında yer alan dönüşüm (transform) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13).....	17
Tablo 3.4. HEC-HMS model yazılımında yer alan taban akım (baseflow) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13)	18
Tablo 3.5. Hidrolojik toprak grupları (Özdemir,2007)	22
Tablo 3.6. Arazi kullanımına bağlı olarak toprak gruplarının eğri numarası [13]	23
Tablo 3.7. Kayıp metoduna ait parametreler ve değerleri.....	25
Tablo 3.8. Dönüşüm metoduna ait parametreler ve değerleri.....	25
Tablo 3.9. Parametre aralıkları.....	26
Tablo 3.10. Validasyon parametreleri.....	29
Tablo 3.11. Kalibrasyon sonuçları	31
Tablo 3.12. Validasyon sonuçları.....	31
Tablo 4.1. Modelde kullanılan parametreler	38
Tablo 4.2. Kalibre edilen parametreler	39
Tablo 4.3. Parametre aralıkları.....	39
Tablo 4.4. Validasyonda seçilen model parametreleri	42
Tablo 4.5. Kalibrasyon sonuçları	44
Tablo 4.6. Validasyon sonuçları.....	44
Tablo 5.1. Kalibrasyon ve validasyon sonuçları	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Havzanın uydu üzerinden görüntüsü (Yandex,2020).....	5
Şekil 2.2. Havza karakteristikleri	5
Şekil 2.3. Havzanın toprak haritası.....	6
Şekil 2.4. Havzanın arazi kullanım haritası	7
Şekil 2.5. 1987 Ekim ayına ait yağış-akış verisi.....	8
Şekil 2.6. 1987 Kasım ayına ait yağış-akış verisi.....	8
Şekil 2.7. 1988 Temmuz ayına ait yağış-akış verisi	9
Şekil 2.8. 1989 Ekim ayına ait yağış-akış verisi.....	9
Şekil 2.9. 1989 Kasım ayına ait yağış-akış verisi.....	10
Şekil 2.10. 1990 Mayıs ayına ait yağış-akış verileri.....	10
Şekil 2.11. 1991 Mayıs ayına ait yağış-akış verisi	11
Şekil 2.12. 1991 Nisan ayına ait yağış-akış verisi.....	11
Şekil 2.13. 1991 Temmuz ayına ait yağış-akış verisi	12
Şekil 3.1. HEC-HMS program arayüzü.....	13
Şekil 3.2. Yazılımın bileşenleri	14
Şekil 3.3. HEC-HMS ile Kurukavak havzasının yapısı.....	18
Şekil 3.4. Alt havza program penceresi	19
Şekil 3.5. Kayıp parametreleri giriş ekranı	19
Şekil 3.6. Dönüşüm parametreleri giriş ekranı	19
Şekil 3.7. Modele ait kontrol özellikleri penceresi.....	20
Şekil 3.8. Model sonuç ekranı	20
Şekil 3.9. 1987 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi	26
Şekil 3.10. 1987 Kasım ayına ait kalibrasyon hidrografi	27
Şekil 3.11. 1989 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi	27
Şekil 3.12. 1990 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografi.....	28
Şekil 3.13. 1991 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografi.....	28
Şekil 3.14. 1991 Temmuz ayına ait kalibrasyon hidrografi	29
Şekil 3.15. 1988 Temmuz ayına ait validasyon hidrografi.....	30
Şekil 3.16. 1989 Kasım ayına ait validasyon hidrografi.....	30
Şekil 3.17. 1991 Nisan ayına ait validasyon hidrografi.....	31
Şekil 4.1. TOPMODEL temel konsepti (düzenlemiş [14])	32

Şekil 4.2. TOPMODEL akım süreçlerinin şematik gösterimi (Beven vd.,1984).....	33
Şekil 4.3. Kurukavak havzası için topografik indeks dağılımı.....	34
Şekil 4.4. Programı oluşturan dosyalar.....	37
Şekil 4.5. Parametre giriş dosyası.....	37
Şekil 4.6. Program komut satırı	38
Şekil 4.7. 1987 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi	39
Şekil 4.8. 1987 Kasım ayına ait kalibrasyon hidrografi	40
Şekil 4.9. 1989 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi	40
Şekil 4.10. 1990 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografi.....	41
Şekil 4.11. 1991 Mayıs ayına at kalibrasyon hidrografi.....	41
Şekil 4.12. 1991 Temmuz ayına ait kalibrasyon hidrografi	42
Şekil 4.13. 1988 Temmuz ayına ait validasyon hidrografi	43
Şekil 4.14. 1989 Kasım ayına ait validasyon hidrografi.....	43
Şekil 4.15. 1991 Nisan ayına ait validasyon hidrografi.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

HEC-HMS	: Hidrolojik Mühendislik Modeli
TOPMODEL	: Topographic Index Model (Topografik İndeks Modeli)
SCS	: Soil Conservation Service (Zemin Koruma Servisi)
CN	: Curve Number (Eğri Numarası)
NSE	: Nash Sutcliffe Efficiency:
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
NOF	: Normalized Objective Function
EF	: Modeling Efficiency

1. GİRİŞ

Su yaşamın kaynağı olarak tanımlandığından dünya tarihi boyunca oldukça önemli bir yere sahiptir. İnsanlar tarihin ilk çağlarından itibaren yaşamlarını suya göre şekillendirmişler. Su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ve ihtiyaçlarının yeterli düzeyde karşılanması için mücadele vermişlerdir. Günümüzde sıcaklığın artması ve yavaş yavaş dünyanın küresel bir değişim içinde olmasından dolayı ve artan nüfus ile birlikte su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ihtiyacını doğmuştur.

Su yerkürede sürekli bir döngü içerisinde. Okyanuslardan buharlaşma ile atmosfere yükselen sular atmosferden yağış şeklinde tekrar yeryüzüne düşmektedir. Toprağa düşen su sızma ile yeraltına iner, sızamayan kısım ise tekrar yüzeysel akışla nehirlerle ve okyanuslara ulaşır. Bu çevrime de hidrolojik döngü adı verilmektedir. Mühendislik açısından hidrolojik su çevrimi önemli bir yere sahiptir. Yağış-akış süreci bu çevrimin büyük bir kısmını oluşturur. Yağışlardan meydana gelen akışın tahmini su kaynaklarının projelendirilmesinde rol oynar. Ayrıca su çevrimindeki yağış-akış sürecinin doğrudan etkileyen buharlaşma, sızma gibi birçok fiziksel olay da yer almaktadır. Bir havzaya düşen yağıştan kayıpların (sızma, buharlaşma vs.) çıkarılmasıyla geriye kalan kısım akışı oluşturmaktadır.

Havzada meydana gelen çevrim sonucu havzada gerçekleşen bu fiziksel olaylar hakkında veriler toplanabilir. Veriler toplanarak sürecin daha iyi anlaşılması sağlanmaktadır. Günümüz teknolojisi yağış-akış, sıcaklık vb. hidro-meteorolojik verilerin ölçülmesine imkan sağlamaktadır. Yağış için havzaya yerleştirilen yağış ölçerler ile veri bilgisi elde edilmektedir. Havzalara ait akım verileri, akım gözlem istasyonları ile ölçülmektedir. Hidrolojik model kurularak ölçülen verilerden parametre ve bazı fonksiyonlar kullanılarak belirli bir zaman aralığı dikkate alınarak gerçeğe yakın bir benzetim ile modelleme yapılmaktadır. Bir hidrolojik model, belirli bir çalışma alanı içerisinde belirli bir sorunu çözmeye yönelik olarak geliştirilmektedir. Model uygulamaları kendi içerisinde farklı zamansal ve mekânsal ölçeklerle sınırlanmaktadır (Yinping ve ark.2016). Hidrolojik modeller ile havza yapısını ve işleyişini, su yapı tasarımı ve tahmin gibi elde bulunan hidrolojik veriler kullanılarak (yağış-akış verileri vs.) yapılan hidrolojik çalışmalar suyun etkin bir şekilde kullanılmasına imkan sağlamıştır.

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte hidrolojik modelleme daha etkin ve doğru bir şekilde kullanılmaktadır. Bizlere sağladığı yararlar azımsanamayacak kadar çoktur.

Hidrolojik modeller:

- Depolama tesislerinin planlanması, işletilmesi, geliştirilme gibi konularda ihtiyaç duyulan verinin geleceğe yönelik tahmin edilmesi,
- Ölçüm verisi bulunmayan havzalarda hidrolojik verinin üretilmesi,
- Havzalardaki arazi kullanımı değişikliği, iklim değişikliği gibi değişimlerin havzaya etkisinin ortaya konulması,
- Hidroloji ve meteoroloji biliminin ortak çalışmasıyla Global İklim Modellerinin elde edilmesi amaçlarıyla kullanılmaktadır. (Wheater ve ark.,2007).

1.1. Literatür Çalışması

Tombul vd. [1] tarafından yapılan çalışmada Kurukavak havzasında yağış-akış ilişkisi geliştirilmiş TOPMODEL programı kullanılarak modelleme yapılmıştır. Çalışmada kalibre edilen parametreler; yüzey akış derinliği(Szm), yüzeyaltı akım bölgesi maksimum eksikliği (Smax), transfer katsayısı (xKo) dır. Modelin kalibrasyonu ve doğrulaması için 5 dakikalık yağış-akış verileri kullanılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan akım hidrografları arasında iyi bir benzerlik olduğu görülmüştür. Modelin su kaynakları planlanmasında, yönetiminde ve hidrolojik verilerin tahmini ve değerlendirilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

Chu vd. [2] tarafından yapılan çalışmada hidrolojik havza ele alınarak olay ve devam eden hidrolojik modelleme yapılmıştır. SCS-CN olay ve SMA sürekli modeli kullanılarak olay modellemesinde 5 dakikalık veriler seçilmiştir. Tüm alt havzalar için SCS-CN kayıp metodu, Clark dönüşüm metodu ve durgunluk baseflow metodu kullanılmıştır. NOF ve EF yöntemleriyle uyum değerlendirilmiş ve hem olay hem de sürekli simülasyonlarda simüle edilmiş ve gözlenen akışlar arasında uyumun iyi olduğu görülmüştür.

Razi vd. [3] tarafından yapılan çalışmada analiz sonuçları HEC-HMS'nin eksik veri üretmek ve yağış verilerinin taşkın tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Gumindoga vd. [4] tarafından yapılan çalışmada hidro-meteorolojik verilere dayanarak Zimbabwe'nin üst Save Nehri havzasının akışını simüle etmek için bir yağış akış modeli olan TOPMODEL kullanılmıştır.

Modelin duyarlılık analizi sonucunda en kritik parametrelerin şunlar olduğu görülmüştür: toprak hidrolik iletkenlik bozulma parametresi(m), doygunluktaki toprak geçirgenliği (To) ve mevcut kök bölgesi su kapasitesi (SR_{max}).

Gebre [5] tarafından yapılan çalışmada iki farklı hidrolojik modelin(HEC-HMS ve TOPMODEL), küçük bir Macar havzasında uygulanabilirliği ve performansı test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. HEC-HMS modelinin çok sayıda parametresi nedeniyle uygulanması zor olduğu ve performansının tatmin edici olmadığı görülmüştür. TOPMODEL daha az hassas parametreye sahip ve uygulama bakımında daha kolay görülmüştür ve küçük havzalarda akışı tahmin etmede daha başarılı bulunmuştur.

Torma vd. [6] tarafından yapılan çalışmada modelleme için HEC-HMS ile toprak nemi kayıp metodu, Clark birim hidrograf dönüşüm metodu ve recession taban akımı yöntemi kullanılmıştır. Uzun süreli günlük yağış kullanılarak kalibre edilmiş parametrelere sahip model havza çıkışında akımı tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada HEC-HMS ile tropikal havzalarda akış tahmininin başarılı bir şekilde yapılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sampath vd. [7] tarafından yapılan çalışmada günlük veriler modelleme için kullanılmıştır. Kayıp metodu olarak the deficit and constant, dönüşüm metodu olarak Synder birim hidrografi ve exponential recession metodu kullanılarak modelleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tatmin edici bulunmuştur ve hidrolojik süreç olarak en uygun yöntemler olduğu öne sürülmüştür.

Gumindoga vd. [8] tarafından yapılan çalışmada model parametrelerini tahmin etmek için uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi teknikleri kullanılmıştır. Veri olmayan havza simülasyonları için kayıp metodu olarak deficit and constant kayıp metod, dönüşüm metodu olarak da Snyder birim hidrograf yöntemi kullanılmıştır. Model kullanılarak oluşturulan hidrograflar mükemmel olmasa da CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile havzanın su kaynakları değerlendirmesi için önemli bilgiler elde edilmiştir.

Rogelis vd. [9] tarafından yapılan çalışmada dağılımlı bir model (TETIS), yarı dağılımlı bir model (TOPMODEL) ve tümsel bir model (HEC-HMS toprak nemi muhasebesi) tropikal yüksek dağ havzasının deşarj tepkisini simüle etmek için kullanılmıştır. Sonuçlara göre TOPMODEL'in diğer modellere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bora vd. [10] tarafından yapılan çalışmada belirli zamanlarda gözlenmiş pik taşkın debileri HEC-HMS ile simüle edilmiştir. Modelde kayıp metodu olarak SCS-Eğri Numarası yöntemi, dönüşüm metodu olarak SCS birim hidrograf ve taban akımı metodu olarak da recession kullanılmıştır. Kalibrasyon ve validasyon işlemleri süreçlerinde model tarafından simule edilmiş ve gözlenmiş taşkın hidrografları arasındaki uyum güvenç havzası için oluşturulan taşkın modelin bu alandaki taşkın riskini değerlendirmek için kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Mesta vd. [11] tarafından yapılan çalışmada ölçülmüş olan günlük yağış ve sıcaklık verileri ile günlük akış verileri toplanarak model kurulmuş kalibrasyon ve doğrulaması yapılmıştır. Modelde SCS-CN yöntemi kullanılmıştır. Nash-Stucliffe Etkinlik Katsayısı (NSE) modelin iyi bir performansta çalıştığını göstermiştir. Modelde iki alt havza için model performansı yeterince iyi bulunamamıştır. Modelde alt havza ile ilgili yeni veriler eklenerek alt havza performansının iyileştirilmesi gerektiği düşünülmüştür.

Akay vd. [12] tarafından yapılan çalışmada Arıt havzasının yağış-akış ilişkisi HEC-HMS modeli kullanılarak incelenmiştir. Havzada etkili yağış, SCS-Eğri numarası yöntemi ile hesaplanmıştır. Etkili yağıştan akışa dönüşüm için Clark birim hidrografi ve kullanıcı tarafından belirlenmiş Nash hidrograf yöntemleri seçilmiştir. Model sonuçlarına göre Nash anlık birim hidrografi yönteminin Clark birim hidrografi yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kalibrasyon sonucunda Clark yönteminin dolaysız akış tahminini belirgin olarak değiştirmedeği görülmüştür. Nash yönteminin daha zahmetli olsa da daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Clark yönteminde etkili olan parametreler kalibre edildiğinde sonuçların eğri numarasına duyarlı olduğu görülmüştür. Clark birim hidrografi yöntemi hidrolojik parametrelerinin değişmesinin NSE üzerinde etki yaratmadığı görülmüştür.

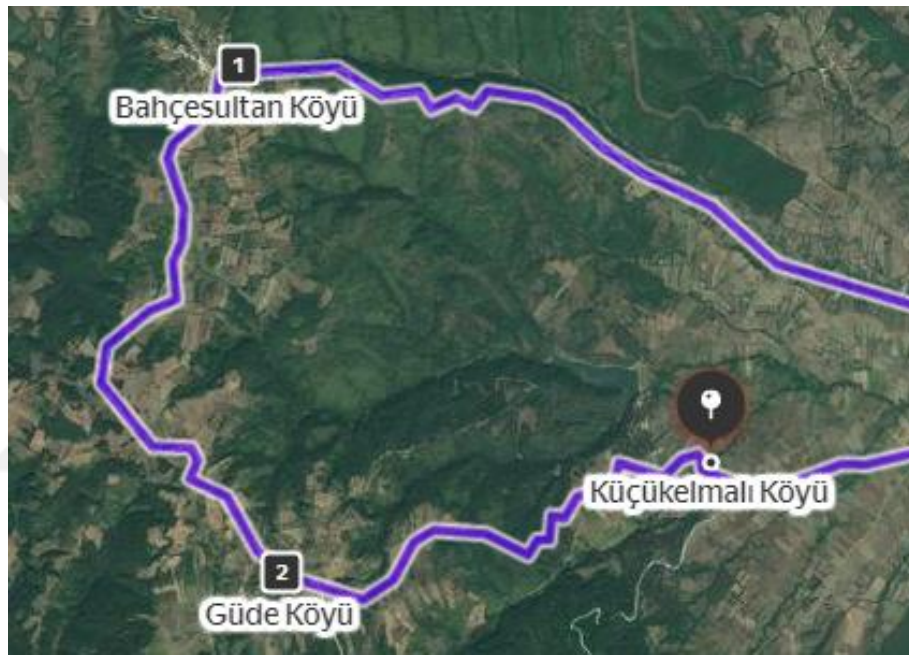
1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada derlenen makaleler ışığında yarı dağılımlı model (TOPMODEL) ve tümsel model (HEC-HMS) hidrolojik modellerinin eldeki günlük yağış-akış verileri kullanılarak Bilecik ili, Pazaryeri ilçesi sınırları içerisinde yer alan Kurukavak deresi havzasına uygulanması ve günlük olarak kurulan model sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

2.1. Kurukavak Deresi Havzası

Kurukavak Deresi Havzası, Bilecik İli'nin Pazaryeri ilçesine bağlı Küçükelmalı, Güde ve Bahçesultan köyleri sınırları içerisinde (Şekil 2.1.) Pazaryeri ilçesinin batısında yer alan havza, Pazaryeri'ne 7 km, Bilecik'e 37 km uzaklıktadır. Havza çıkış yerinin deniz seviyesinden yüksekliği 830 m'dir. Havza 40°01' kuzey enlem ve 29°47' doğu boylamındadır ve 4.25 km² drenaj alanına sahiptir (Tombul 2004).



