

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLOJİK PROSES MODELLERİ İLE HAVZA ŞEBEKE MODELLERİ
ENTEGRASYONU – DARLIK HAVZASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KALFAZADE

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

EYLÜL 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLOJİK PROSES MODELLERİ İLE HAVZA ŞEBEKE MODELLERİ
ENTEGRASYONU – DARLIK HAVZASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KALFAZADE

501111724

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alpaslan EKDAL

EYLÜL 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111724 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet KALFAZADE**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HİDROLOJİK PROSES MODELLERİ İLE HAVZA ŞEBEKE MODELLERİ ENTEGRASYONU – DARLIK HAVZASI ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Alpaslan EKDAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Melike GÜREL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nusret KARAKAYA

Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Eylül 2015**

Savunma Tarihi : **16 Eylül 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Doğduğum günden beri hep arkamda olmuş, yaptıkları fedakarlıklara minnettar olduğum, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem Meltem Kalfazade, babam Mustafa Kalfazade ve adeta benim için ikinci bir anne olmuş halam Şule Kalfazade'ye ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu tez kapsamında ve diğer çalışmalarda bana yol gösteren danışman Hocam Doç. Dr. Alpaslan Ekdal'a, çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen, Hocam Doç. Dr. Ali Ertürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan arazi çalışmalarında bilgilerini aktaran, yöntemlerini bizimle paylaşan, ölçümlerin yapılabilmesini sağlayan Dr. Özcan Gaygusuz'a, bu çalışmada ve diğer çalışmalarda bana destek olan Araş. Gör. Gökhan Cüceloğlu'na, Salim Yaykırın'a, Burak Kaynaroğlu'na teşekkür ederim.

Yoğunluğu sebebiyle bu çalışmayla doğrudan alakalı olmasa da diğer çalışmalarda bana her zaman destek olan Prof. Dr. Melike Gürel'e teşekkürü bir borç bilirim.

Gerçek manada hayatımın ilk yıllarından beri yanımda olup dostluğunu hiçbir şeye değişmeyeceğim Irmak Hatipoğlu'na teşekkür etmek isterim.

Eylül 2015

Mehmet KALFAZADE
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. SU KAYNAKLARI MODELLEME.....	3
2.1 Hidrolojik Proses Modelleri	4
2.1.1 WEAP	4
2.1.2 SWAT	5
2.1.3 HEC – HMS	7
2.1.4 MIKE SHE.....	8
2.1.5 HSPF.....	9
2.1.6 AGNPS.....	10
2.2 Havza Şebeke Modelleri	11
2.2.1 MODSIM	11
2.2.2 RIBASIM.....	13
2.2.3 Havza modeli olarak kullanılabilir diğer yazılımlar	14
2.2.3.1 GOLDSIM	14
2.2.3.2 STELLA.....	15
3. ÇALIŞMA ALANI.....	17
3.1 Bölgede Yapılmış Diğer Çalışmalar	17
3.2 Konum.....	18
3.3 Sosyo–Demografik Yapı	19
3.4 İklim	20
4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER.....	23
4.1 Arazi Çalışmaları.....	23
4.2 Akarsu Ölçümleri	24
4.3 Ölçüm Noktaları	26
4.4 Akarsularda Hidrograf Öteleme	31
4.5 Modelin Kurulumu	32
4.5.1 Althavzaların oluşturulması	32
4.5.2 Su Kaynakları modeli olarak MODSIM	35
4.5.3 Akarsu ağı	35
4.5.4 Hidrograf öteleme	38
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
KAYNAKLAR	47

EKLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

MODSIM	: River Basin Management Decision Support System
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
WEAP	: Water Evaluation And Planning System
STELLA	: Systems Thinking Educational Learning Laboratory with Animation
RIBASIM	: River Basin Simulation
EPA	: Environmental Protection Agency
USGS	: United States Geological Survey
HEC – HMS	: Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
HSPF	: Hydrological Simulation Program – Fortran
AGNPS	: Agricultural Non – Point Source Pollution Model
CONCEPTS	: Conservational Channel Evolution and Pollutant Transport System
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Darlık Havzası içerisinde bulunan köyler ve nüfus değerleri.	19
Çizelge 4.1 : Hesaplanan debiler (m ³ /s).	26
Çizelge 4.2 : Darlık Deresi ölçüm noktaları.	26
Çizelge 4.3 : Oluşturulan althavzalar ve alanları.	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : WEAP modeli arayüzünden bir görüntü.	4
Şekil 2.2 : SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler.	7
Şekil 2.3 : MIKE SHE modelinin şematik gösterimi (Thompson ve diğ., 2004).	9
Şekil 2.4 : RIBASIM programı ara yüzünden bir görüntü.	13
Şekil 2.5 : GoldSim programında oluşturulmuş basit bir sistem.	14
Şekil 2.6 : GoldSim programı ara yüzünden bir görüntü.	15
Şekil 2.7 : STELLA Programında Oluşturulmuş Basit Bir Akış Diyagramı (Ouyang, Y. 2007).	15
Şekil 3.1 : Darlık Havzası'nın Türkiye'deki konumu.	18
Şekil 3.2 : Darlık Havzası'nın konumu.	19
Şekil 3.3 : 1968 – 2011 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri.	21
Şekil 3.4 : 1968 – 2011 tarihleri arası günlük toplam yağış değerleri.	21
Şekil 4.1 : Arazi çalışmaları sırasında yapılan enkesit ölçümleri.	23
Şekil 4.2 : Akarsu enkesitinde ölçüm yapılan düşeylerde ortalama hızın hesabı.	25
Şekil 4.3 : 22 Şubat 2012'de yapılan arazi çalışmasında elde edilen enkesitler.	27
Şekil 4.4 : 29 Mart 2012'de yapılan arazi çalışmasında elde edilen enkesitler.	28
Şekil 4.5 : 2 Mayıs 2012'de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler.	29
Şekil 4.6 : 11 Haziran 2012'de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler.	30
Şekil 4.7 : 10 Ekim 2012'de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler.	31
Şekil 4.8 : ArcSWAT ile althavzaların oluşturulması.	33
Şekil 4.9 : MODSIM modeline eklenen arkaplan görüntüsü.	35
Şekil 4.10 : Althavzalarda MODSIM akarsu ağının tanımlanması.	36
Şekil 4.11 : MODSIM için örnek girdi dosyası.	37
Şekil 4.12 : MODSIM modeline veri aktarımı ekran görüntüsü.	38
Şekil 4.13 : MODSIM zaman adımı ayarı ekran görüntüsü.	39
Şekil 4.14 : MODSIM akarsu ağı özellikleri ekran görüntüsü.	39
Şekil 4.15 : MODSIM kanal özellikleri ekran görüntüsü.	40
Şekil 4.16 : Gecikme faktörü seçimi ekran görüntüsü.	41
Şekil 4.17 : MODSIM modeline öteleme için gereken parametrelerin girişi ekran görüntüsü.	42
Şekil 5.1 : MODSIM modeli örnek sonuç grafiği.	43
Şekil 5.2 : Ötelenmemiş hidrograf örnek sonuç grafiği.	44
Şekil 5.3 : Ötelenmiş hidrograf örnek sonuç grafiği.	44