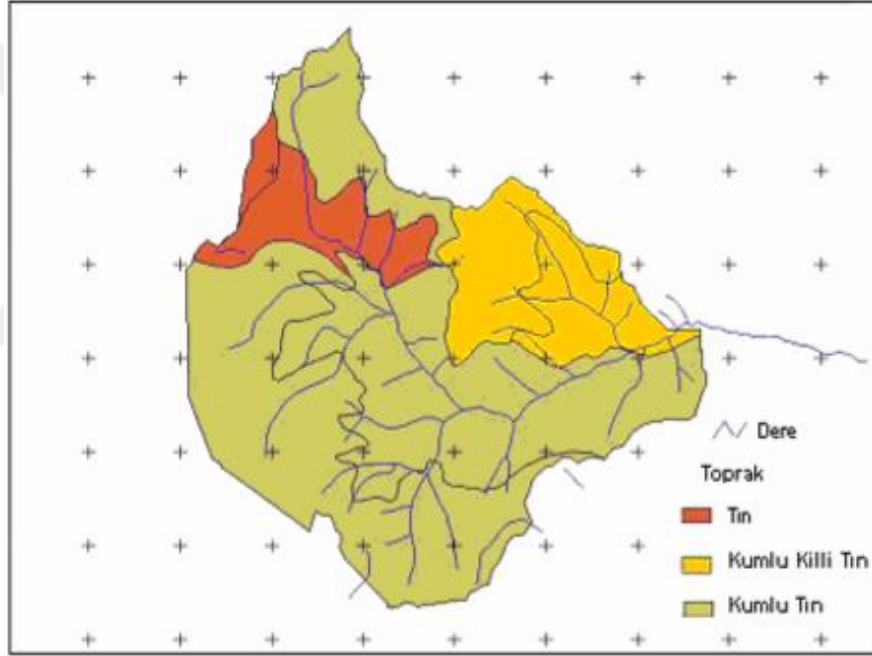
Şekil 2.1. Havzanın uydu üzerinden görüntüsü (Yandex,2020)

Havza Alanı	Havza Maksimum Yükseklik	Havza Minimum Yükseklik	Ortalama Eğim	Ana Su Yolları Uzunluğu	Toplam Su Yolları Uzunluğu
4.25 km ²	1076 m	830 m	%26.6	3750 m	15250 m

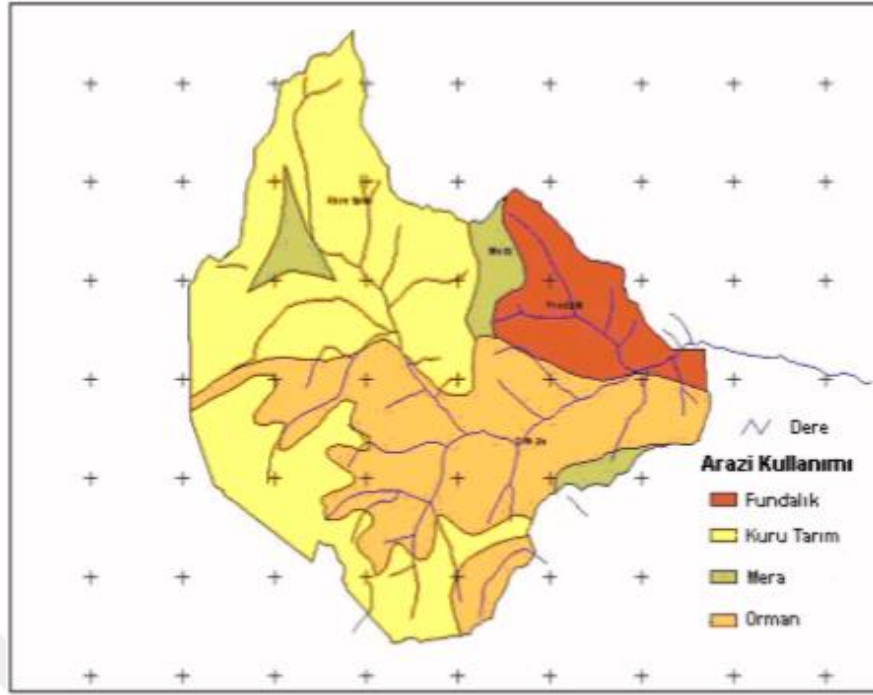
Şekil 2.2. Havza karakteristikleri

Havzada Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Eskişehir Araştırma Enstitüsü tarafından 1987 ve 1991 yılları arasında akım ve yağış verisi toplanmıştır. Havza toprakları sıg (20-50 cm) ve çok sıg (0-20 cm) toprak derinliğine sahip, orta ve şiddetli erozyona maruz kalmaktadır.

Zemin içerisinde kum oranı belirtilen orandan fazla olan زمینler kumlu tın, kum ve kil miktarı belirtilen oranlardan fazla olan زمینler ise kumlu tın ismini alır. Havza toprakları kumlu tın, kumlu killi tın ve tınlı bünyeye sahiptirler (Tombul,2004). Eğim havzada çok değişkenlik göstermekte olup hafif(%0-2) ile sarp(>%30) olan bu araziler fundalık, orman, mera ve kuru tarım alanı olarak kullanılmaktadır(Tombul,2004).



Şekil 2.3. Havzanın toprak haritası



Şekil 2.4. Havzanın arazi kullanım haritası

Verilen bu toprak ve eğim bilgilerinden yola çıkılarak havzayla ilgili daha doğru tahminler yapılabilmektedir. Toprak derinliği havzanın doygunluğuyla yakından ilişkilidir. Toprak derinliğinin sık olması durumunda suya doygunluk daha çabuk bir şekilde olur. Eğimin fazla olması yüzey akışıyla ilgili tahminler yapılabilmesine yol açar. Eğimdeki fazlalık suyun toprakta tutunamayıp akışa geçmesine sebep olmaktadır.

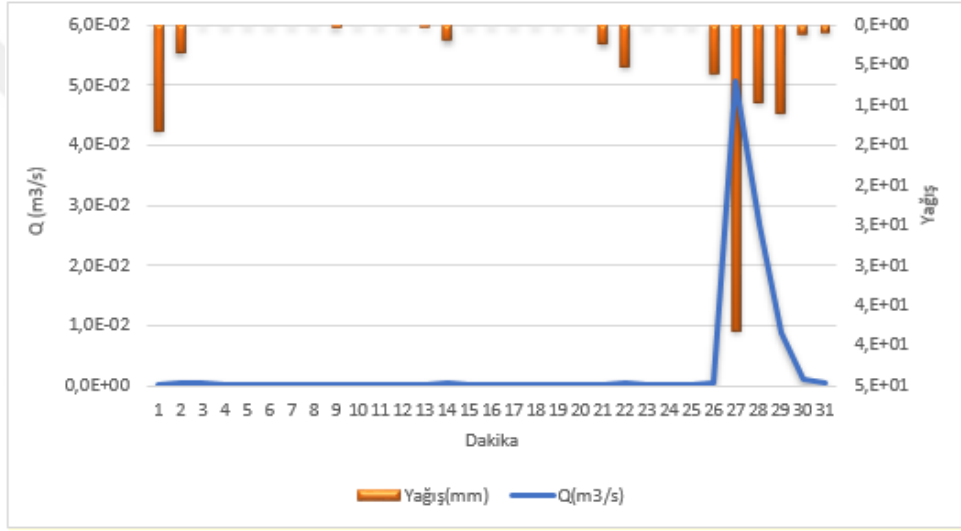
Havzada Karadeniz ve Marmara Bölgesi iklimleri hakim olup su kaynağını sadece yağışlar oluşturmaktadır. En düşük sıcaklıklara aralık ve mart aylarında rastlanır. En fazla yağış alan aylar ise eylül, ekim, kasım, aralık ve ocak aylarıdır (Oğul,2006).

2.2. Hidro-meteorolojik Veriler

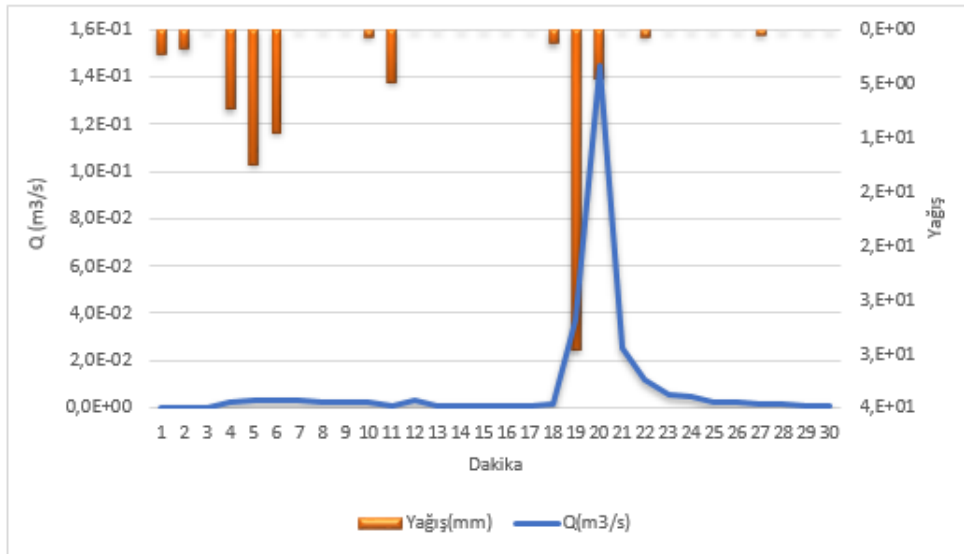
Hidrolojik bir model üretmek için hidro-meteorolojik verilere ihtiyaç vardır. Verilerin kalitesi ve doğruluğu modellemenin başarısının anahtarıdır. Bu veriler suyun durumunun tahminini gerektiren her türlü çalışmada kilit rol oynar. Veriler bilindiği üzere ölçüm istasyonlarında kaydedilir. Daha sonra akarsu kolları üzerinde kurulan akım gözlem istasyonlarında akım miktarının ölçümü yapılır. Küçük havzalarda genellikle havza çıkışına yerleştirilirler.

Modellemeler genellikle olay bazlı veya sürekli bazlı modelleme şeklinde gerçekleştirilirler. Olay bazlı modellemede ele alınan model aralığı sürekli modellemeye göre daha kısadır ve belirli bir durumu ele alır (ör. taşkın olayı). Yağışı başlangıç olarak kabul eder ve yağış olayının bitmesiyle model sonlanır. Sürekli modellemede ise durum yağışlı olup olmadığına bakılmaksızın bütün sürecin modellemesi yapılır.

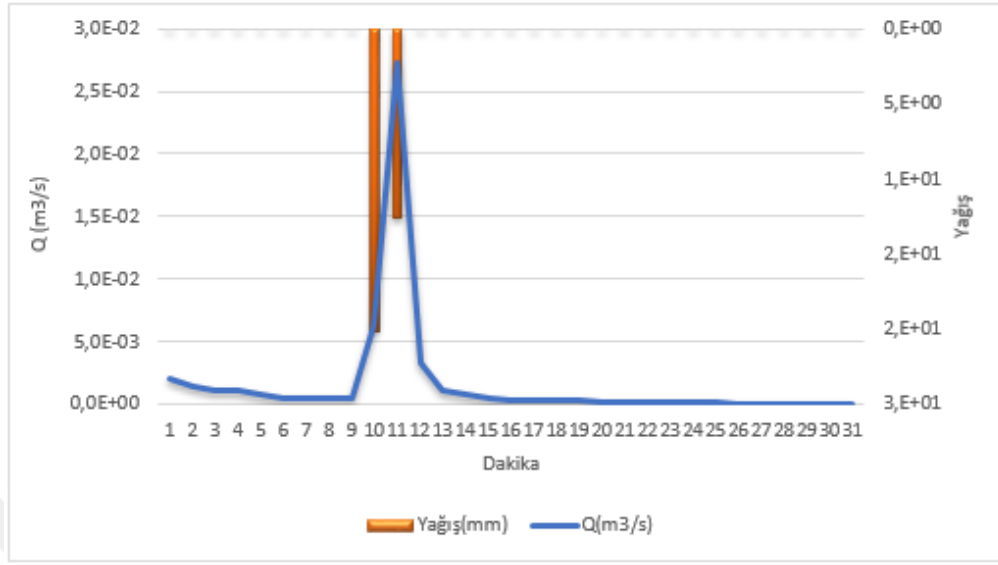
Bu çalışmada HEC-HMS ve TOPMODEL kullanılarak Kurukavak Havzasının olay bazlı günlük veriler kullanılarak yağış-akış modellemesi yapılmaktadır. Modelde 1987-1991 yıllarına ait günlük veriler kullanılmış olup modelleme ay bazında yapılmıştır. Kullanılan aylara ait yağış-akış verileri aşağıda gösterilmektedir.



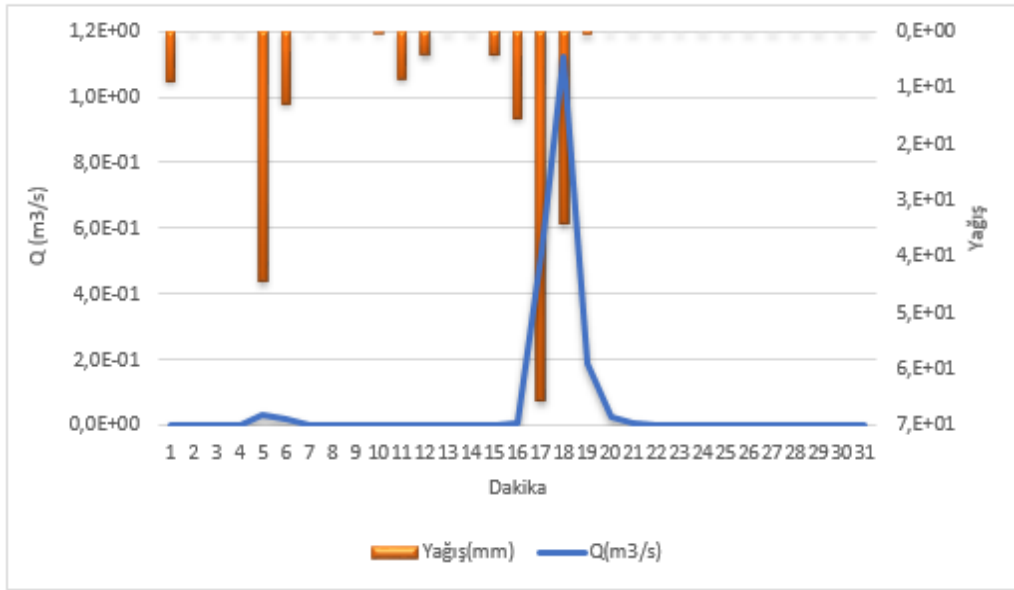
Şekil 2.5. 1987 Ekim ayına ait yağış-akış verisi



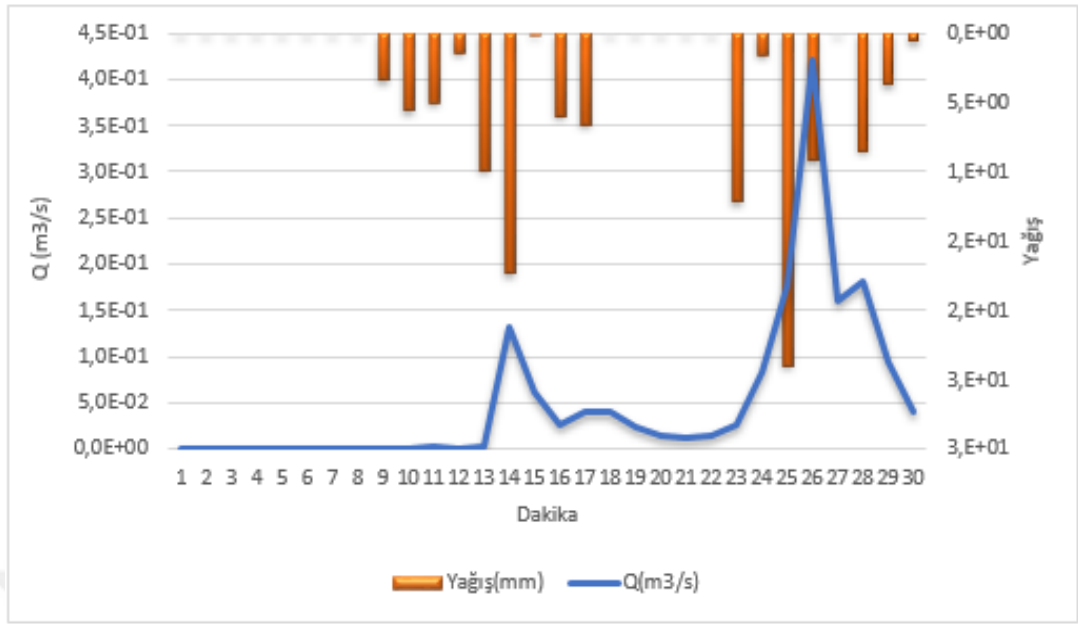
Şekil 2.6. 1987 Kasım ayına ait yağış-akış verisi



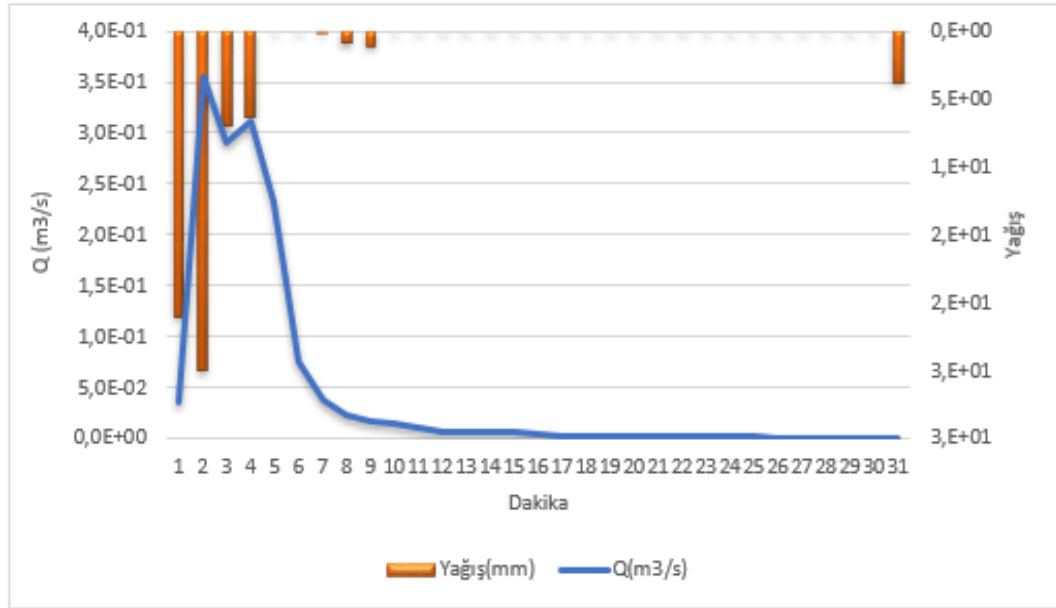
Şekil 2.7. 1988 Temmuz ayına ait yağış-akış verisi



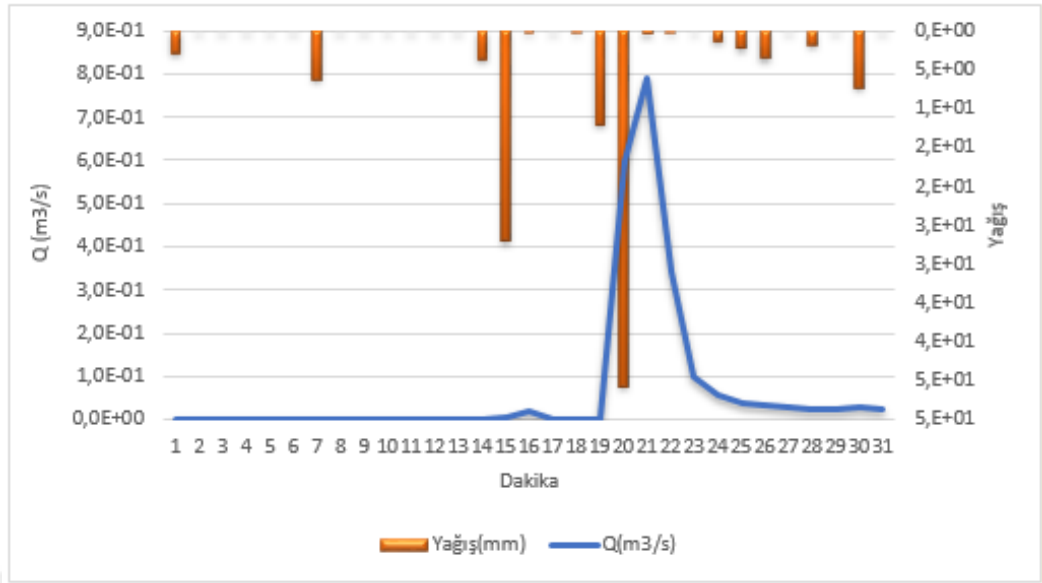
Şekil 2.8. 1989 Ekim ayına ait yağış-akış verisi



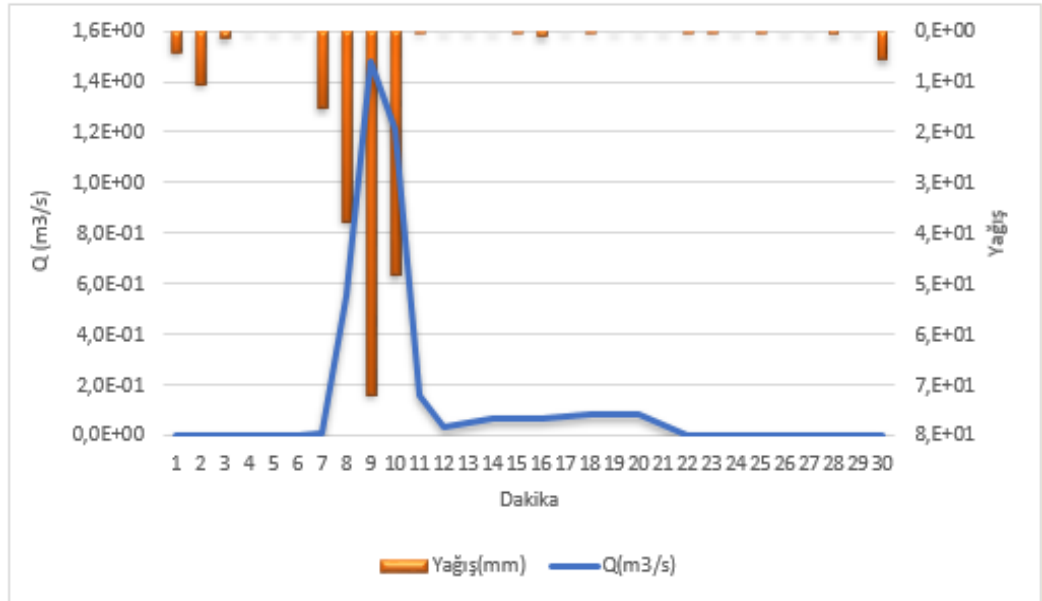
Şekil 2.9. 1989 Kasım ayına ait yağış-akış verisi



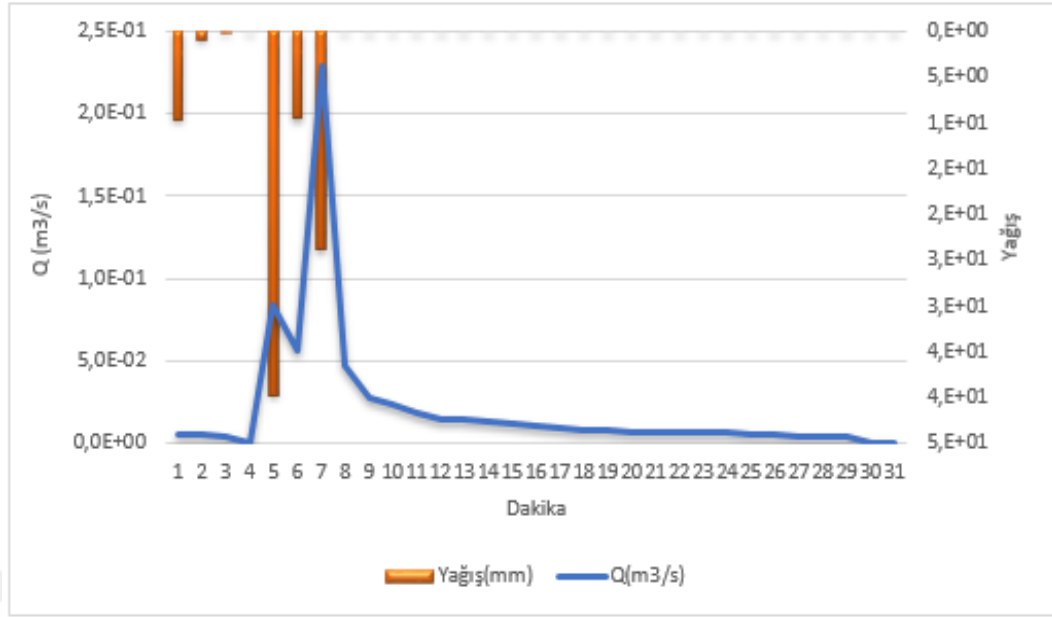
Şekil 2.10. 1990 Mayıs ayına ait yağış-akış verileri



Şekil 2.11. 1991 Mayıs ayına ait yağış-akış verisi



Şekil 2.12. 1991 Nisan ayına ait yağış-akış verisi

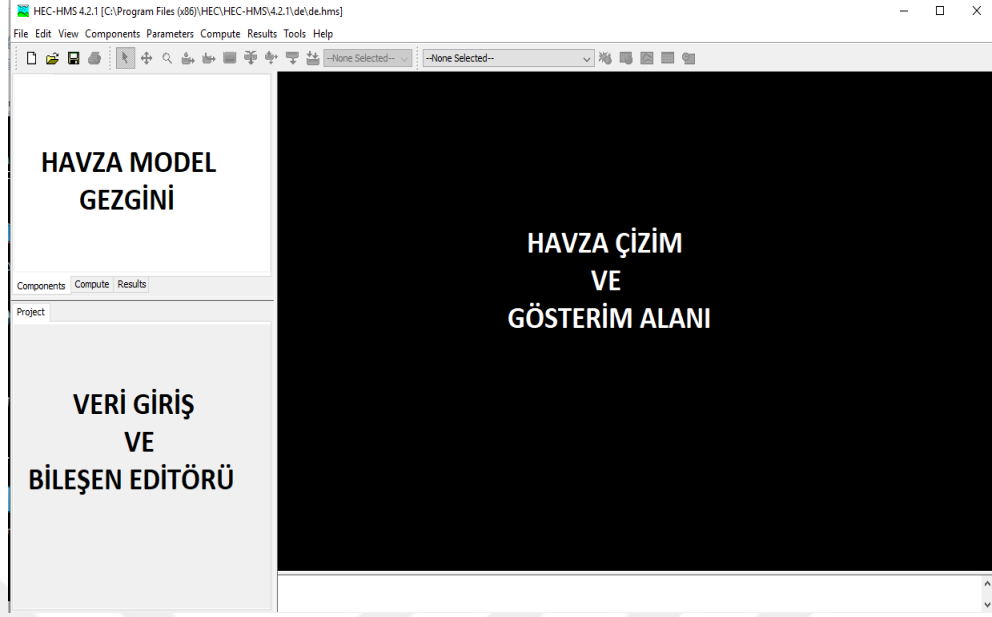


Şekil 2.13. 1991 Temmuz ayına ait yağış-akış verisi

3. HEC-HMS MODELİ

HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) hidrolojik simülasyon yapabilen Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş, bir modeldir. HEC simülasyonu hidrolojik simülasyon ihtiyaçlarını karşılamak için program kullanıcıları ile iletişime geçmekte ve kendi uygulamalarında gördükleri eksikleri belirlemektedirler. Programın oldukça basit, kullanımı ve kolay arayüzü sayesinde kullanıcıya modelin kolayca tanımlanmasına imkan sağlamaktadır. HEC – HMS aynı zamanda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile bağlantılı kullanılabilmektedir. Yüzlerce bileşen içeren havzaları temsil etmek amacıyla geliştirilen HEC – GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension) yan uygulaması Coğrafi Bilgi Sistemi ile çalışabilmektedir. Böylece havza sınırlarının belirlenmesinde kullanılan topografik haritaların analizi ve bileşenlerin belirlenmesi işlemleri çok daha az zaman almaktadır (U.S. Army Corps of Engineers, 2013).

HEC – HMS modelinin 4 temel bileşeni mevcuttur; birincisi yüzeysel akışı ve hidrograf ötelemeyi de hesaplayabilen analitik model, ikincisi hidrolojik sistem bileşenlerinin kolayca oluşturulabildiği gelişmiş görsel arayüz, üçüncüsü bileşen verilerin saklandığı ve yönetilebildiği, zaman serilerinin bulunduğu sistem, son bileşen ise model çıktılarının görselleştirildiği arayüzdür (Halwatura ve diğ., 2013).



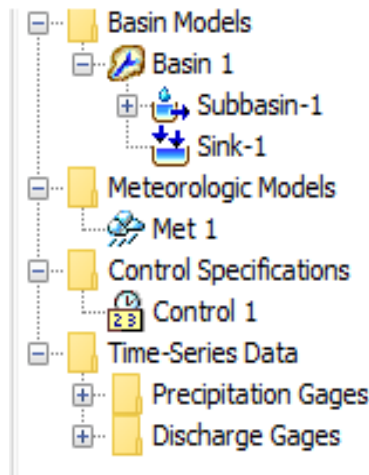
Şekil 3.1. HEC-HMS program arayüzü

HEC-HMS havzalardaki süreçleri benzetmek amacıyla geliştirilmiştir. Programın içinde birçok modelleme seçeneği mevcuttur. Bu modelleme seçenekleri ile birlikte uygun modelleme yöntemleri kullanılarak başarılı bir modelleme yapılabilmektedir. Yazılımda çok sayıda yöntem ve parametrenin bulunması havza ile ilgili sorunları çözmek ve daha doğru modelleme yapma imkanı sağlamaktadır. Yazılımın içerisinde modelleme yapılmasını sağlayan hidrolojik elemanlar mevcuttur. Bu hidrolojik elemanlar sayesinde modellenen alanın sınırları belirlenir ve modelleme de kullanılacak elemanlar oluşturulur. Hidrolojik elemanlar modellemenin önemli bir kısmını oluşturur. Eldeki veriye ve havza özelliklerine göre kullanılacak hidrolojik eleman farklılık gösterir. Ör. Birden fazla alt havzaya sahip bir havzayı ele aldığımız düşünülürse modelde alt havzaları tanımlamak için ‘Subbasin’ elemanı kullanılır veya havzada meydana gelen akışı bir alt havzaya iletmek için ‘Reach’ elemanı kullanılır. Bu elemanların isimleri ve programdaki kullanım amaçları açıklamaları ile Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. *Havza elemanları*

Hidrolojik Elemanlar	Açıklaması
 Subbasin	Fiziksel havzayı temsil etmek için kullanılır. Yağış, kayıplar, dönüşüm ve baz akımı değerlerini içerir.
 Reach	Havzadaki akışı iletmek için kullanılır. Modeldeki elemanları birbirine bağlar.
 Junction	Hidrolojik elemanlardan gelen akışı birleştirmek için kullanılır.
 Source	Modellenmiş bölgeden geçen bir akımın havza modeline akışını tanıtmak için kullanılır.
 Sink	Fiziksel havzanın çıkışını temsil etmek için kullanılır. Elemana giriş, bir veya daha fazla hidrolojik elemandan gelebilir.
 Reservoir	Akışların depolanması sağlar ve bir veya birden fazla çıkış tanımlanabilir.
 Diversion	Ana kanaldan ayrılan akışı modellemek için kullanılır. Belirli bir akış hacmini, derecelendirme eğrisi veya bu eğriyle bağlantılı bir öğeye yönlendirir.

HEC simülasyonu, havza modeli, meteorolojik model ve kontrol belirtimi olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 3.2. *Yazılımın bileşenleri*

Havza modeli ile modellenen havzanın çizimi yapılmakta ve havza ile ilgili bilgilerin girişi yapılmaktadır. Ayrıca alt havza (subbasin) kısmında havzanın modellenmesi istenilen modelleme yöntemlerinin girişi yapılmaktadır.

Meteorolojik model zaman serilerine bağılı yağış, sıcaklık ve debi değerleri içindir. Bu değerler programın Veri Depolama Sistemi (DSS) ile daha sonra yeniden kullanıma hazır bir şekilde beklemesi için depolanabilir. Kontrol bileşeninde ise simülasyonun çalışma zaman aralığı belirtilir. Veri girişi kısmında da (Time Series Data) havzayla ilgili meteorolojik verilerin girişi sağlanmaktadır.

Günümüzde HEC-HMS yazılımı çok kısa sürede gelişip yenilenmekte ve her seferinde yeni özellikler eklenerek karşımıza çıkmaktadır. Şuan en güncel olarak piyasada olan versiyonu HEC-HMS 4.4 versiyonudur. Bu çalışmada 4.2.1 versiyonu kullanılmıştır.

Havza modelinde hidrografi oluşturmak için kayıp (loss), dönüşüm (transform) ve baz akım (baseflow) metotları belirlenir. Her bir metot birçok seçeneğe sahiptir. Uygulamanın amacına, havzanın durumuna ve eldeki veriye göre uygun metotlar seçilerek en uygun modellemenin yapılmasını sağlamaktır.

HEC-HMS programı üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) sonuçlarına göre değerlendirilmektedir. NSE - ∞ ile 1 arasında değer alır.- ∞ 'a doğru gittikçe model kötüleşirken, 1'e yaklaştıkça model performansı iyileşir. Denklem 3.1'de NSE değerinin hesaplanma yöntemi verilmiştir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{iobs} - X_{isim})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{iobs} - X_{imean})^2} \quad (3.1)$$

X_{iobs} (gözlenmiş aylık akımların i'inci değeri), X_{isim} (hesaplanan aylık akımların i'inci değeri), X_{imean} (gözlenmiş aylık akımların ortalaması), N (toplam gözlem sayısı)'nı ifade etmektedir.

3.1. Kayıp (Loss) Metodu

HEC simülasyonunda bir alt havza elemanı sızma, yüzey akışı ve yüzey altı süreçlerini temsil ederken, gerçek sızma hesaplamaları alt havzada bulunan bir kayıp yöntemiyle gerçekleştirilir. Toplam on iki farklı kayıp yöntemi sunulmaktadır. Bazı yöntemler öncelikle olayları simüle etmek için, diğerleri ise sürekli simülasyon için tasarlanmıştır. Modelde bulunan kayıp yöntemleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. HEC-HMS model yazılımında yer alan kayıp (loss) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13)

Kayıp Metotları	Kategori
Initial and constant rate	• Olay bazlı • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
SCS curve number(CN)	• Olay bazlı • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Gridded SCS CN	• Olay bazlı • Dağılımlı(distributed) • Deneysel • Uygun parametre
Green and Ampt	• Olay bazlı • Dağılımlı(distributed) • Deneysel • Uygun parametre
Deficit and constant rate	• Sürekli • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Soil moisture accounting(SMA)	• Sürekli • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Gridded SMA	• Sürekli • Dağılımlı(distributed) • Deneysel • Uygun parametre

3.2. Dönüşüm (transform) Metodu

HEC simülasyonunda bir alt havza elemanı infiltrasyon, yüzey akışı ve yüzey altı süreçlerini birlikte etkileşime sokarken, gerçek yüzey akışı hesaplamaları alt havzada bulunan bir dönüştürme yöntemiyle gerçekleştirilir. Bazı yöntemler tümsel(lumped) ve bazı yöntemler de dağılımlı(distributed) olmak üzere programda sunulan toplam sekiz farklı dönüşüm yöntemi mevcuttur. Bu dönüşüm yöntemleri Tablo 3.3’de belirtilmiştir

Tablo 3.3. HEC-HMS model yazılımında yer alan dönüşüm (transform) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13)

Dönüşüm Metotları	Kategori
User-Specified unit hydrograph(UH)	• Olay bazlı • Tümsel(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Clark's UH	• Olay bazlı • Tümsel(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Synders's UH	• Olay bazlı • Tümsel(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
SCS UH	• Olay bazlı • Tümsel(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
ModClark	• Olay bazlı • Dağılımlı(distributed) • Deneysel • Uygun parametre
Kinematic wave	• Olay bazlı • Tümsel(lumped) • Deneysel • Ölçülü parametre

3.3. Taban (baseflow) Metodu

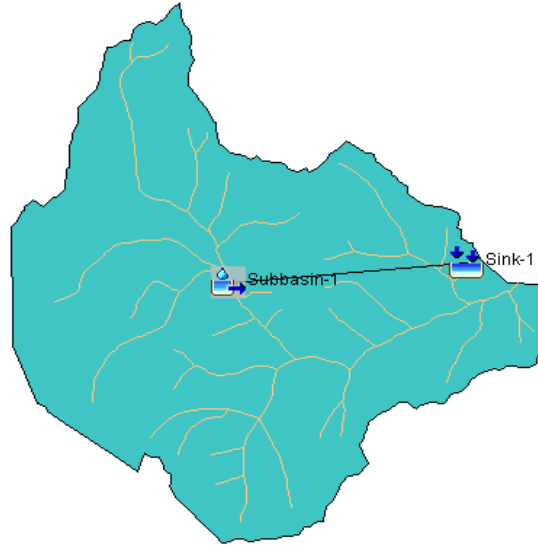
HEC simülasyonunda bir alt havza elemanı sızma, yüzey akışı ve alt yüzey süreçlerini temsil ederken, gerçek alt yüzey hesaplamaları alt havzada bulunan bir alt akış yöntemiyle gerçekleştirilir. Alt yüzey akışı toplam altı farklı taban akımı (baseflow) yöntemi ile belirlenmiştir. Bazı yöntemler öncelikle olayların simülasyonu için tasarlanmıştır, diğerleri ise sürekli simülasyon için tasarlanmış ve Tablo 3.4 de verilmiştir. Kurukavak Havzası için bu çalışmada modelleme işlemi yapılırken taban akımı ihmal edildiğinden HEC-HMS programı içerisinde herhangi bir taban(baz) akım metodu kullanılmamıştır.

Tablo 3.4. HEC-HMS model yazılımında yer alan taban akım (baseflow) metotları (HEC-HMS Technical Reference Manual March 2000,s.13)

Baz Akım metotları	Kategori
Constant monthly	• Olay bazlı • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Exponential recession	• Olay bazlı • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre
Linear reservoir	• Olay bazlı • Topaklı(lumped) • Deneysel • Uygun parametre

3.4. HEC-HMS Model Uygulaması

HEC-HMS ile yapılan modellemede ilk adım olarak Kurukavak havzasına ait havza yapısı ve akarsu ağı program içerisine aktarılmıştır.