HİDROLOJİK PROSES MODELLERİ İLE HAVZA ŞEBEKE MODELLERİ ENTEGRASYONU – DARLIK HAVZASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Dünya nüfusun hızla artması, buna bağlı olarak tarım ve hayvancılık sektörlerindeki gelişme, iklim değişikliği gibi faktörlerle birlikte toprak ve su kaynaklarının üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, şimdiki ve gelecek nesiller için su kaynaklarının uygun bir şekilde yönetilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Su, gezegenimizde canlı hayatının devamlılığı açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, insanların doğa ile olan ilişkisi ve ulusal ekonominin gelişimi yönünden su, önemli bir sosyal faktördür.

Model, mühendislerin, planlama uzmanlarının ve ekonomistlerin, bir sistem için aldıkları kararların ya da uyguladıkları politikaların etkilerini tahmin etmek amacıyla kullandığı bir araçtır. Modeller gerçek sistemlere uygulanarak, bu sistemlerin daha rahat anlaşılmasına imkan sağlamakta gerek işletme ve yönetim, gerek tasarım konusunda mühendislere katkı vermektedir. Mevcut su kaynaklarının korunması, sürdürülebilir olarak yönetilebilmesi ve gelecekte meydana gelebilecek olası senaryoları değerlendirmek adına su kaynakları modelleri son yıllarda oldukça önem kazanmış ve yaygınlaşmıştır.

Bütünleşik havza yönetimi açısından önemli olan su kaynakları modellerinden, sağladıkları kolaylıklardan ve olanaklardan bu çalışmada kısaca bahsedilmiştir. Hidrolojik proses modeli olarak kullanılan WEAP, SWAT, HEC – HMS, MIKE SHE, HSPF, AGNPS ve havza şebeke modeli olarak kullanılan MODSIM, RIBASIM, GOLDSIM ve STELLA modelleri dünyada yaygın bir şekilde kullanılan model programlarıdır.

İstanbul'da toplamda 7 adet su toplama havzası bulunmaktadır. Bunlar Avrupa yakasında, Alibeyköy, Büyükçekmece, Sazlıdere ve Terkos havzaları; Anadolu yakasında ise Elmalı, Ömerli ve Darlık havzalarıdır. Darlık Havzası, İstanbul nüfusunun %11'inin su ihtiyacını karşılamaktadır. Gelecek yıllarda önemi daha da artacak olan bu havzada yapılmış önceki çalışmalarda Darlık Deresi ve kollarından çok, Darlık Baraj Gölü ve gölün su kalitesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada, yapılan arazi çalışmalarında enkesit ve ortalama hız ölçümleri yapılmış, bu çalışmaların sonuçları gösterilmiş, elde edilmiş verilerden debi hesapları yapılmıştır. Elde edilen veriler model katsayı hesaplamalarında kullanılmıştır.

MODSIM modeline tanımlanacak althavzalar, bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programı olan ArcGIS 10.2 ile uyumlu çalışabilen ArcSWAT (Water Delineation Tool) ile hesaplanmıştır. Havza şebeke modeli olarak bu çalışmada kullanılacak olan MODSIM modelinin kurulum aşaması adım adım anlatılmış, Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada hidrolojik proses modeli olarak kullanılan WEAP modelinden alınan veriler MODSIM modelinde hidrolojik hidrograf öteleme yapılarak çalıştırılmıştır. Çalışmada bu iki modelin entegrasyonu amaçlanmıştır.

İstanbul'un yüzeysel su kaynakları üzerindeki baskı artan nüfus ve değişen iklim ile birlikte sürdürülebilir havza yönetiminin önemi de her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda, İstanbul'a su temin edilen barajların optimum işletilmesi önemli hale gelmektedir. MODSIM modeli bu amaçla kullanılabilir yazılımlardan önemli bir tanesidir. Dolayısıyla bu çalışma, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için altlık teşkil etmektedir. Bu çalışma kapsamında MODSIM modeli, WEAP modeli çıktıları ile başarılı bir şekilde entegre edilerek İstanbul'a içme suyu temin eden önemli bir havzasında uygulanmıştır. Böylece, Türkiye'de gelecekte bu konuda gerçekleştirilecek araştırmalarda MODSIM modelinin kullanılabilmesi için bir kılavuz niteliği de taşımaktadır.

INTEGRATION OF HYDROLOGICAL PROCESS MODELS WITH WATERSHED NETWORK MODELS – DARLIK CREEK CASE STUDY

SUMMARY

Population growth, agriculture and livestock farming industries development and climate change create excessive pressure on water and land resources day by day. Effects of these pressures range from ecological and hydrological consequences of over-allocation of river basins and groundwater aquifers, to public health issues and ecological damage arising from water quality problems. Thus, necessity of management and development of water bodies has emerged in order to keep environment clean for next generations. Water is essential for life and also an important social factor in terms of national economy and human – nature relationship.

Efficient management of water resources focuses on the problem of enhancing and managing number of sources and use sectors while sustaining or improving water quality. Engineering optimization approach have been carried out for large number of issues involving water resources management problems. Watershed network models have been developed to find optimal water allocation strategies when there is a challenge for water among various users and solve water resources management problems.

Modeling is one way that planners, engineers and economists utilize to estimate the impacts of possible design management and operation decisions or policies. Models are tools, not alternatives for human decision-making. Application of models to real systems have enhanced our understanding of such systems. In addition, models also help engineers in operation, management and also design.

Water resource modeling has been important in the last decades for sustainable management of water bodies and evaluating future scenarios for these water bodies. Models produce information, not decisions. Water resource planners and managers have to admit the fact that decisions may not be influenced by their planning and management model results.

There is a widespread literature on water resource modeling and several computer programs are available both commercially and in the public domain. Some of those computer programs are free to college students to use such as the WEAP model.

In this study, information about models that can be used as water resource models, which are important in terms of integrated watershed management and opportunities that models can offer, are given briefly. WEAP, SWAT, HEC – HMS, MIKE SHE, HSPF, AGNPS are models that use as hydrological process models and MODSIM, RIBASIM, GOLDSIM and STELLA are models that can be used as watershed network models. These models commonly used by engineers, planners, managers and decision-makers all around the world.

Istanbul is the most crowded city of Turkey and its population is increasing gradually. Therefore, water resources of this metropolitan are under extreme pressure. Today more than 14 million people living in Istanbul and this mega city needs more than 2 million cubic meter water per day. Most of this demand is supplied from dams around the city and by interbasin water transfer.

İstanbul has 7 watersheds in total. Watersheds in European side of İstanbul are Alibeyköy, Büyükçekmece, Sazlıdere and Terkos. Watersheds in Asian side of İstanbul are Elmalı, Ömerli and Darlık.

Darlık Reservoir, located north-east of İstanbul, supplies the 11% of İstanbul's water demand, which has a 209 km² catchment area, is one of the vital reservoirs of this metropolitan and has not been severely affected by urbanization and industrialization yet. Studies conducted in this area have been concentrated on Darlık Dam and its water quality rather than Darlık River and its tributaries.

In this study, field study has been conducted. In the field study, cross-section and average velocity measurements were carried out at 7 stations, which are selected based on climate and land conditions. From this data average flow rate has been calculated and used in model to estimate coefficients.

Flow routing is an analytic method to determine the time and magnitude of flow at a point on a hydrological system from known or assumed hydrographs at one or more points upstream. That hydrological system could be a river, gulf, channel or sewer system. Flow routing is used to determine the change in shape of a hydrograph of a flow as it travels through system and different flow routing simulation techniques can be used.

Flow routing can be classified as 2 separate procedures: lumped and distributed that are well known as hydrologic and hydraulic. However, semi-distributed models has been started to use recently.

In this study, MODSIM model, which uses Muskingum Method as hydrologic flow routing method was selected. Model can calculate its routing coefficients by using the Muskingum formula. Alternatively, the user may directly input any desired routing coefficients and lagging factors.

MODSIM, is a river basin management decision support system, designed as a computer program for satisfying the need emerging from watershed and water resources management. In this case, MODSIM can help engineers and planners to develop improved basin strategies for short-term water management, long-term operational planning, drought planning, water rights analysis and resolving conflicts between urban, agricultural and environmental concerns.

MODSIM provides the integrated evaluation of hydrologic, economic, environmental and legal impacts as related to alternative development and management scenerios including combined use of surface water and groundwater resources.

This study aims to integrate a hydrological model, WEAP, and a watershed network model, MODSIM. Subwatersheds used in MODSIM were delineated using ArcSWAT, which is compatible with Geographic Information System program ArcGIS 10.2. Setup of MODSIM is described step by step and data from the study prepared by Cüceloğlu (2013) with WEAP were integrated to MODSIM model with hydrological flow routing.

Importance of sustainable watershed management is increasing everyday by growing population and climate change with pressure on surface waters in Istanbul. In this context, optimum operation of dams that supply water to Istanbul becomes a significant issue. MODSIM is one of the models that can be used for this purpose. In this study, MODSIM and WEAP models were integrated successfully in a critical area which supplies drinking water to Istanbul. MODSIM was used in an area in Turkey; thus, this study will be used as a guide for future studies in this area.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Hızla artan nüfus, tarım ve hayvancılık üretimlerinin artışı, endüstrinin her geçen gün gelişmesi ile birlikte toprak ve su kaynaklarının üzerindeki baskı, iklim değişikliğinin de etkisi ile son yıllarda dünyanın hemen hemen her bölgesinde oldukça artmıştır. Böylece, su kaynaklarının, şimdiki ve gelecek nesiller için uygun bir şekilde yönetilmesi ve geliştirilmesi gerekliliği doğmuştur. Suyun, canlı hayatının devamlılığı, insanların doğa ile olan ilişkisi ve ulusal ekonomik gelişim açısından önemli bir sosyal faktör olduğunun farkında olmak, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi açısından gereklidir (Safavi ve diğ, 2015).