Şekil 3.3. HEC-HMS ile Kurukavak havzasının yapısı

Daha sonra modellemeye başlamak için havza model bileşeniyle oluşturulan althavza modelinde havzayla ilgili istenen fiziksel veriler girilir. Aynı ekrandan havzanın modellenmesi için seçilen kayıp ve dönüşüm metotları seçilerek doldurulur.

Şekil 3.4. Alt havza program penceresi

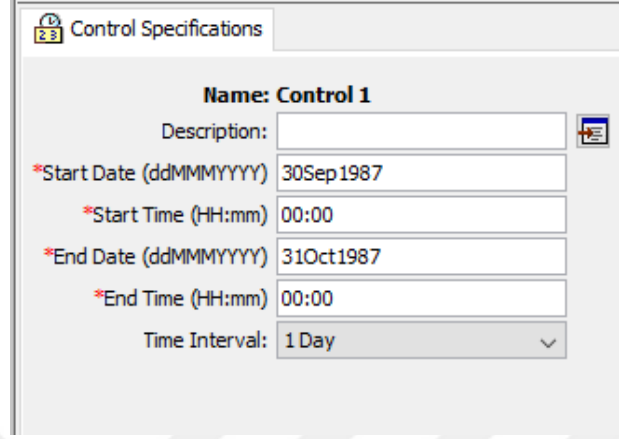
Seçilen modelleme yöntemine göre her yöntemin kendine ait penceresinden model parametrelerine ait değerlerin girişi yapılması istenir. Kırmızı yıldız (*) ile gösterilen parametreler girilmesi istenen zorunlu parametrelerdir.

Şekil 3.5. Kayıp parametreleri giriş ekranı

Şekil 3.6. Dönüşüm parametreleri giriş ekranı

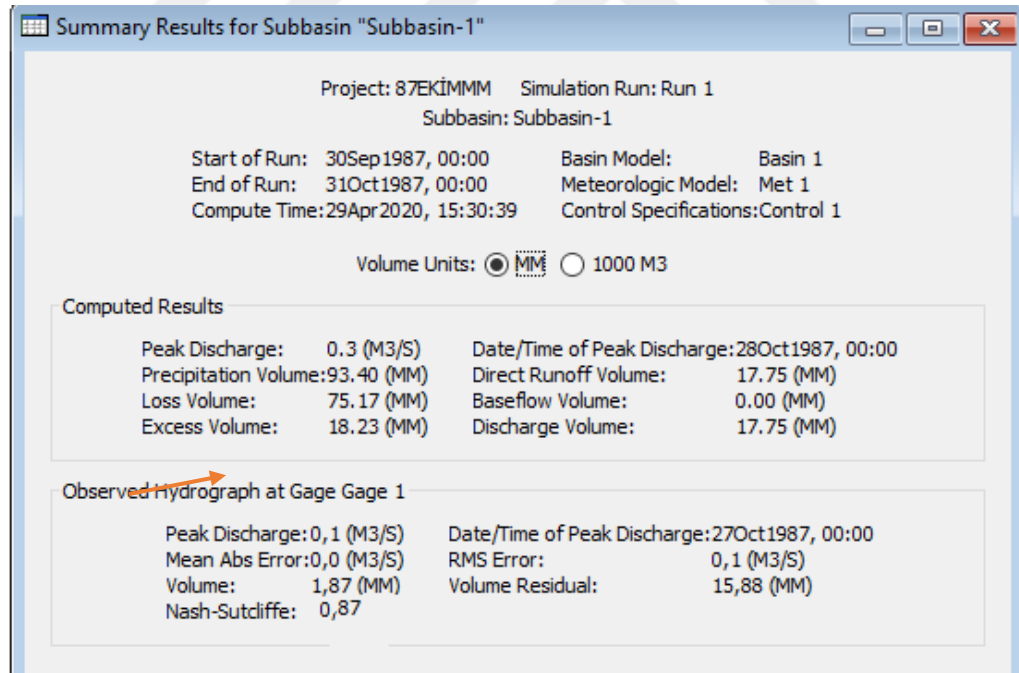
Modele ait kayıp ve dönüşüm parametreleri girildikten sonra ve havza oluşturulduktan sonra modelleme yapılması istenen zaman aralığı belirlenir. HEC-HMS yazılımı bize birçok zaman aralığı için modelleme imkânı sunar. Dakikalık, saatlik ve günlük veriler için modelleme seçenekleri mevcuttur.

Girilen verilere göre modelin hangi zaman aralığında ve hangi tarihlerde modellenmesi isteniyorsa o şekilde programın kontrol özellikleri kısmına tarih ve zaman girişi yapılır.



Şekil 3.7. Modele ait kontrol özellikleri penceresi

Model kurulduktan sonra çalıştırılarak modellemenin sonucu alınmış olur. Sonuç penceresinde görülen NSE değeri modelin başarısını göstermektedir.



Şekil 3.8. Model sonuç ekranı

Öztürk vd. (2003) tarafından Kurukavak deresi havzasında gerçekleştirilen çalışmada, havzanın su kaynağını yağışların oluşturduğu, yüzeydeki alüvyonlar içinde depolanmış oldukça az miktarda suyun bulunduğu ve havzada taban akımı oluşturacak akifer özelliği gösteren tabaka bulunmadığından dolayı yeraltı suyunun bulunmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında taban akımı metotları göz ardı edilerek modellemede taban akımı kullanılmamıştır.

Çalışmada modelleme için seçilen metotlar şu şekildedir.

- Kayıp metodu olarak: SCS eğri numarası metodu,
- Dönüşüm metodu olarak: Clark birim hidrograf yöntemidir.

3.4.1. SCS-Eğri Numarası Kayıp Modeli

HEC-HMS içinde birçok yağış-akış modelleme seçeneği mevcuttur. Bu seçenekler arasında en yaygın kullanılanlardan biri Amerikan Zemin Koruma Servisi-Eğri numarası (SCS-CN) yöntemidir. Bu yöntem ile akışa geçen su miktarının hesaplanabilmesi için çalışma alanına ait arazi kullanım haritası, hidrolojik toprak grupları ve meteoroloji gözlem verilerinin kullanılması gerekmektedir.

SCS-CN ampirik yapıdaki bir model olup havzanın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş eğri numarası (CN) değerlerini kullanarak yağıştan akışa geçen su miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Toprak Koruma Servisi (SCS) eğri numarası (CN) modeli aşağıdaki denklemi kullanarak biriken yağış, toprak örtüsü, arazi kullanımı ve öncül nemin bir fonksiyonu olarak yağış fazlalığını tahmin eder.

$$Pe=(P - I_a)^2/(P - I_a + S) \quad (3.2)$$

Pe (Artık yağış yüksekliği), P (toplam yağış yüksekliğinden), I_a (kayıp olan su yüksekliği), S (potansiyel maksimum tutulan su yüksekliği) ni ifade eder.

Kayıp su yüksekliği (I_a) ile potansiyel maksimum tutulan su yüksekliği (S) arasında ampirik bir ilişki vardır.

$$I_a=0.2*S \quad (3.3)$$

Bu ifade göz önünde bulundurularak denklem (3.2) düzenlenirse denklem (3.3) ortaya çıkmaktadır.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3.4)$$

Potansiyel maksimum su miktarı, S, toprak cinsi ve zemin türüne bağlıdır.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.5)$$

Bu ifade CN eğri numarası olarak adlandırılır. Arazi kullanım haritaları göz önünde bulundurularak her bir arazi kullanım bilgisi için dört farklı hidrolojik toprak grubuna ait CN değeri bulunmaktadır. Eğri numarasının belirlenmesinde arazi kullanım haritası ve hidrolojik toprak grubu haritasının eşleştirilmesi gerekmektedir.

Bu eşleştirme sonucunda hangi arazi kullanım bölgesinin hangi toprak türüne karşılık geldiği ve hangi CN değerine karşılık geldiği bulunur.

Bu yöntemde toprak, A, B, C ve D olmak üzere dört farklı hidrolojik gruba ayrılmaktadır. Genel olarak A grubu düşük akım potansiyeline (yüksek sızma kapasitesi), D grubu ise yüksek akım potansiyeline (düşük sızma kapasitesi) sahip toprak gruplarını temsil etmektedir (Özdemir, 2007). Bu gruplara ilişkin bilgiler Tablo 3.5de verilmiştir.

Tablo 3.5. Hidrolojik toprak grupları (Özdemir, 2007)

Toprak Grubu Açıklama		
A	Çok kumlu zemin	Sızma çok
B	Kumu çok, kili az zemin	Derin bitkisel toprak
C	Kumu az, kili çok zemin	Sığ bitkisel toprak
D	Killi zemin veya kayalık	Sızma çok az

Tablo 3.6. Arazi kullanımına bağlı olarak toprak gruplarının eğri numarası [13]

Zeminin kullanım şekli	Hidrolojik toprak grubu			
	A	B	C	D
İşlenmiş toprak: Korumasız	72	81	88	91
Korumalı	62	71	78	81
Otlak: İyi durumda	68	79	86	89
Kötü durumda	39	61	74	80
Çayır: İyi durum	30	58	71	78
Orman: Zayıf örtü	45	66	77	83
İyi durumda örtü	25	55	70	77
Açık yüzeyler: Çimen, Park, Mezarlık İyi durumda: En az %75'i çimen kaplı	39	61	74	80
Orta durumda: %50-75'i çimen kaplı	49	69	79	84
Ticaret ve iş bölgeleri: %80 geçirimsiz	89	92	94	95
Sanayi bölgeleri: %72 geçirimsiz	81	88	91	93
Konut bölgeleri				
Ortalama				
parsel alanı Ortalama				
Geçirimsiz yüzde	77	85	90	92
500 m ² veya daha az 65	61	75	83	87
1000 m ² 38	57	72	81	86
1500 m ² 30	54	70	80	85
2000m ² 25	51	68	79	84
4000 m ² 20				
Kaplamalı park alanları, çatılar vs.	98	98	98	98
Yollar: kaplamalı, bordürlü, yağmur suyu toplamalı	98	98	98	98
Çakıl	76	85	89	91
Toprak	72	82	87	89

3.4.2. Clark Birim Hidrograf Yöntemi

Clark birim hidrografı, sentetik birim hidrograf yöntemidir. Clark birim hidrograf yöntemi aşırı yağışın akışa dönüşmesinde iki kritik süreci temsil etmektedir. Birincisi artık yağışın bulunduğu noktadan drene olarak havzanın çıkış noktasına erişmesi, ikincisi ise artık yağışın havza içerisinde tutulunca debinin azalmasıdır.

Suyun havza boyunca toprakta, yüzeyde ve kanallarda kısa süreli depolanması, yağış fazlalığının akıntıya dönüşmesinde rol oynar. Doğrusal rezervuar modeli, bu depolamanın etkilerinin ortak bir temsilidir. Bu model süreklilik denklemi ile başlar.

$$\frac{dS}{dt} = I_t - O_t \quad (3.6)$$

dS/dt , (t zamanında suyun depoda zamanla değişim hızı), I_t (t zamanında depoya giren ortalama akım), O_t (t zamanında depodan çıkış akımı) olarak ifade edilir.

Doğrusal rezervuar modeli ile t zamanında depolamanın çıkış akımı ile bağlantısı aşağıdaki gibidir:

$$S_t = R O_t \quad (3.7)$$

R , sabit doğrusal rezervuar parametresidir. Denklem (3.6) ve (3.7) birlikte çözümlendiğinde

$$O_t = C_a I_t + C_b O_{t-1} \quad (3.8)$$

$$C_b = 1 - C_a \quad (3.9)$$

Clark birim hidrograf yöntemiyle dönüşüm modelinde sadece iki adet parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar konsantrasyon süresi (time of concentration) ve depolama katsayısıdır (storage coefficient). Toplanma zamanı (time of concentration) ötelemeyi, depolama katsayısı (storage coefficient) sönümlemeyi temsil eder. Toplanma zamanı, havzanın çıkışına en uzak noktaya düşen yağışın çıkışa ulaşma süresidir ve pik debi hesabında kullanılan parametrelerden biridir. Depolama katsayısı (R): Bir akiferin suyunu serbest bırakma kapasitesini karakterize eden parametredir. Toplanma zamanının hesaplanmasında kullanılan birçok formül vardır. Bunlardan başlıcaları Kirpich denklemi, Williams denklemi vb. dir.

3.4.3. Model Parametreleri Kalibrasyon ve Validasyon

Modelleme çalışması kalibrasyon ve validasyon olmak üzere iki kısımda gerçekleşir. Kalibrasyon işlemiyle modelde kullanılması gereken parametrelerin değerleri deneme yanılma yoluyla bulunur. Ölçüm ve hesaplama sonucu bulunan parametreler modelde direkt yerine yazılırlar. Kalibrasyon yapılarak modelde gözlenen ve simüle edilen hidrografların örtüştürülmesi amaçlanır. Böylelikle modelin çalıştığı uygun parametre aralıkları belirlenir. Parametreler kalibre edildikten sonra doğrulama (validasyon) ile modelin başarısı ölçülmüş olur.

Daha önceden kalibrasyon ile bulunan parametrelerin uygunluğu ve doğruluğu validasyon yapılarak teyit edilir. Eğer validasyon sonuçları yapılan kalibrasyon işlemini doğrularsa başarılı bir modelleme yapıldığı söylenebilir. Bu yazılımda model başarısı NSE ile ölçülmektedir. Sonuç olarak valide edilen değer modelde ne kadar 1 değerine yakınsa o kadar başarılı bir model elde etmiş olunmaktadır.

Çalışmada 9 ayrı aya ait günlük veriler kalibre edilmiş ve parametre aralıkları belirlenmiştir. Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 de modelde kullanılan kayıp ve dönüşüm metoduna ait parametreler ve kalibrasyon sonucu elde edilen parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 3.7. Kayıp metoduna ait parametreler ve değerleri

Aylar/Parametreler	Initial Abstraction (mm)	Curve Number	Impervious (%)
87 Ekim	50	74	1
87 Kasım	48	70	1
89 Ekim	85	61	1
90 Mayıs	1	80	1
91 Mayıs	35	85	1
91 Temmuz	50	61	8

Tablo 3.8. Dönüşüm metoduna ait parametreler ve değerleri

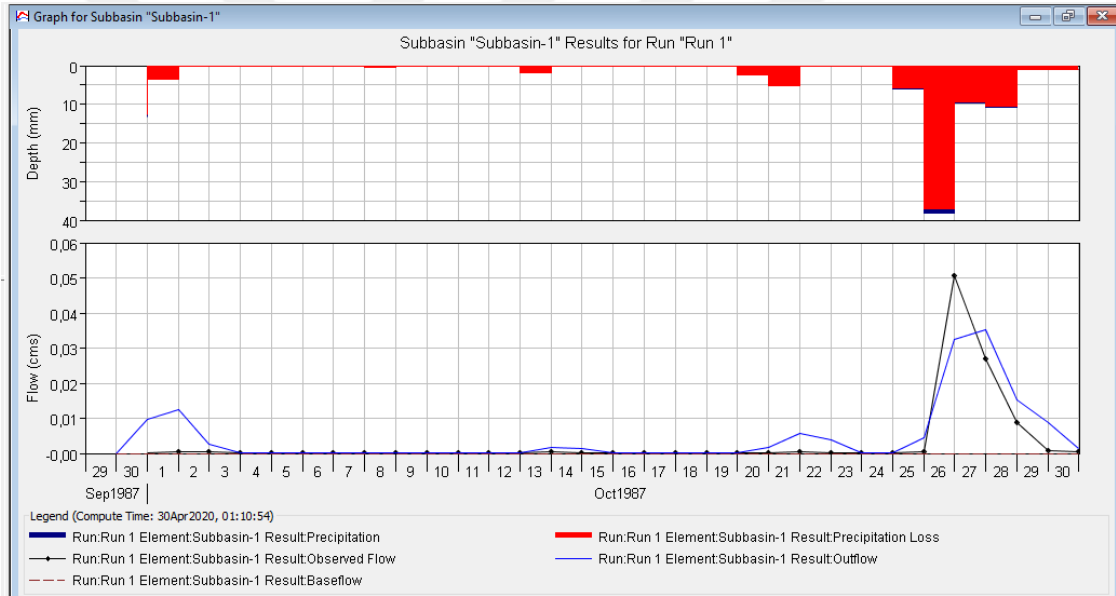
Aylar/Parametreler	Time of Concentration (sa)	Storage Coefficient (sa)
87 Ekim	24	12
87 Kasım	24	12
89 Ekim	24	12
90 Mayıs	38	13
91 Mayıs	32	20
91 Temmuz	24	12

Tablo 3.9 da ise kalibrasyon sonucu bulunan parametrelerin alabileceği değer aralıkları belirtilmiştir.