Bütünleşik havza yönetiminde hidroloji ve su kaynaklarının birlikte analizi gerekmektedir. Nüfus artışı ve iklim değişikliği belirsizlikler yaratmakta bununla birlikte planlar için kullanılacak eski verilerin güvenilirliğini azaltmaktadır (Vaghefi ve diğ, 2015).

Bu çalışmada WEAP (Water Evaluation and Planning System) ve MODSIM (River Basin Management Decision Support System) modeli entegrasyonu, bütünleşik havza yönetimi açısından önem kazanmaktadır. WEAP modeli hidrolojik veriyi üretirken, MODSIM modeli ise havza şebeke modeli olarak su tahsisi yönünden karar destek mekanizmasını güçlendirmektedir.

İklim değişikliği doğal olarak gerçekleşmekte fakat insan nüfusundaki artış, fosil yakıtların kullanılması sonucu sera gazı salınımının artması gibi faktörler nedeniyle hızlanmaktadır. Su, birincil doğal kaynaktır ve insanın temel ihtiyacıdır. Yokluğunda sosyo-ekonomik gelişmeden söz edilemez Bu nedenle, mevcut su kaynaklarının korunması, sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi ve gelecekte meydana gelebilecek olası senaryoları değerlendirmek adına su kaynakları modelleri son yıllarda oldukça önem kazanmış ve yaygınlaşmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

WEAP modeli dünya çapında oldukça yaygın olarak kullanılan bir hidrolojik proses modelidir. MODSIM ise bir havza şebeke modelidir ve ülkemizde pek fazla çalışılmamış olmasına rağmen dünyada başarı ile uygulanmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, İstanbul'un su ihtiyacının %11'ini karşılayan Darlık Havzası'nda WEAP modeli ile MODSIM modelinin entegrasyonu amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde su kaynakları modelleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş olup, hidrolojik proses modeli olarak kullanılan WEAP, SWAT (Soil and Water Assessment Tool), HEC –HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), MIKE SHE, HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran) ve AGNPS (Agricultural Non – Point Source Pollution Model), havza şebeke modeli olarak kullanılan MODSIM, RIBASIM (River Basin Simulation), GoldSim ve STELLA (Systems Thinking Educational Learning Laboratory with Animation) modellerinin kapasiteleri ve özellikleri, örneklerle açıklanmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, çalışma alanı olan Darlık Havzası'nda daha önce yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmiş, bölgenin konumu, sosyo – demografik ve iklim yapısı incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, iklim ve arazi şartları göz önünde bulundurularak seçilen istasyonlarda yapılan arazi çalışmaları ve bu çalışmalardan elde edilen enkesit ve ortalama hız ölçümlerinin nasıl yapıldığı anlatılmış ve bu çalışmaların sonuçları gösterilmiş, elde edilmiş verilerden debi hesapları yapılmıştır. MODSIM modelinin kurulumu, modele girilecek althavzaların oluşturulması bu bölümde adım adım anlatılmıştır. Akarsularda hidrograf öteleme metotlarından biri olan ve yaygın olarak kullanılan, MODSIM modelinin de hidrograf öteleme yaparken kullandığı Muskingum Yöntemi bu bölümde yer almaktadır.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise, Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan Darlık Havzası'nın Hidrolojik Model Destekli Analizi çalışmasında hidrolojik model olarak kullanılan WEAP modeli sonuçları ile havza şebeke modeli olarak kullanılan MODSIM modelinin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar grafik halinde verilmiş ve yorumlanmıştır.

2. SU KAYNAKLARI MODELLEME

Model, mühendislerin, planlama uzmanlarının ve ekonomistlerin, bir sistem için aldıkları kararların ya da uyguladıkları politikaların etkilerini tahmin etmek amacıyla kullandığı bir araçtır. Son 30 yılda, çok amaçlı kullanılan su kaynaklarının mühendislik, ekonomik, ekolojik, hidrolojik ve hatta kurumsal ve politik yönlerinin modellenmesi konusunda çok büyük gelişmeler yaşanmıştır. Modellerin gerçek sistemlere uygulanması, bu sistemlerin daha rahat anlaşılmasına olanak sağlamış, işletme, yönetim ve dizayn konusunda da katkıda bulunmuştur. Böylece, su kaynaklarını korumak ve geliştirmek, gelecekte yapılacak projelerin planlama, tasarım gibi aşamalarında su bütçesi ile ilgili verileri sağlamak amacıyla su kaynakları modelleri kullanılmaktadır.

Her su kaynağı ve yönetimi ile ilgili sorunları model yardımıyla çözülememektedir. Modellerin su kaynaklarına uygulanabilir olması için gereken bazı şartlar vardır. Bu şartlar;

- Model sonuçlarını yorumlayabilecek ve bu sonuçlardan fayda sağlayacak kişileri iyi tanımlayabilecek kişi ya da kuruluşların, planlama ve yönetim amaçlarını mantıklı ve iyi tanımlamaları gerekmektedir
- Belirlenen amaçları tatmin edecek birçok alternatif karar mevcuttur ve verilecek en iyi karar kesin değildir.
- Analiz edilen su kaynakları ve amaçlar açıklanabilir, mantıklı matematiksel ifadeler olmalıdır.
- Model parametreleri izleme çalışmalarıyla elde edilen gerçek verilerle kolayca desteklenebilir olması gerekmektedir.

Su kaynakları modellerinin en doğru sonucu verebilmeleri, eldeki verilerin ve bilgilerin doğruluğuna bağlıdır. Bunun için, disiplinler arası çalışma ve koordinasyon, bilgi alışverişi ve iletişim su kaynakları planlama ve yönetimi üzerine çalışanlar için oldukça önemlidir. İhtiyaç duyulan veriler ve bilgiler doğru tanımlanmadığı takdirde, model çalıştırmak ve sonuç elde etmek zorlaşacaktır. Su

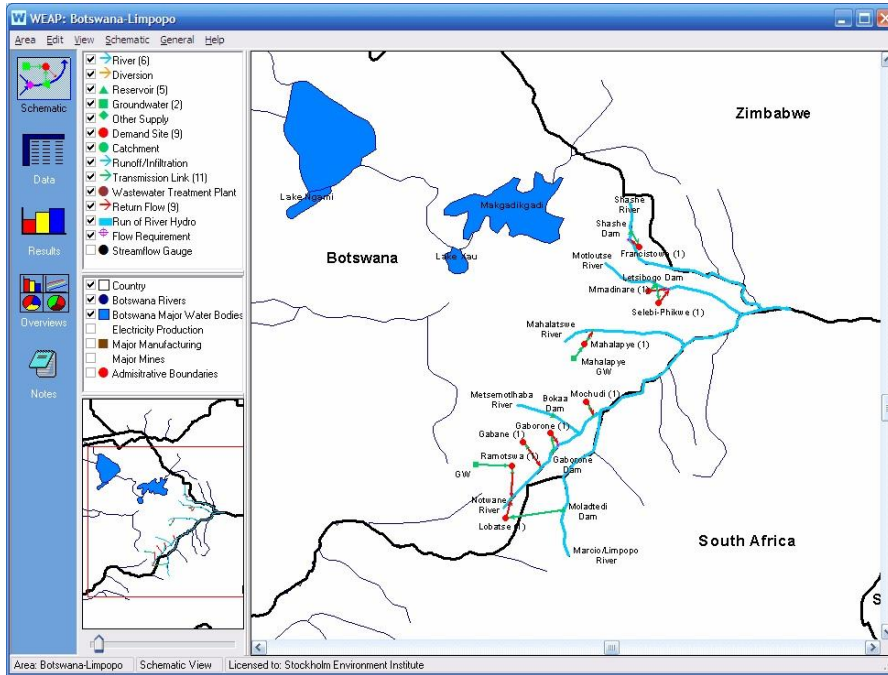
kaynakları modelleme metodolojisi üzerine çalışanlar, modellerin su kaynaklarını geliştirmek adına verilecek en uygun planları garantilemediğini bilmektedirler. Ancak modelciler, yönetim amaçlarını ve su tahsisi sorunlarına ilişkin çözümlere çeşitli alternatifleri getirebilir ve bu alternatifleri de etraflıca değerlendirmeye yardımcı olurlar (Loucks, 2005).

Bu bölümde hidrolojik proses modeli olarak kullanılan WEAP, SWAT, HEC – HMS, MIKE SHE, HSPF, AGNPS ve havza şebeke modeli olarak kullanılabilen MODSIM-DSS, RIBASIM, GoldSim ve STELLA ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

2.1 Hidrolojik Proses Modelleri

2.1.1 WEAP

WEAP dünyanın birçok ülkesinde etkin bir şekilde kullanılan, temel su dengesi prensibiyle çalışan, grafik arayüzü gelişmiş olması sebebiyle kullanımı kolay bir havza ve su kaynakları modelleme programıdır (Şekil 2.1). WEAP tek bir althavzaya uygulanabileceği gibi karmaşık akarsu ağlarına, kentsel ya da tarımsal sistemlere de uygulanabilir. Bununla birlikte, su bütçelerinin analizi, su hakları ve dağıtım öncelikleri, yeraltı ve yüzeysel suların benzeştirilmesi, rezervuar operasyonları, kirlilik izleme, fayda-maliyet analizi gibi önemli yeteneklere sahiptir fakat WEAP hidrolojik öteleme (taşkın ötelemesi) yapamamaktadır (SEI, 2011).



Şekil 2.1: WEAP modeli arayüzünden bir görüntü.

WEAP modeli hidrolojik proses modeli olarak kullanılabilceği gibi, havzada gerçekleşen su transferlerini, tarımsal ve endüstriyel aktiviteleri, atıksu arıtma tesisi deşarjları gibi faktörleri de dikkate alarak, bütünleşik su kaynakları planlamasında da kullanılabilir. Modelde senaryo analizi özelliği de mevcuttur. Çalışılan havzadaki su potansiyeli ve su hareketlerinin mevcut durum için belirlenmesi ile birlikte, gelecekte meydana gelebilecek senaryolar için de çalıştırılabilir. Bu sayede havzadaki mevcut durum ile gelecekteki sonuçlar karşılaştırılıp, su yönetimi planlaması analizi yapılabilir (SEI, 2011).

WEAP modeli kullanılarak, havzada meydana gelen hidrolojik süreçler 4 farklı şekilde hesaplanabilir. Bunlar, yağış-akış modeli, yalnızca tarımda kullanılacak suyun dikkate alındığı model, toprak nemi metodu ve MABIA metodudur. Bu yöntemlerin detaylı açıklaması WEAP'in Kullanıcı Klavuzu'nda (SEI, 2011) verilmiştir. Bu yöntemler sayesinde model, havzadaki hidrolojik süreçleri hesaplayarak, su bütçesini verebilecek özelliğe sahiptir (SEI, 2011).

WEAP modeli ücretli bir yazılımdır. Ancak gelişmekte olan ülkelerin öğrencileri ve akademisyenler, 1 yıllık lisansı ücretsiz edinebilmektedirler. Bu süre istenildiğinde uzatılabilir (URL-1).