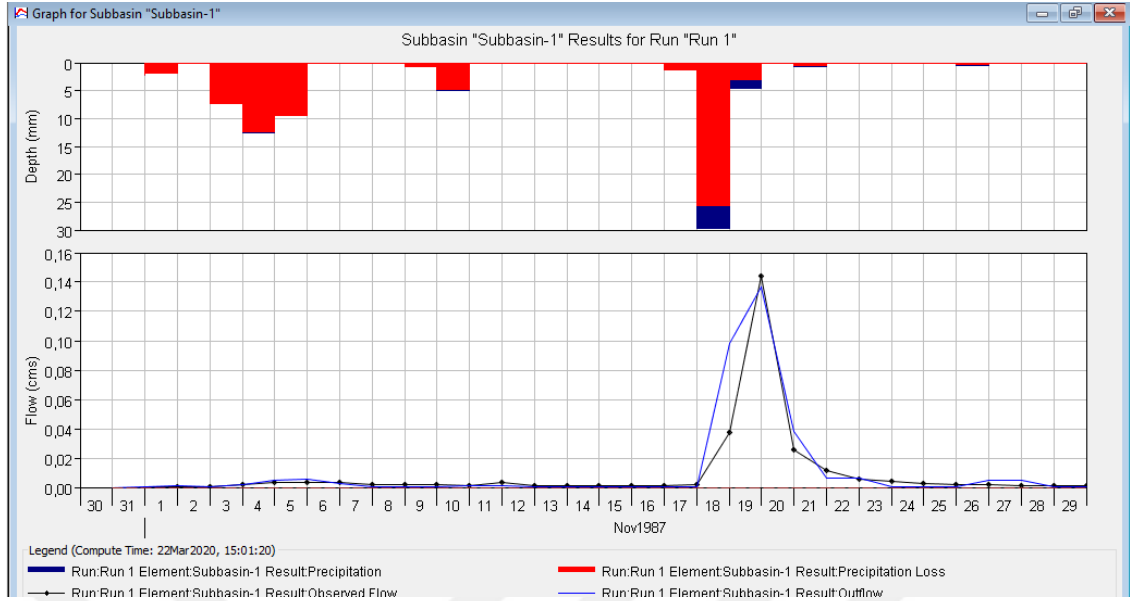
Tablo 3.9. *Parametre aralıkları*

Parametre Aralıkları	
Initial Abstraction (mm)	1-85
Curve Number	61-85
Impervious (%)	1-8
Time of Concentration (sa)	24-38
Storage Coefficient (sa)	12-20

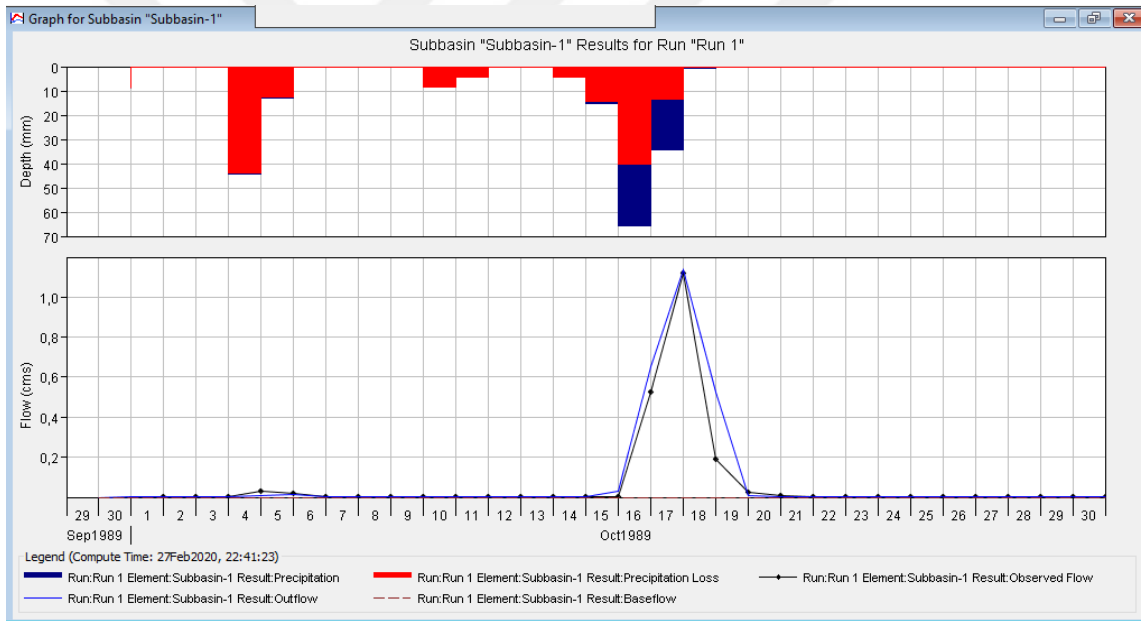
Parametreler girilip model çalıştırıldıktan sonra program tarafından elimize görsel olarak çıktılar ulaşmaktadır. Aşağıda kalibrasyon yapılan 6 adet aya ait günlük verilerin model çıktıları verilmiştir.(Şekil 3.9,Şekil 3.10,Şekil 3.11,Şekil 3.12,Şekil 3.13 ve Şekil 3.14.)



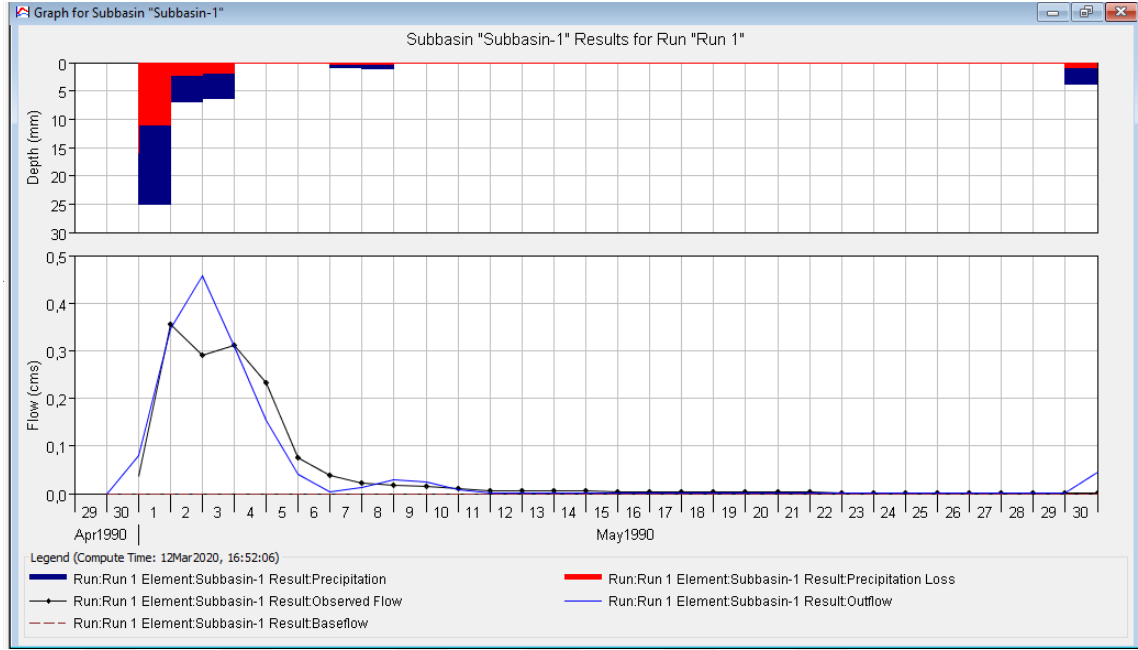
Şekil 3.9. *1987 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi*



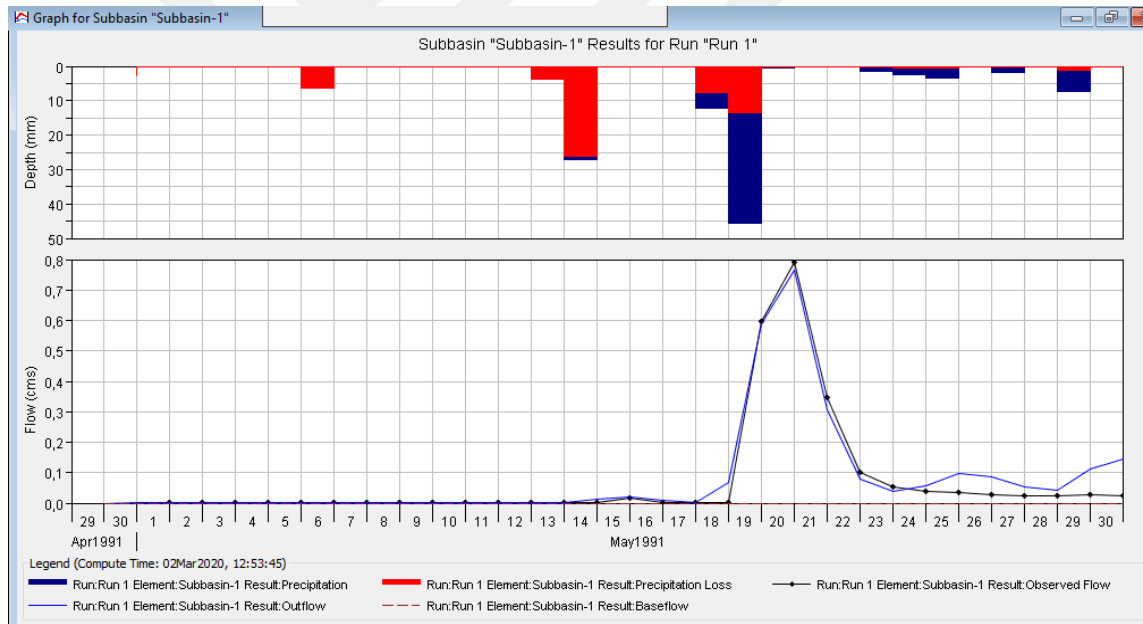
Şekil 3.10. 1987 Kasım ayına ait kalibrasyon hidrografi



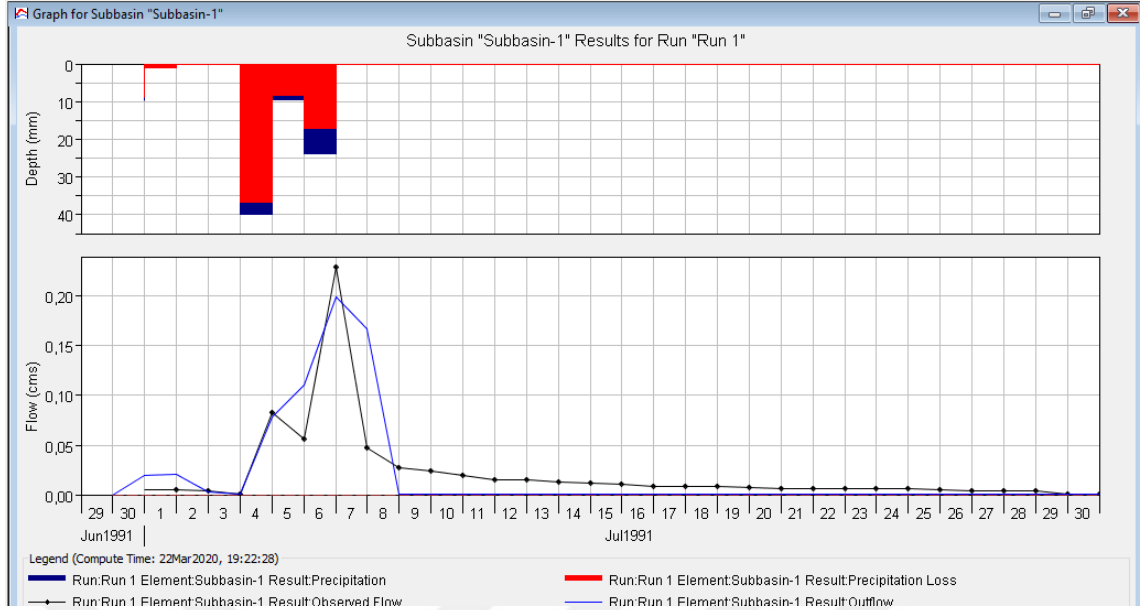
Şekil 3.11. 1989 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi



Şekil 3.12. 1990 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografı



Şekil 3.13. 1991 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografı



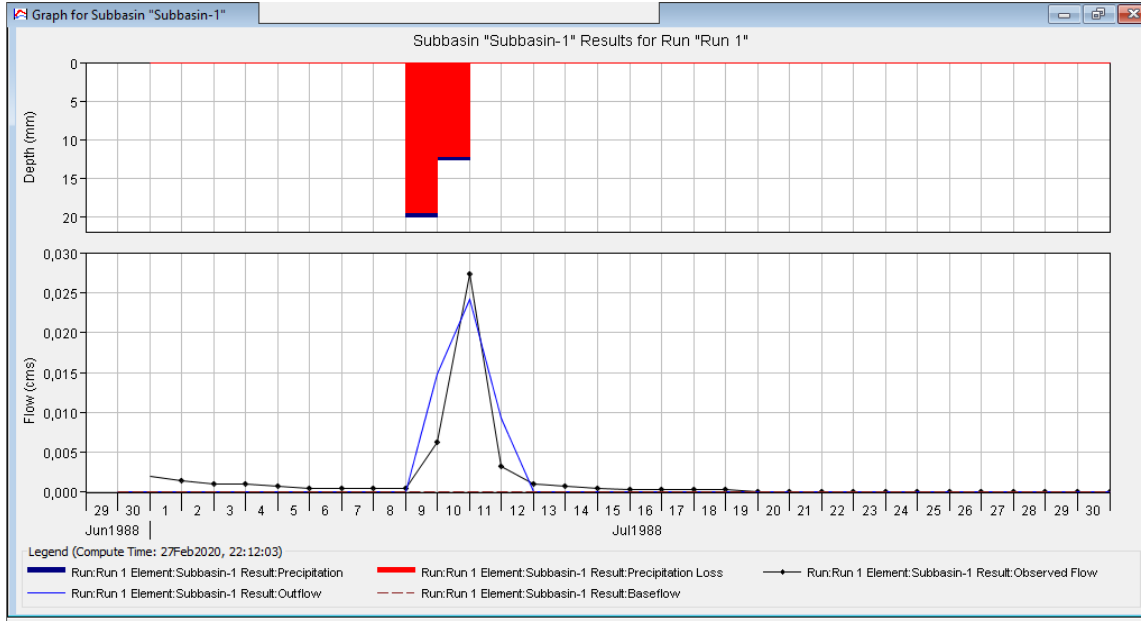
Şekil 3.14. 1991 Temmuz ayına ait kalibrasyon hidrografi

Kalibrasyonlar yapıp parametre aralıkları bulunduktan sonra modelin doğruluğunu kontrol etmek için validasyon yapılmıştır. Validasyon için 3 adet farklı aya ait günlük veriler seçilmiş ve simüle edilmiştir. Validasyon sonuçlarına ait parametre değerleri Tablo 3.10 da verilmiştir.

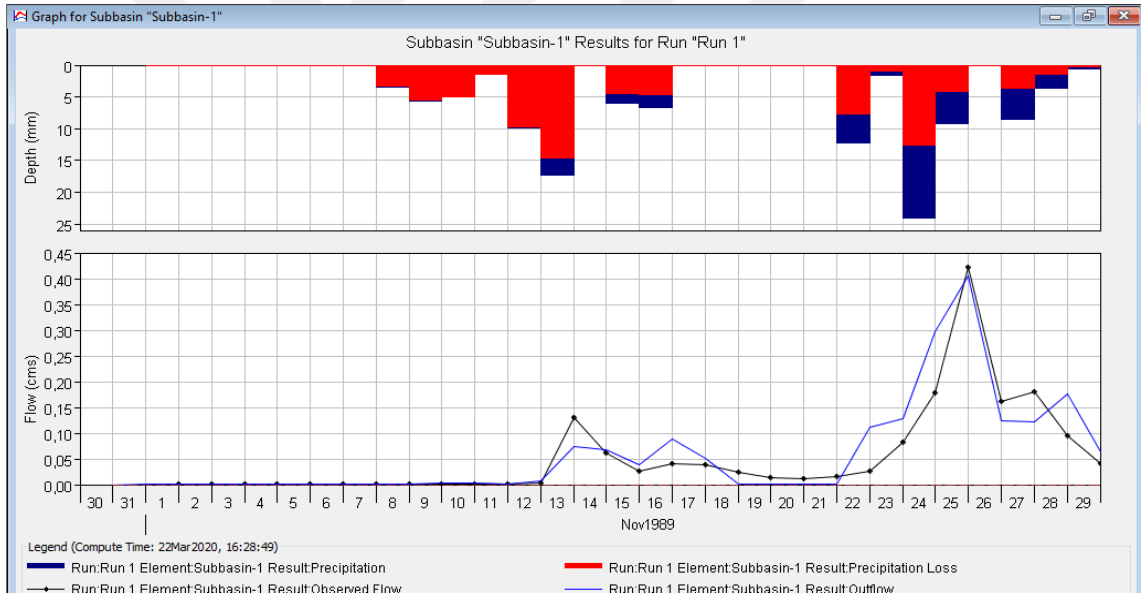
Tablo 3.10. Validasyon parametreleri

	Validasyon Parametreleri (HEC-HMS)				
Aylar/ Parametreler	Initial Abstraction (mm)	CN	Impervious (%)	Time of Concentration (sa)	Storage Coefficient (sa)
88 Temmuz	34	65	3	24	12
89 Kasım	20	61	1	24	12
91 Nisan	35	85	1	32	20

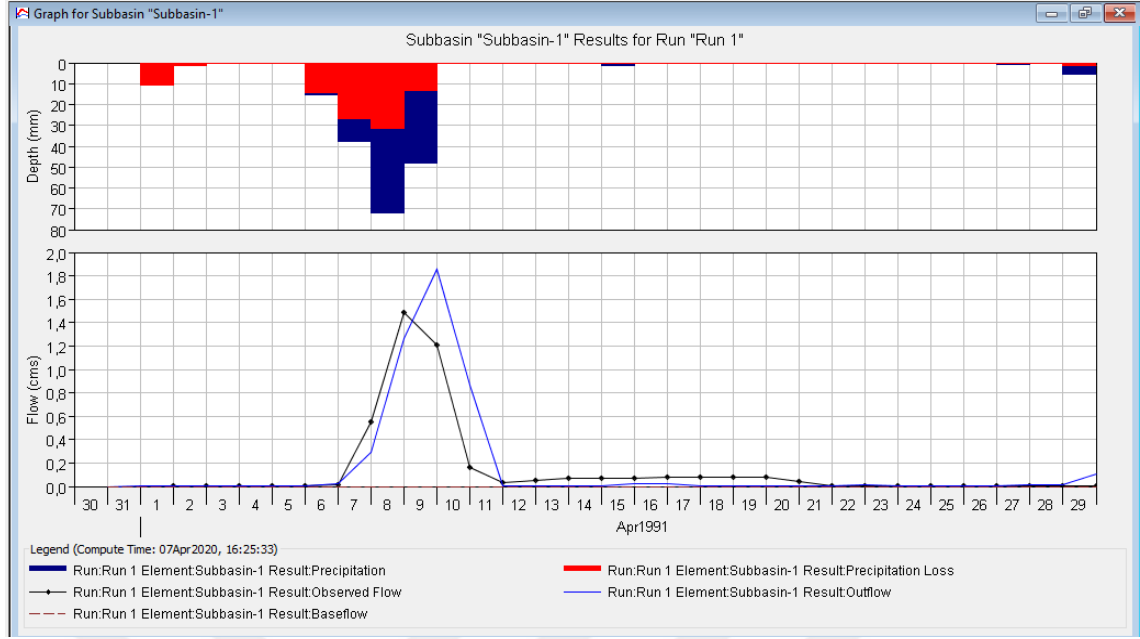
Validasyon sonuçlarına ait model çıktıları Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 de verilmiştir.



Şekil 3.15. 1988 Temmuz ayına ait validasyon hidrografı



Şekil 3.16. 1989 Kasım ayına ait validasyon hidrografı



Şekil 3.17. 1991 Nisan ayına ait validasyon hidrografi

Modelin sonuç penceresinden kalibrasyon ve validasyon sonuçları ait NSE değerleri bulunmuş ve modelin başarısı değerlendirilmiştir. Modele ait günlük veriler kullanılarak yapılan kalibrasyon sonuçları Tablo 3.11 de validasyon sonuçları ise Tablo 3.12 de verilmiştir.

Tablo 3.11. Kalibrasyon sonuçları

	Kalibrasyon Sonuçları(NSE)					
Tarihler	87Ekim	87Kasım	89Ekim	90Mayıs	91Mayıs	91Temmuz
HEC-HMS	0,806	0,804	0,91	0,863	0,96	0,601

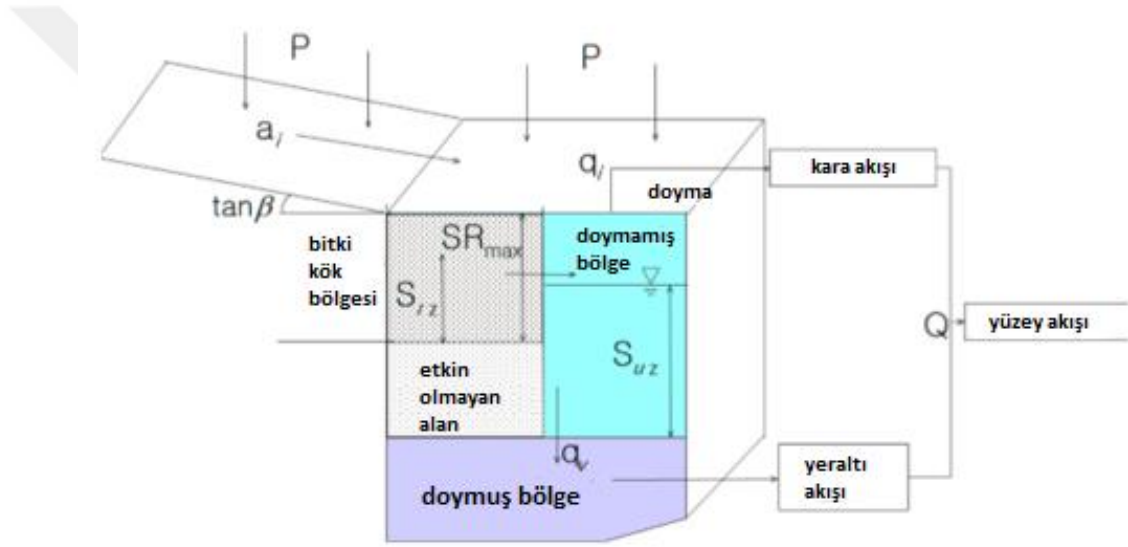
Tablo 3.12. Validasyon sonuçları

	Validasyon Sonuçları(NSE)		
Tarihler	88Temmuz	89Kasım	91Nisan
HEC-HMS	0,818	0,813	0,691

Tablolardaki sonuçlara göre kalibrasyon 0,60-0,96, validasyon 0,69-0,82 aralığındadır. Değerlerin 1'e yakın oluşu ve validasyon değerlerinin iyi olduğu görüldüğünden başarılı bir modelleme yaptığı sonucuna varılabilir.

4. TOPMODEL

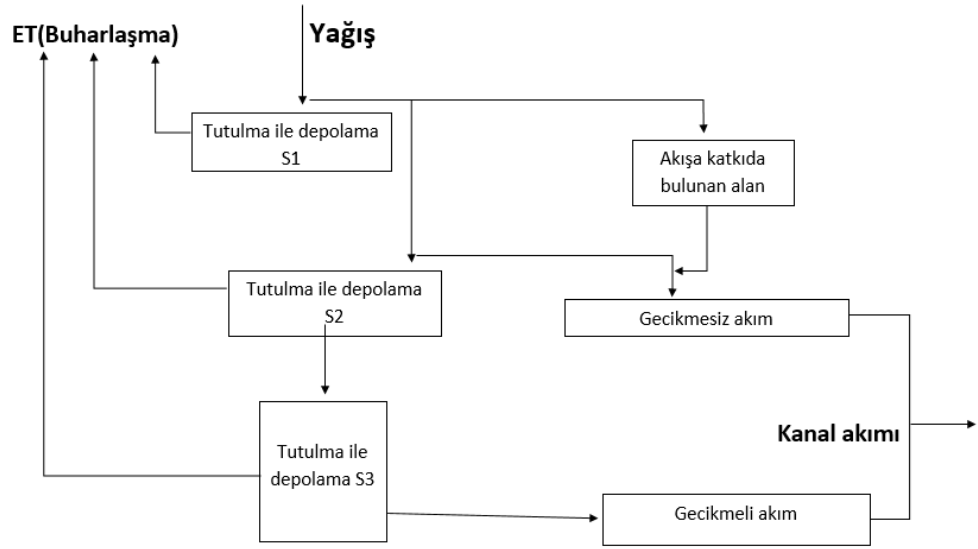
TOPMODEL (Beven ve Kirkby,1979) küçük havzalardaki olayların incelenmesinde sıklıkla kullanılan yarı dağılımlı fiziksel tabanlı bir modeldir. Akım hidrografını oluşturan taban akımı, doygunluk ve sızma (infiltrasyon) fazlası yüzey suyu benzeştirilebilmesi ve gözlem değerleri ile tutarlı sonuçlar verebilmesi en önde gelen avantajlarıdır. Benzetim sırasında az sayıda parametre ve kalibrasyon gerekmektedir. (Beven,2000;Anderson vd.,1997). Model iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda havza yükseklik modelinin her hücresinde oluşan infiltrasyon fazlası (Horton tipi) ve doygunluk fazlası (Dundee tipi) anlık akımlar simüle edilmekte ve diğer kısımda ise her bir noktada oluşan anlık akımın havza çıkışına ötelenerek simüle edilmektedir.



Şekil 4.1. TOPMODEL temel konsepti (düzenlemiş [14])

P (yağış), a_i (birim kontur uzunluğu başına eğim alanı), q_i (birim genişlik başına akış), S_{rz} (kök bölgesi eksikliği), S_{uz} (doymamış bölgedeki yerel su deposu), q_v (su tablasına(birim alan başına) yerel olarak giren su), Q (havza ünitesinin drenajı) temsil eder.

Başlangıçta küçük havzaları simüle etmek için geliştirilmiştir. Minimum parametre ve makul sonuçların elde edildiği görülmüştür. TOPMODEL akışın iyi simülasyonlarını ve değişken katkıda bulunan alanların dikkate değer bir şekilde simülasyonlarını sağlar.



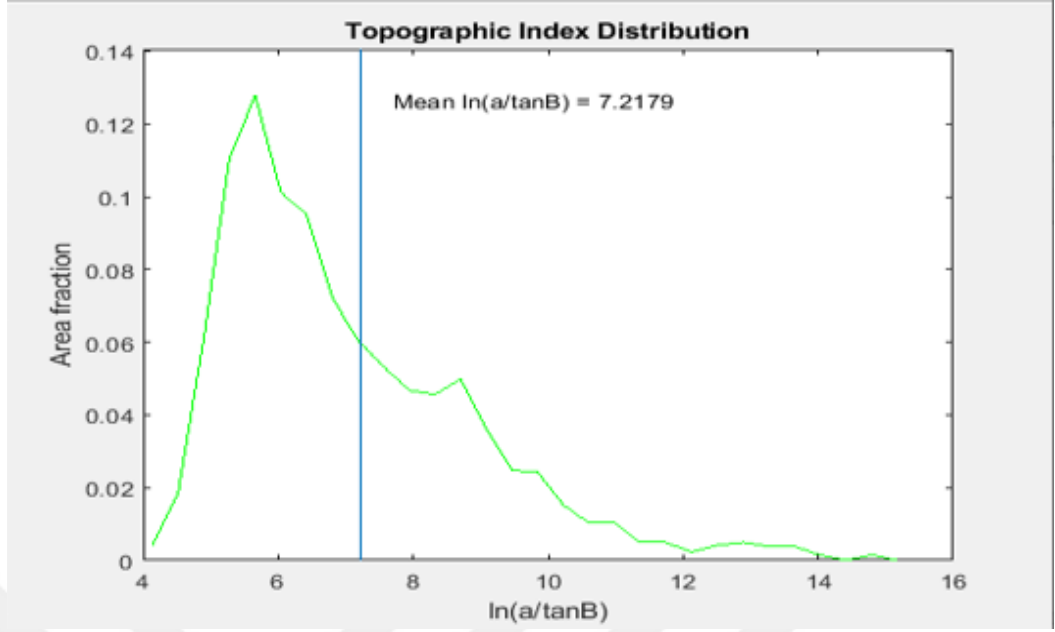
Şekil 4.2. TOPMODEL akım süreçlerinin şematik gösterimi (Beven vd.,1984)

Model, su haznesinin basitleştirilmiş bir mekânsal olarak dağılmış cevabını taklit etmeyi mümkün kılan, hidrolojik benzerliğin bir ölçüsü olarak topografik indeks kullanır: aynı indeksi olan tüm piksellerin hidrolik yanıtı aynıdır. Bu benzerlik kavramı, sığ yeraltı suyunun dinamikleri ile ilgili üç temel varsayım üzerine kuruludur. Yeraltı suyu akışı yeterince temsil edilmektedir, suyun yeraltı suyundaki şarjın havzada tek biçimli olması, yerel hidrolik gradyan sabit ve yerel yüzey gradyanına eşit kabul edilebilir.

Su miktarı dengesi ve Darcy yasası esas olarak hidrolojik süreçleri tanımlamak için kullanılır. Topografik indeks, DEM verilerine dayalı olarak eğim boyunca akış eğilimi ve serbest yerçekimi drenaj akışının disiplinini tanımlamak için çıkarılmıştır. Endeks, alttaki yüzeyin mekânsal varyasyonunun hidrolojik döngü üzerindeki etkisini yansıtır.(Beven ve Kirkby 1979).

Topografi modelde $\ln(a/\tan \beta)$ olarak tanımlanan topografik indeks ile temsil edilir.Burada a,toplam yukarı eğime katkıda bulunan alan ve $\tan \beta$,hidrolik eğimi diğer bir deyişle bölgesel yüzey eğimini temsil eder.

Topografik indeks, su toplama havzasının herhangi bir noktasında su tablası derinliklerini tahmin etmek için kullanılır. Kurukavak havzasına ait topografik indeks dağılımı Şekil 4.3 ' te verilmiştir.



Şekil 4.3. Kurukavak havzası için topografik indeks dağılımı

TOPMODEL'in temelini oluşturan formül, süreklilik denklemine ve Darcy Yasasına dayanmaktadır. Model denklemi aşağıdaki gibi bazı varsayımlar ile geliştirilmiştir. İlk olarak, havzadaki su akışının sabit bir durumda olduğu varsayılmaktadır. İkinci olarak, su havzasındaki doymuş toprağın hidrolik gradyanını temsil eden $\tan\beta$ olarak ifade edilebilir. Üçüncüsü, doyma geçirgenlik katsayısı (T_o , m^2/s) toprak yüzeyinden yeraltı suyu yüzeyine katlanarak (exponentially) azalır. Bu varsayımlar, havzanın depolanması ve yeraltı suyunda en önemli faktörün, topografik ıslaklık endeksi olarak da bilinen topografik indeks olduğunu göstermiştir. Toprağın doymuş hidrolik iletkenliği (K_s , m/h) derinliğe göre negatif üstel fonksiyon olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$K_s = K_o \exp(-f_z) \quad (4.1)$$

$z(m)$, yer altı su derinliği, $K_o(m/sa)$: toprağın zemin yüzeyindeki geçirgenlik katsayısı, f ($1/m$): z 'ye bağlı olarak K_s değişim katsayısı oranıdır. f , tüm havzada sabit olarak kabul edilmiştir.

Doymuş tabakadaki hidrolik gradyan, havzada topografik bir eğim olarak ifade edilebilir ve doymuş tabakanın davranışı Darcy Yasası'nı izler. Bu nedenle, i noktasında birim genişlik $q_i(m^2/sa)$ başına akış hızı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q_i = T_i(z_i) \tan \beta_i \quad (4.2)$$

Burada $\tan \beta_i$, i konumundaki yüzeyin eğimi ve $T_i(z_i)$ geçirgenlik katsayısıdır. Denklemden (4.2) $t_i(z_i)$, denklemin (4.1) aşağıdaki gibi entegre edilmesiyle elde edilebilir:

$$T_i(z_i) = \int_{z_i}^{z(t)} Ks(x) dx = \frac{K_o}{f} [\exp(-fz_i) - \exp(-fz)] = \frac{1}{f} [Ks(z_i) - Ks(z)] \quad (4.3)$$

Genellikle yeraltı suyunun derinliği z büyük olduğunda doyumluk geçirgenlik katsayısı $Ks(z)$ (m / s) önemsizdir, çünkü derinlik z_i 'deki doyumluk geçirgenliği $Ks(z_i)$ ile karşılaştırıldığında çok küçüktür.

Bu nedenle Denklem (4.3) 'ün Denklem (4.2) ile değiştirilmesi aşağıdaki denklemi verir.

$$q_i = \frac{K_o}{f} \tan \beta_i \exp(-fz_i) = T_o \tan \beta_i \exp(-fz_i) \quad (4.4)$$

burada $T_o = K_o / f$, tamamen doymuş toprağın geçirgenlik katsayısıdır. K_o ve f 'nin tüm havzada sabit olduğu varsayılmıştır. Ek olarak, doyumluk katmanındaki akışın davranışı aşağıdaki gibi sürekli bir sabit durum olarak ifade edilebilir.

$$q_i = a_i R = T_o \tan \beta_i \exp(-fz_i) \quad (4.5)$$

Burada R (m / s) herhangi bir zamanda yeraltı suyunun uzamsal olarak sabit şarjıdır ve a_i (m), i noktası boyunca boşaltılan birim kontur uzunluğu başına eğim alanıdır. Denklem (4.5) z_i 'ye göre özetlenebilir ve tüm havzanın ortalama değeri (z) aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$z_i = -\frac{1}{f} \left(\ln \frac{R a_i}{T_o \tan \beta_i} \right) \quad (4.6)$$

burada R uzamsal olarak sabittir ve $\ln(a / \tan \beta)$ toprak topografik indeksidir. Denklem (4.6) 'ya ortalama topografik indekslerin verilmesi aşağıdaki denklemi verir.

$$z_i = \bar{z} - \frac{1}{f} \left(\ln \frac{a_i}{T_o \tan \beta_i} - E \left(\ln \frac{a_i}{T_o \tan \beta_i} \right) \right) \quad (4.7)$$

burada E , tüm havzanın ortalama topografik indekslerini gösterir. yeraltı suyunun derinlik z_i 'sinin faktör f ve topografik indeks ile belirlenebileceğini göstermektedir.

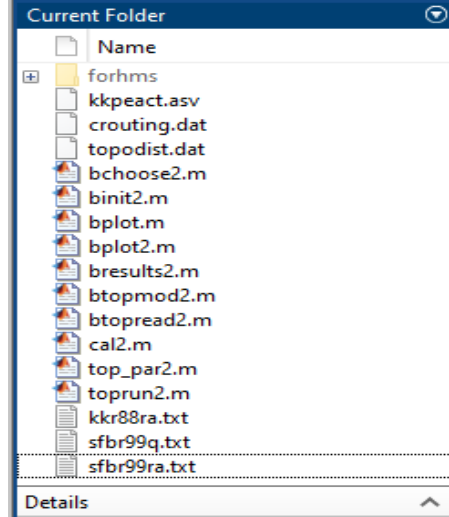
Bu nedenle, z_i Denkleminin (4.7) değeri, topografik indekslerin mekansal dağılımını tahmin etmek ve topografik endeksin mekansal olarak sabit olduğu varsayılarak tüm su havzasındaki yüzey suyu ve yeraltı suyu seviyelerinin davranışını tahmin etmek için kullanılabilir. Toprağın topografik faktörleri ve topografik sabitleri havzadaki tüm akışların davranışını temsil eder. Aynı toprak topografik faktörleri ve topografik sabitleri olan tüm noktalar aynı akış performansını gösterir. Bu nedenle toprak topografik faktörleri ve topografik sabitleri havzalar arasındaki hidrolojik benzerlikleri gösterebilir.

Az sayıda parametresi ve havzayı topografik olarak ele almasından dolayı basit ama etkili bir modeldir. Ayrıca Matlab’ da oluşturulan bir program yapısı olduğundan birçok değişik versiyonu da mevcuttur. Temsil edilen havzaya ve fiziksel özelliklerine göre modelde ve model parametrelerinde değişiklikler yapılabilir.

4.1. TOPMODEL Model Uygulaması

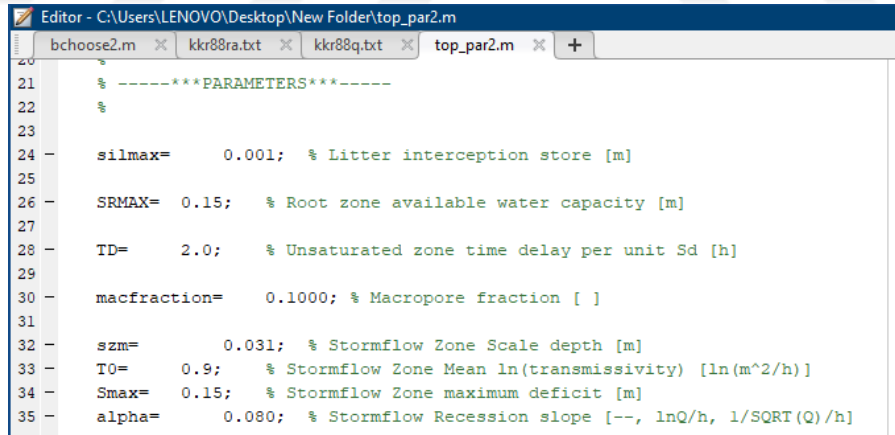
Matlab(Matrix Laboratory) ilk olarak bir matrix programlama dili olarak oluşturulmuş iyi bilinen bir programlama dilidir. Özellikle mühendislik uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılır. Sistemlerin analizi ve matematiksel hesaplamaların gerçekleştirilmesinde sıkça kullanılır. Dosyalar Matlab içerisine yüklenerek analizi ve görselleştirilmesi yapılabilir.

TOPMODEL Matlab programının içinde oluşturulmuş bir modeldir. Bu çalışmada Matlab R2019b versiyonu kullanılmıştır. Matlab’ın içinde oluşturulmuş olması yeni özelliklerin eklenip çıkarılması açısından kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca kullanımı kolay bir yazılımdır. Kullanıcının modelleme isteğine göre değiştirilebilen bir yapısı vardır. Eldeki verilerin durumuna ya da özellikle ele alınması istenen duruma göre kullanıcı tarafından düzenlenebilir ve yeniden oluşturulabilir. Örneğin orijinal TOPMODEL yapısı değiştirilerek geliştirilmiş TOPMODEL, STOPMODEL vb. modeller oluşturulmuştur. Bu bakımdan oldukça kullanışlı bir modelleme seçeneğidir.



Şekil 4.4. Programı oluşturan dosyalar

Matlab da dosya açılarak programın bileşenleri, modellemede kullanılacak formüller ve modelin sonucunun görsel bir şekilde verilmesini sağlayan bütün dosyalar oluşturulur. Matlab içerisinde oluşturan dosyalar programı oluşturulur. Yağış-akış ve havzaya ait diğer hidro-meteorolojik veriler dosya halinde yazılıma aktarılır. Verilerin aktarımından sonraki işlem parametre giriş işlemidir. Parametrelerin bulunduğu dosya kullanılarak parametre girişi yapılır.