2.1.2 SWAT

SWA havza yönetiminde su, sediment, besin elementi ve pestisitlerin taşınım ve bu etkileri görebilmek için tasarlanmış hidroloji ve su kalitesi modelidir. Bir havza içerisindeki birçok fiziksel sürecin simüle edilmesinde kullanılabilir.

Model, meteorolojik verileri, yüzeysel akışı, perkolasyonu (derine sızma), evapotranspirasyonu, göl ve rezervuar depolamasını, tarımın ve bitkilerin su ihtiyacını, yeraltı akışını hesaplayabilmekte, böylece hidrolojik süreçleri de modelleyebilir. Model ayrıca besin elementi ve pestisit yüklerini de hesaplayabilir (Neitsch ve diğ., 2011).

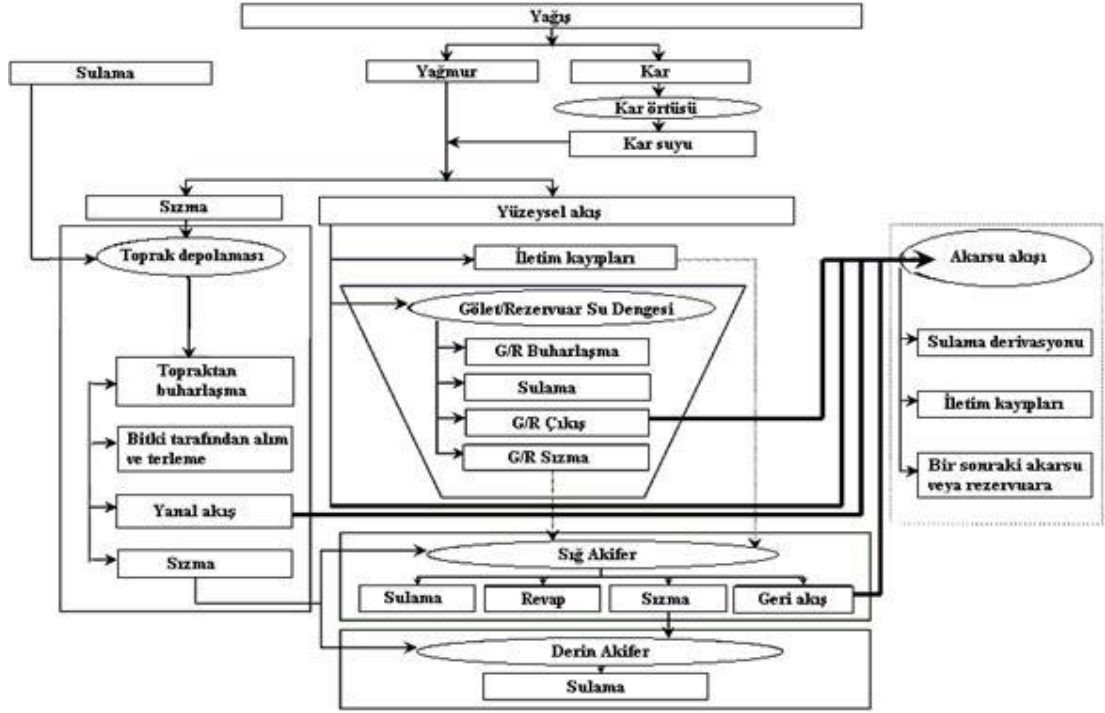
SWAT modelinde, çalışılan havza birden çok alt havzalara ayrılabilir ve model bu alt havzaları ayrı ayrı modelleyebilme kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla farklı toprak özellikleri ve arazi kullanımına sahip olan alt havzalara ait hidrolojik süreçler daha hassas bir şekilde simüle edilebilir (Winchell ve diğ., 2010).

SWAT günlük ve daha uzun süreli simülasyon yapabilmektedir. Ayrıca programa alt havzalar için ayrı meteorolojik veriler ve topoğrafya bilgileri, farklı jeolojik yapılar, hidrolojik işlem birimleri ve yetiştirilen bitkiler tanımlanabilir. Hidrolojik işlem birimi tanımlanmış bir alanının arazi kullanımı, topoğrafyası ve toprak türüne bağlı olarak tanımlanan birimin hidrolojik süreçlere vereceği tepkiyi gösteren bir birimdir (Winchell ve diğ., 2010).

SWAT ile birkaç yüz kilometrekarelik veya daha büyük alanlarda çalışılabilir. Yüzlerce hücre ve alt havzayı modele tanıtmak mümkündür. Program aynı zamanda yeraltı suyunu da modelleyebilmekte ve yeraltı sularını yüzey suları ile de ilişkilendirebilmektedir. Kanallardan ve rezervuarlardan gelen sular modele tanıtıldığında program yapabileceği hesaplamalarda bu verileri de kullanabilmektedir. SWAT modelinde çalışılacak problem ne olursa olsun model için en önemli mekanizma su dengesidir. Hidrolojik döngüyü SWAT modeli iki adımda modelleyebilmektedir. Bunlardan birincisi arazi adımıdır, burada su dengesi hesaplanmaktadır. Yüzeysel akış, yüzey altı akış, buharlaşma gibi parametreler alt havza bazında hesaplanarak alt havza için bir su bütçesi oluşturulur. İkinci adım ise akışa geçen akımın bir kanal içerisinde ötelenmesinin modellenmesidir. Bu hareket sonunda akışa geçen akım havzanın çıkış noktasına kadar modellenmektedir (Neitsch ve diğ., 2011).

SWAT, gelişmiş bir modeldir. CBS yazılımları ile de uyumludur. Su bütçeleri ve akışları dışında belirli kirleticilerin dağılımları da bu program yardımıyla izlenebilmektedir.

SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: SWAT modelinde dikkate alınan fiziksel süreçler.

2.1.3 HEC – HMS

HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş, birçok hidrolojik simülasyonu yapabilen bir modeldir. HEC – HMS modelinin geliştirilmesine devam edilmektedir. Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) bu konuda hem simülasyon tekniği hem de fiziksel proseslerin en iyi şekilde temsil edilebilmesi açısından hidrolojik simülasyon ihtiyaçlarını karşılamak için program kullanıcıları ile iletişime geçmekte ve kendi uygulamalarında gördükleri eksikleri belirlemektedirler. Programın kullanımı oldukça basit, kullanımı kolay arayüzü sayesinde kullanıcıya havzayı en iyi şekilde temsil edebilecek olanağı sağlamaktadır. HEC – HMS aynı zamanda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile bağlantılı kullanılabilir. Programın güçlü ve hızlı olması sayesinde 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 ana bileşeni vardır; birincisi yüzeysel akışı ve hidrograf ötelemeyi de hesaplayabilen analitik modeldir. Diğerleri hidrolojik sistem bileşenlerinin kolayca oluşturulabildiği gelişmiş görsel arayüz, üçüncü bileşen verilerin saklandığı ve yönetilebildiği, zaman serilerinin bulunduğu sistem. Son bileşen ise model çıktılarının görselleştirdiği arayüzdür (Halwatura ve diğ., 2013).

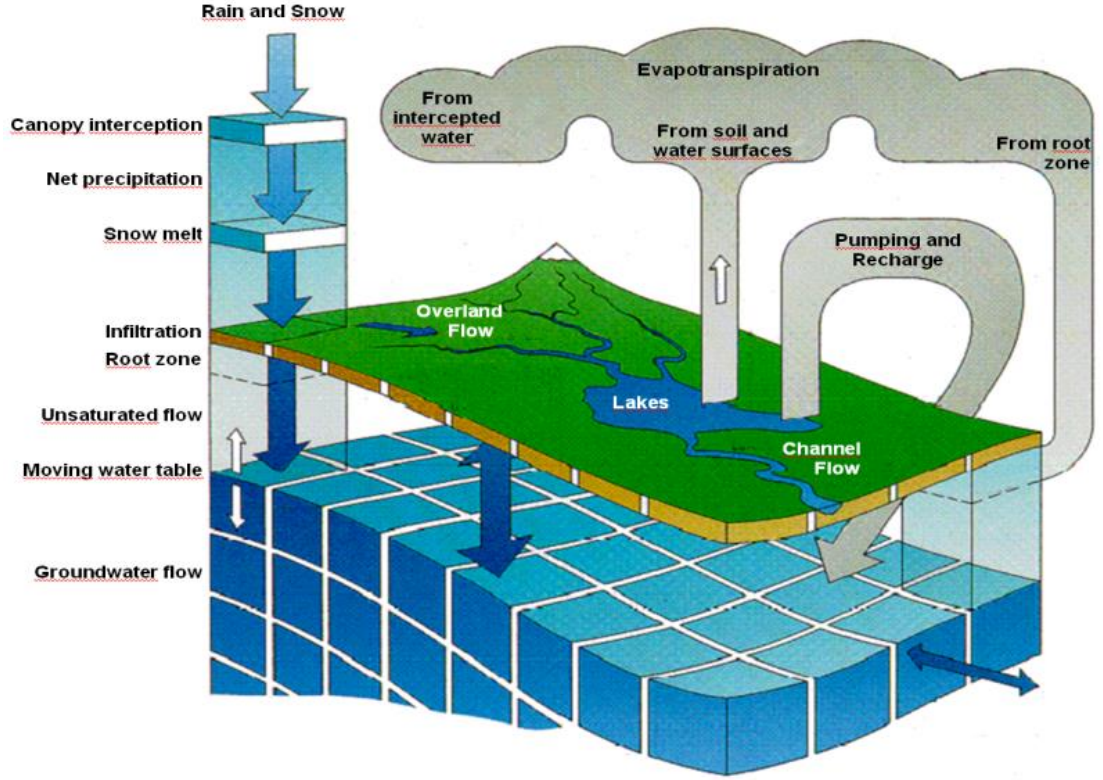
HEC – HMS modeli, birbirine bağlı hidrolojik ve hidroluk bileşenlerle birlikte yüzeysel akışın yağışa verdiği tepkiyi simüle etmek için dizayn edilmiş bir programdır. Özellikle taşkın simülasyonları için kullanılmaktadır. HEC – HMS modeli, 3 ana prosesi içerir: kayıplar, dönüşümler ve baz akımları. Her bir proses için model farklı fonksiyonları çalıştırır. Bu fonksiyonlar havzaların alt parçaları olarak bilinen althavzaların yağış – akış fonksiyonlarını içermektedir. Bir bileşen yüzeysel akış, akarsu kanalı ya da bir rezervuarı gösterir ve her bir bileşen bir değişkene atanmıştır. Bu değişken, bileşenin özelliklerini ve onun fiziksel proseslerini tanımlayan matematiksel denklemlerini tanımlar. Model sonuçları, havza çıkışındaki akarsu hidrografları şeklinde hesaplanır (Oleyblo ve diğ., 2010).