Şekil 4.5. Parametre giriş dosyası

Komut satırı penceresi program hakkında sonuçların ve modelleme yapmak istenen aralık bilgisinin girilmesi için yardımcı olmaktadır. Yazılımda başlangıç ve bitiş sürelerinin hangi cinsten (dk, sa, gün) girileceği önceden belirlenir. Bu çalışmada TOPMODEL için başlangıç ve bitiş aralıkları modelleme günlük verilerden oluştuğu için ve ay bazında modelleme yapıldığı için bir ayın başlangıç ve bitiş gününü ifade eder. Bu değerler girilerek model çalıştırılmış olur. Model sonuçları grafik şeklinde program çıktısı olarak karşımıza çıkar.

```

Command Window

Catchment ln(a/tanB) data read from file topodist.dat

Loading KKR WY 1988 Discharge Data
Loading KKR WY 1988 Precipitation Data
Loading KKR WY 1988 Pot. Evapotranspiration Data

Time for start of simulation: 1
Time for end of simulation: 30

<<<PERFORMING SIMULATION>>>

START                FINISH
*****
<----->

```

Şekil 4.6. Program komut satırı

4.1.1. Model Parametreleri

TOPMODEL de model parametrelerinin girişi oldukça basittir. Parametreler manuel olarak deneme yanılma yöntemiyle bulunmuştur. Parametre aralıkları belirlenerek kurulacak model için en doğru parametrenin bulunması amaçlanmıştır. Modelde kullanılan parametreler ve parametrelerle ilgili açıklamalar Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Modelde kullanılan parametreler

Modelde etkili olan Parametreler	Açıklaması
$S_{zm}(m)$	Toprağın doymamış bölgesinin maksimum derinliği
$T_o(m^2/sa)$	Tüm havzaya eşit olarak dağılmış kabul edilen doymuş hidrolik iletkenlik
$T_d(sa)$	Yerçekimi drenajının gecikme parametresi
$S_{rmax}(m)$	Bitki örtüsü kök bölgesindeki maksimum su kapasitesi
$SR_0(m)$	Kök bölgesindeki ilk su kapasitesi
$S_{max}(m)$	Fırtına akış bölgesi maksimum eksiklik
$xK_o(1/sa)$	Transfer katsayısı

4.1.2. Model Kalibrasyon ve Validasyonu

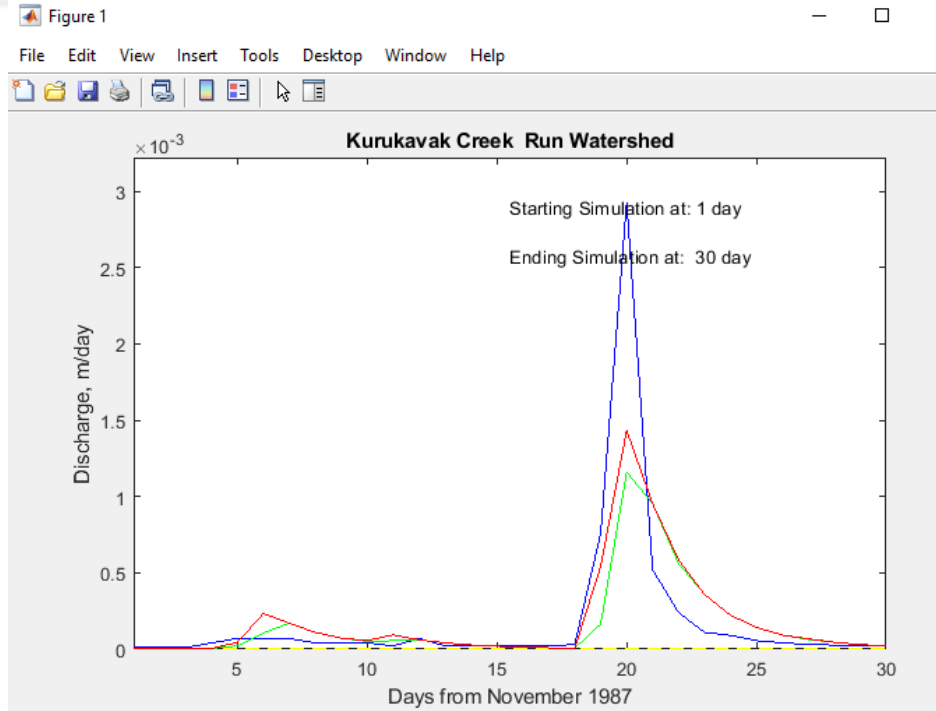
Kalibrasyon için 1987-1991 yıllarına ait yağış-akış verilerinden 9 adet farklı aya ait günlük veriler seçilerek kalibrasyon yapılmıştır. Model parametreleri deneme yanılma yoluyla manuel olarak bulunmuştur. Yapılan kalibrasyonlar sonucu NSE değerleri kontrol edilmiş ve uygunluğu test edildikten sonra parametre aralıkları belirlenmiştir. Modelde kullanılan ve kalibre edilen parametreler Tablo 4.2. de, Tablo 4.3 de ise kalibrasyon sonucu bulunan parametrelerin alabileceği değer aralıkları belirtilmiştir.

Tablo 4.2. Kalibre edilen parametreler

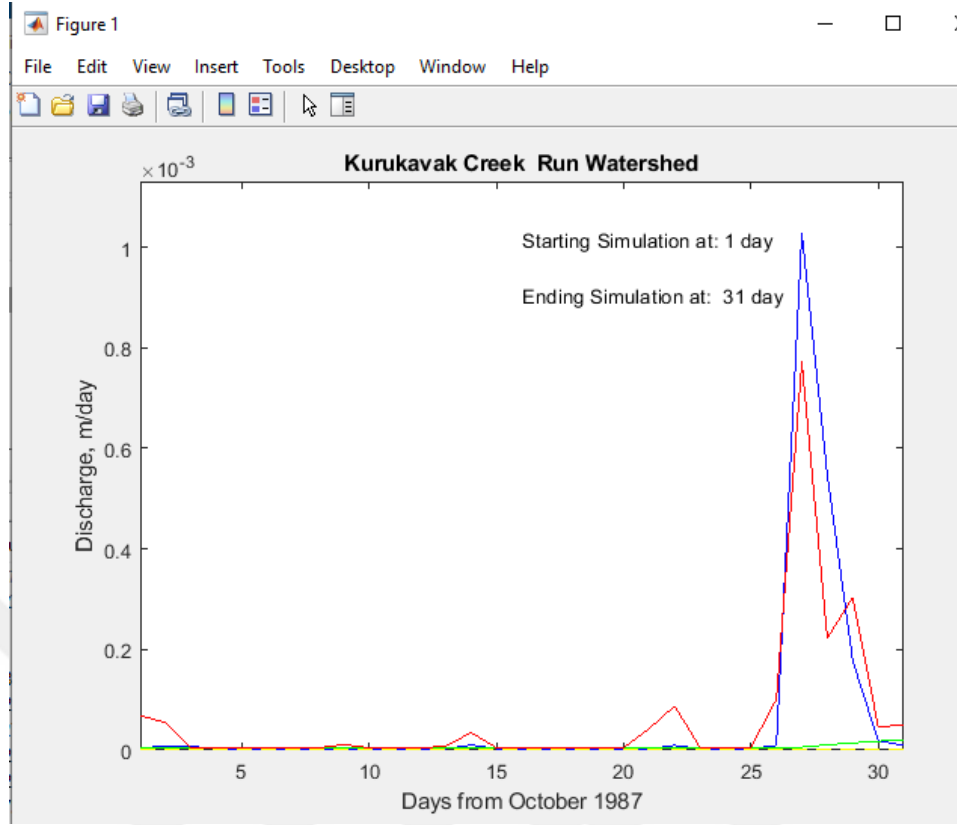
Aylar/Parametreler	Kalibrasyon Parametreleri(TOPMODEL)				
	Silmax (m)	TD(sa)	Szm (m)	To (Inm ² /s)	xKo(1/sa)
87Ekim	0,003	5	0,05	0,1	0,05
87Kasım	0,001	5	0,0053	3,5	0,0177
89Ekim	0,001	5	0,035	2	0,015
90Mayıs	0,001	5	0,025	1,5	0,0272
91Mayıs	0,001	0,5	0,01	9	0,035
91Temmuz	0,001	2	0,031	0,9	0,035

Tablo 4.3. Parametre aralıkları

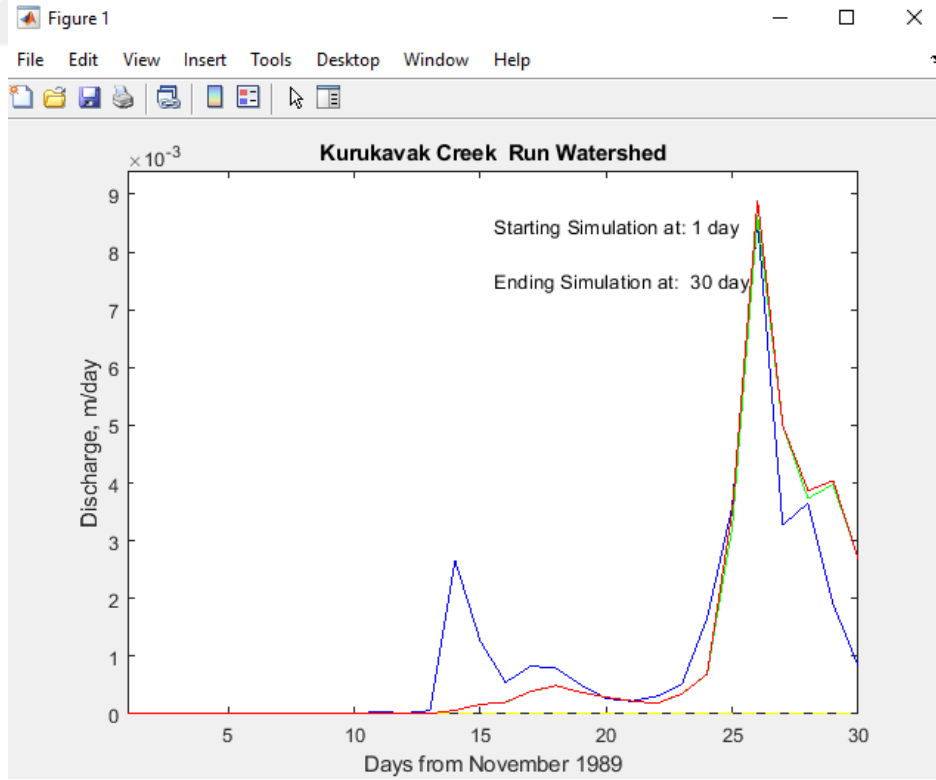
Parametre Aralıkları	
Silmax(m)	0,001-0,003
TD(sa)	0,5-2
Szm(m)	0,0053-0,05
To(Inm ² /sa)	0,1-9
xKo(1/sa)	0,015-0,05



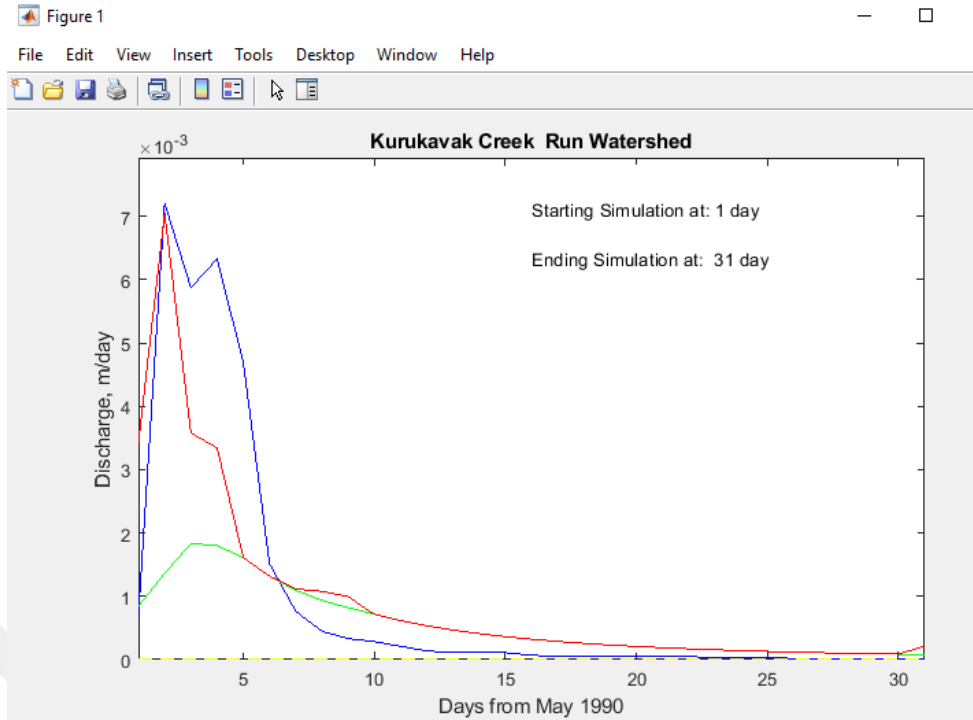
Şekil 4.7. 1987 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi



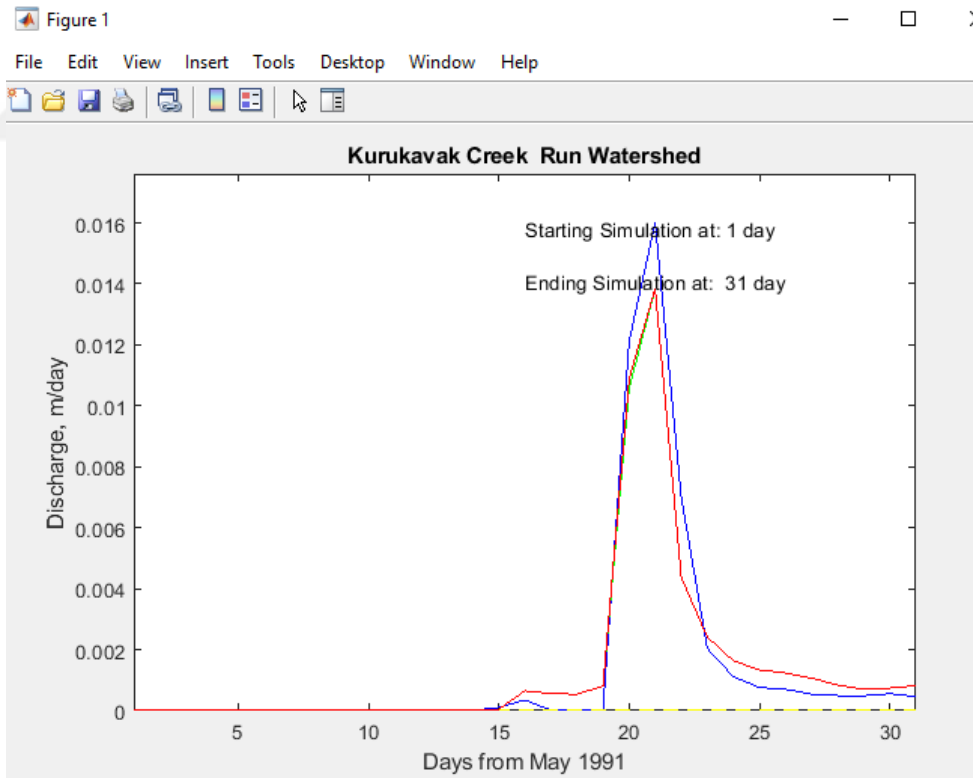
Şekil 4.8. 1987 Kasım ayına ait kalibrasyon hidrografi



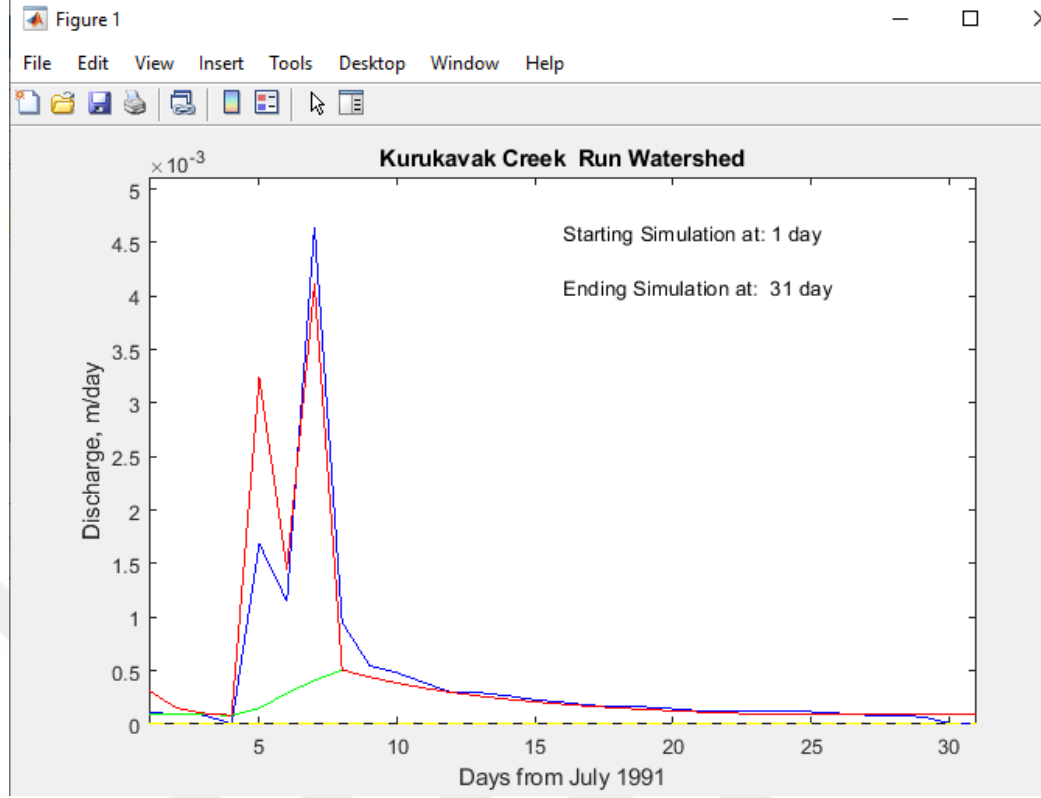
Şekil 4.9. 1989 Ekim ayına ait kalibrasyon hidrografi



Şekil 4.10. 1990 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografi



Şekil 4.11. 1991 Mayıs ayına ait kalibrasyon hidrografi

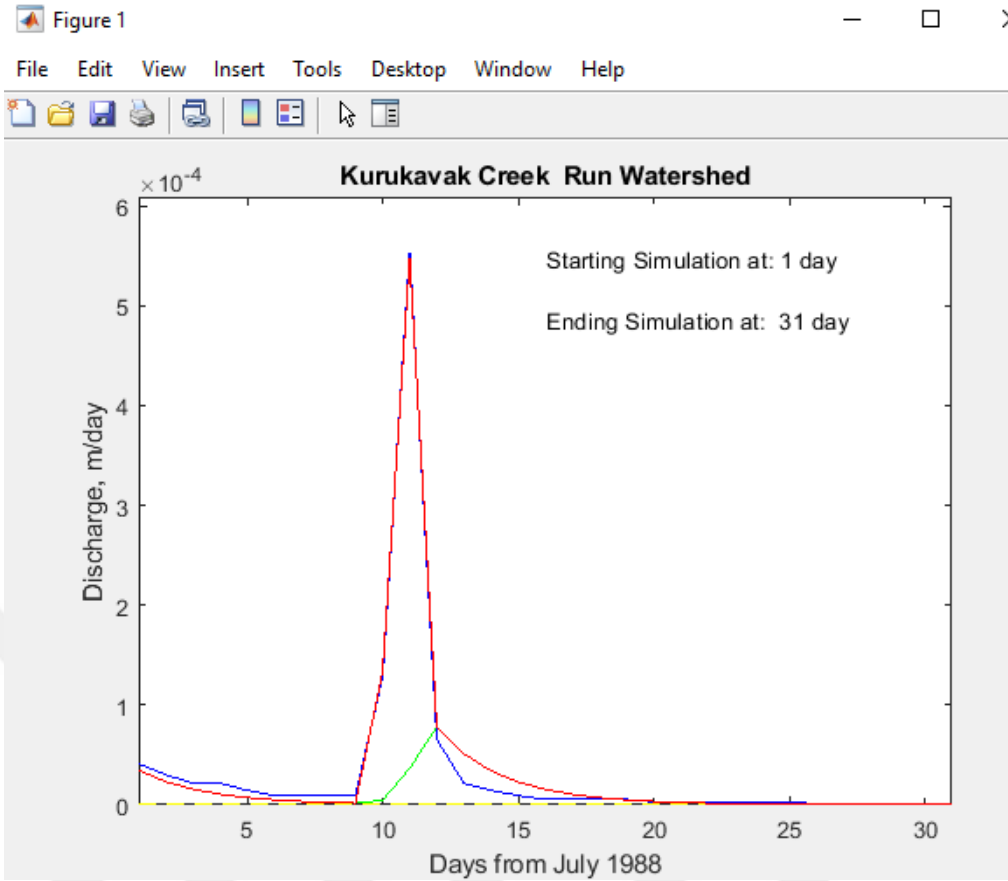


Şekil 4.12. 1991 Temmuz ayına ait kalibrasyon hidrografi

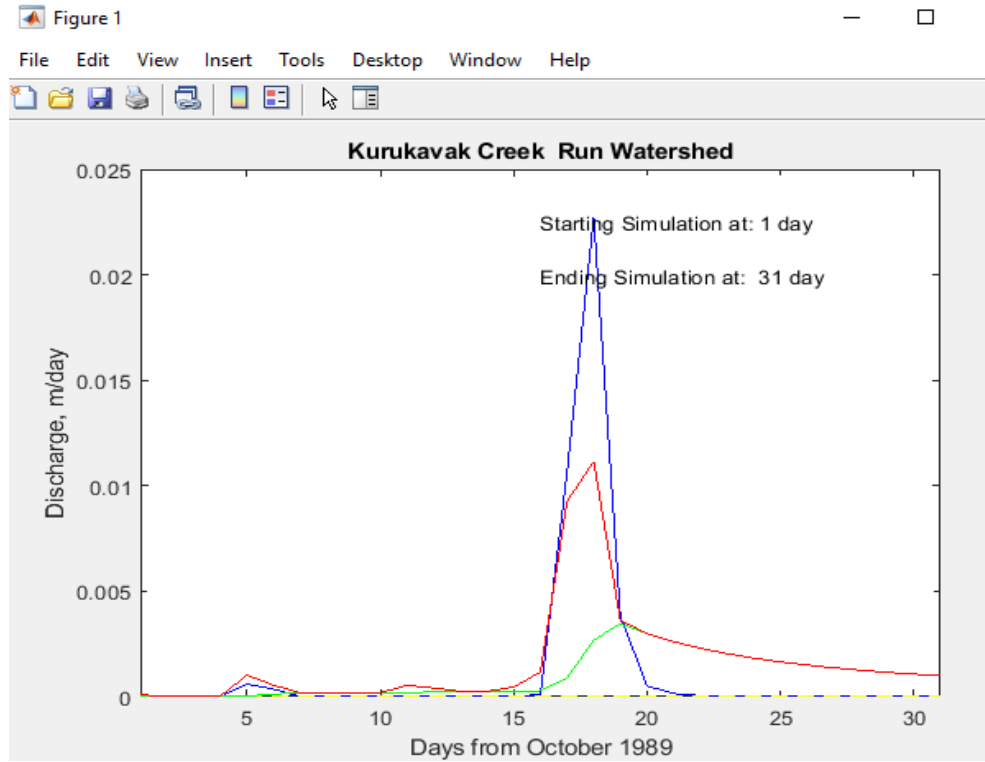
Kalibrasyonlar yapıp parametre aralıkları bulunduğundan sonra modelin doğruluğunu kontrol etmek için validasyon yapılmıştır. Validasyon için 3 adet farklı aya ait günlük veriler seçilmiş ve simüle edilmiştir. Validasyon sonuçlarına ait değerler Tablo 4.4 de verilmiştir.

Tablo 4.4. Validasyonda seçilen model parametreleri

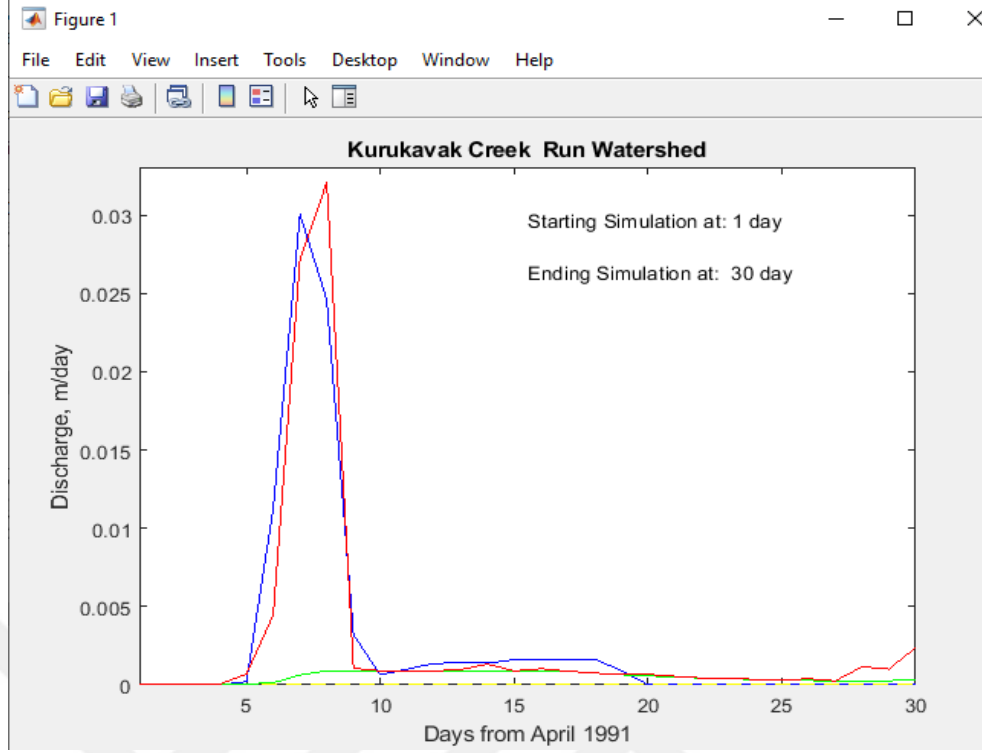
Aylar/Parametreler	Validasyon Parametreleri(TOPMODEL)				
	Silmax(m)	TD(sa)	Szm(m)	To(Inm2/sa)	xKo(1/sa)
88Temmuz	0,003	5,1	0,005	0,5	0,015
89Kasım	0,001	5	0,007	7	0,015
91Nisan	0,001	5	0,0225	0,2	0,018



Şekil 4.13. 1988 Temmuz ayına ait validasyon hidrografi



Şekil 4.14. 1989 Kasım ayına ait validasyon hidrografi



Şekil 4.15. 1991 Nisan ayına ait validasyon hidrografi

Tablo 4.5. Kalibrasyon sonuçları

	Kalibrasyon Sonuçları (NSE)					
Tarihler	87 Ekim	87 Kasım	89 Ekim	90 Mayıs	91 Mayıs	91 Temmuz
TOPMODEL	0,832433	0,668465	0,70844	0,732401	0,961	0,868513

Tablo 4.6. Validasyon sonuçları

	Validasyon Sonuçları (NSE)		
Tarihler	88 Temmuz	89 Kasım	91 Nisan
TOPMODEL	0,992485	0,785399	0,911218

Tablolardaki sonuçlara göre kalibrasyon 0,67-0,96, validasyon 0,78-0,99 aralığındadır. Değerlerin 1'e yakın oluşu ve validasyon değerlerinin iyi olduğu görüldüğünden başarılı bir modelleme yaptığı sonucuna varılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kurukavak deresi havzasında 1987-1991 yılları arasında gözlenen günlük veriler tümsel model olan HEC-HMS ve yarı dağılımlı model olan TOPMODEL kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada farklı aylara ait 6 aylık verilerle kalibrasyon ve 3 aylık verilerle validasyon gerçekleştirilmiştir.

HEC-HMS modelleme çalışmasında SCS-CN kayıp metodu ve Clark Birim Hidrograf dönüşüm metodu kullanılarak modelleme yapılmış ve her iki modelin performansını ölçmek için NSE kullanılmıştır. HEC için kalibrasyon NSE değeri 0,60-0,96, validasyon 0,69-0,82 aralığındadır. Elde edilen sonuçlar modelleme çalışmasının uygun olduğunu göstermiştir.

Diğer taraftan TOPMODEL ile yapılan modelleme sonucunda kalibrasyon 0,67-0,96, validasyon 0,78-0,99 aralığındadır. Değerlerin 1'e yakın oluşu ve validasyon değerlerinin iyi olduğu görüldüğünden başarılı bir modelleme yaptığı sonucuna varılabilir. Modellere ait sonuçların gösterildiği tablo aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kalibrasyon ve validasyon sonuçları

	Kalibrasyon Sonuçları(NSE)						Validasyon Sonuçları(NSE)		
Tarihler	1987 Ekim	1987 Kasım	1989 Ekim	1990 Mayıs	1991 Mayıs	1991 Temmuz	1988 Temmuz	1989 Kasım	1991 Nisan
TOPMODEL	0,83	0,67	0,71	0,732	0,961	0,87	0,99	0,79	0,911
HEC-HMS	0,81	0,804	0,91	0,863	0,96	0,601	0,818	0,813	0,691

Tabloda iki modelden de elde edilen NSE sonuçları verilmiştir. Verilen tablo dikkatle incelendiğinde TOPMODEL'in daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Örneğin 1991 yılına ait yapılan modelleme çalışmasının validasyon sonucu TOPMODEL'e göre 0,911, HEC-HMS'ye göre sonuç 0,691 bulunmuştur. Diğer bir deyişle TOPMODEL'in bu ay için HEC-HMS'ye göre daha iyi modelleme yaptığı söylenebilmektedir.

Her iki modele de genel olarak bakıldığında HEC-HMS'nin TOPMODEL'e göre daha geniş bir parametre ve modelleme yelpazesi vardır. Bu durum modelleme aşamasında çok sayıda parametrenin belirlenmesini gerektirir ve modelleme sürecini zorlaştırır. İsteğe bağlı modülü ve parametresi nedeniyle fiziksel bilgisi eksik havzalara uygulamak zordur.

Buna karşılık, yarı dağıtılmış TOPMODEL tarafından yapılan akış simülasyonlarında model daha az hassas parametrelere sahiptir. Modelin, hidrolojik süreçleri başarılı bir şekilde modelleme başarısı modelin topografya üzerine kurulu olmasıyla açıklanabilir.

Sonuç olarak her iki modelde de başarılı sonuçlar elde edilmiş ve havza uygun bir şekilde temsil edilmiştir. Ama sonuçlar dikkatle incelendiğinden bir TOPMODEL'in HEC-HMS modeline göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışmadan yola çıkarak yarı dağıtılmış modellerin küçük su havzalarında akışı tahmin etmek için daha iyi sonuç verdiğine ulaşılabilir. Uygulanan modelin, su kaynakları planlamasında, yönetiminde ve ihtiyacımız olan hidrolojik verilerin tahmini ve değerlendirilmesinde kullanabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçların Kurukavak havzasında havzadaki su kaynaklarının kullanımının etkili bir şekilde planlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Model benzer hidrometeorolojik ve arazi kullanım özelliklerine sahip diğer havzalara uygulanabilir.

TOPMODEL'in ve HEC-HMS'nin daha kapsamlı uygulanabilirliğini doğrulamak için büyük ve çeşitli havzalarda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. İlerleyen çalışmalarda birden fazla havza ele alınarak model daha detaylı karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Tombul, M., Şorman, A.Ü., Akyürek, Z. Ve Yılmaz, M. (2007). *Kurukavak Havzasında TOPMODEL Kullanılarak Akış Hidrografının Modellenmesi Uygulama*. V.Ulusal Hidroloji Kongresi, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- [2] Chu, X., ve Steinmean, A. (2009). *Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135(1), 119-124.
- [3] Razi, M.A.M., Ariffin, J., Tahir W. Ve Arish, N.A.M. (2010). *Flood Estimation Studies Using Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) for Johor River, Malaysia*. Journal of Applied Sciences, 10(11), 930-939.
- [4] Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Murwira, A. (2011). *Simulation of Streamflow Using TOPMODEL in the Upper Save River Catchment of Zimbabwe*. Physics and Chemistry of the Earth, 36,806-813.
- [5] Gebre, S.L. (2015). *Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin*. Journal of Waste Water Treatment and Analysis,06(02).
- [6] Torma, P., Szeles, B., ve Hajnal, G. (2014). *Applicability of Different Hydrological Model Concepts on Small-Catchments: Case Study of Bükkös Creek, Hungary*. Acta Silvatica Lignaria Hungarica, 10(11),77-90.
- [7] Sampath, S.B., Weerakoon, B., ve Herath, S. (2015). *HEC-HMS Model for Runoff Simulation in a Tropical Catchment with Intra-Basin Diversions:Case Study of the Deduru,Oya River Basin,Sri Lanka*. Engineer, 48(1),1-9.
- [8] Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Nhapi ve Dube, T., (2017). *Ungauged Runoff Simulation in Upper Manyame Catchment Zimbabwe:Application of the HEC-HMS Model*. Physics and Chemistry of the Earth A/B/C, 100,371-382.
- [9] Rogelis, M.C., Werner, M., Obregon, N. Ve Wright, N. (2016). *Hydrological Model Assessment for Flood Early Warning in a Tropical High Mountain Basin*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions.
- [10] Bora, E., Onuşluel Gül, G. (2019). *Modeling of Floods in Güvenç Basin, Ankara Using HEC-HMS*. Turkish Journal of Water Science and Management, 3(1),44-47.

- [11] Mesta, B., Kargı, P., Tezyapar, İ., Ayvaz, M., Göktaş, R., Kentel, E. Ve Tezel, U. (2019). *Yenicegörmüce Havzası'ndaki Yağış-Akış İlişkisinin HEC-HMS Hidrolojik Modeli ile Belirlenmesi*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(8),949-955.
- [12] Akay, H., Baduna Koçyiğit, M. (2019). *Akım Ölçümü Alınmayan İki Alt Havzanın Dolaysız Akış Hidrograflarının Anlık Birim Hidrograf Yaklaşımıyla Karşılaştırılması*. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2),327-334.
- [13] Park, D., Fan, H.J., Zhu J.J., Oh, S.E., Um, M.J., ve Jung, K. (2019). *Evaluation of Reliable Digital Elevation Model Resolution for TOPMODEL in Two Mountainous Watersheds, South Korea*. Applied Sciences, 9(18),3690.
- [14] Beven, K. (1997). *TOPMODEL: A Critique*. Hydrological Processes, 11, 1069-1085.
- [15] Kıkıne, B.D. (2017). *Hydrological Modeling and Forecasting Using HEC-HMS Soil Moisture Accounting for A Snow Dominated Basin in Turkey*. Master of Science Thesis. Eskişehir: Anadolu University.
- [16] Kacar, T. (2017). *Aras Havzası'nda HEC-HMS ile Hidrolojik Modelleme ve Akım Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- [17] Gülbaz, S. (2019). *Sayısal Modeller ile Taşkın Yayılım Haritasının Oluşturulması ve Risk Altında Olan Alanların Belirlenmesi: Tükköse Deresi Örneği*. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2),335-349.
- [18] Sigdel, A., Jha, R., Bhatta, D., Abou-Shanab, R.A.I., Sapireddy, V.R., ve Jeon, B.H. (2011). *Applicability of TOPMODEL in the Catchments of Nepal: Bagmati River Basin*. Geosystem Engineering, 14(4),181-190.
- [19] Karas, E. (2005). *Küçükermalı ve Güvenç Havzalarının Su ve Sediment Verimlerine Göre Sürdürülebilir Yöntemi*. Doktora Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] Balov, M.N. (2014). *Akış Hidrografi Tahmin Modelleri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [21] Tekeli, Y.İ. (2009). *Su Toplama Havzalarının Yağış-Akım İlişkilerinde Yüzey Akışa Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi ve Farklı Yöntemlerin Örnek Havzalarda Uygulanması*. Doktora Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Temelli, S.U. (2018). *Mantıksal Model (Bulanık Mantık (ANFIS)) ve Fiziksel Tabanlı (HEC-HMS) Modelleri Kullanılarak Akım Modellemesi ve Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] Uğurluoğlu, A. (2017). *Su Havzalarında Hidrolojik Modelleme: Manyas Gölü Yukarı Havzası Uygulaması*. Uzmanlık Tezi. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- [24] Jeziorska, J., ve Niedzielski, T. (2018). *Applicability of TOPMODEL in the Mountainous Catchments in the Upper Nysa Klodzka River Basin (SW Poland)*. Acta Geophysica, 66(2),203-222.
- [25] Azizian, A., ve Shookohi, A. (2019). *Development of A New Method for Estimating SCS Curve Number Using TOPMODEL Concept of Wetness Index (Case Study: Kasilian and Jong Watersheds,Iran)*. Acta Geophysica.
- [26] Kargı, P.G. (2019). *Ergene Havzası Yağış-Akış İlişkilerinin Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme ile Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] Akdeğirmen, Ö. (2019). *HEC-HMS Hydrological Model Application Using SCS Curve Number and Soil Moisture Accounting:Case Study of Alaşehir Basin*. Master of Science Thesis. İzmir: İzmir Institute of Technology.
- [28] Beven, K. (2001). *Rainfall-Runoff Modeling*. The Primer, Wiley, Chichester, p.360.
- [29]USACE(2015). *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manual*.Davis,California.
- [30] USACE (2000). *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manual*. Davis, California.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-5075-4703

İsim-Soyisim	:Gözde Nisan AYCI
Yabancı Diller	:İngilizce
Doğum yeri ve Tarihi	:Trabzon/01.04.1995
Email	:gozdenisan95@gmail.com

Eğitim Durumu

- Samsun-Ondokuz Mayıs Üniversitesi-Lisan Eğitimi
- Eskişehir-Eskişehir Teknik Üniversitesi-Yüksek Lisans Eğitimi