2.1.4 MIKE SHE

MIKE SHE ileri düzey, gelişmiş bir hidrolojik modeldir. Belirlenen alandaki tüm su akışını simüle edebilme özelliğine sahiptir. MIKE SHE dünya genelinde çok sayıda çalışmada, yüzeysel ve yeraltı sularının hem endüstriyel hem de evsel amaçlı bütünleşik kullanımı ve sulamanın yanında noktasal ve noktasal olmayan kaynaklarla bağlantılı su kalitesi çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır. Küçük ölçekli, belirli problemleri çözmeye yönelik çalışmalarda kullanıldığı gibi, MIKE SHE bölgesel, tüm akarsu havzasını kapsayacak büyük ölçekli çalışmalarda da kullanılmıştır (URL-6).

MIKE SHE model sisteminin temeli SHE (Système Hydrologique Européen) modelidir. Bu model, güçlü, 3 boyutlu simülasyonlar yapabilen ve aynı zamanda fiziksel temele dayanan yayılı modeli ile bütünleşik bir hidrolojik sistemidir. MIKE SHE modelinin su hareketi (water movement) modülü, hidrolojik döngünün karada gerçekleşen 6 temel fazı olan tutma/evapotranspirasyon, kanal akışı, doymamış bölgedeki akış, doymuş bölgedeki akış, kar erimesi, akiferler ve nehirler arası su alışverişini kapsayan modüler bir yapıya sahiptir (Şekil 2.3). MIKE SHE modeli sistemi ızgara metodu ile tanımlamaktadır. Izgara büyüklükleri çalışılan bölgenin

inceleneceği hassasslık derecesine ve çalışılan bölgenin genişliğine göre değişebilmektedir (Thompson ve diğ., 2004).



Şekil 2.3 : MIKE SHE modelinin şematik gösterimi (Thompson ve diğ., 2004)

MIKE SHE modelinin kurumsal versiyonunda su kalitesi ve tanecik takibi özellikleri bulunmakta, bu özellik sayesinde yüzeysel ve yüzeyaltı su arasında tümüyle bütünlük çözülmüş madde taşınımı simülasyonu yapılabilmektedir. MIKE SHE modeli, su dengesini kapsamlı ve esnek bir şekilde modelin istenilen yerinde veya tamamında, istenilen zamanda kurabilmektedir (URL-7).

2.1.5 HSPF

HSPF, 1960'larda Stanford Havzası Modeli olarak geliştirilmiş, 1970'lerde su kalitesi özellikleri eklenmiştir. 1980'lerde EPA ve USGS işbirliği ile geliştirilerek son haline gelmiştir. Şu an kullanılan versiyonu 11'dir.

HSPF, hidrolojik, su kalitesi, geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerde, akarsu yatağında gerçekleşen prosesleri modelleyebilmektedir.

Modelde zaman adımı oldukça esnektir. Birkaç dakikalık simülasyonlar yapılabilirken, yüzlerce yıl da zaman adımı olarak kullanılabilir. HSPF genel olarak arazi kullanımı değişikliklerinin etkilerini, rezervuar işletme özelliklerini,

noktasal ya da noktasal olmayan kirletici kaynakların artıma alternatiflerini belirleme gibi durumlarda kullanılmaktadır.

HSPF toprakta tutulan nem, yüzeysel akış, sızma, yeraltı akışı, kar derinliği ve su içeriğini, kar erimesi, evapotranspirasyon, çözülmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), sıcaklık, pestisit, fekal koliform, sediment taşınımı, pH, amonyak, nitrit – nitrat, organik azot, ortofosfat, organik fosfor, fitoplankton, zooplankton parametrelerini modelleyebilmesinin yanında, hidrograf öteleme de yapabilmektedir.

Dünya genelinde HSPF'nin yüzlerce uygulaması bulunmaktadır. Bunlardan en büyük ölçekli çalışma, Chesapeake Körfezi'ne dökülen akarsuların modellenmesidir. Yaklaşık 160.000 km² olan bu alanın dışında çok küçük çaplı (10.000 m² alana sahip) örnekler de mevcuttur. USGS'nin gerçekleştirdiği en önemli uygulamalar ise Seattle, Chicago bölgelerinde, Truckee – Carson Havzası ve Pennsylvania'da bulunan havzalardadır (URL-5).

2.1.6 AGNPS

AGNPS, bir havza sistemindeki su, sediment ve kimyasal yükleri etkileyen yönetim kararlarının etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir araçtır. 1990'ların ortalarından sonra AGNPS iyileştirilmiş, modelin kapasitesi geliştirilmiş ve geniş havza sistemleri için kullanılan veri girdi dosyası hazırlama işlemleri otomatikleştirilmiştir. AGNPS'nin 5 ve sonraki versiyonlarında kalibrasyon özellikleri birçok kirletici parametre için otomatikleştirilmiş ve istenilen isimde, sınırsız sayıda meteorolojik istasyon tanımlayabilme özelliği getirilmiştir. Gerçek ve potansiyel evapotranspirasyon verileri her bir meteoroloji istasyonu için ayrı ayrı dosyalarla tanımlanabilmektedir. AGNPS arayüzü girdi dosyasının oluşturulmasında gerekli olan bileşenlerle birarada kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Tarımsal alanlarda meydana gelen erozyonun derecesinin belirlenmesinde ve erozyon kontrolünde kullanılan RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), AGNPS ile birlikte çalışabilmektedir (URL-4).

AGNPS tarım yapılan havzalarda, akış, sediment ve nütrient taşınımını modelleyebilmektedir. Bu nütrientler, azot, fosfor içeren, hem bitkiler için önemli nütrientler olmakla birlikte, hem de yüzeysel suların kirlenmesine yol açan nütrientlerdir. Hidroloji, erozyon, sediment ve kimyasal taşınımları modelin temel bileşenleridir. Buna ek olarak, su oyuklarında biriken sedimentlerden kaynaklanan

veya deşarj şeklinde verilen kirleticileri noktasal kaynak olarak, hayvan besi yerlerinin sebep olduğu kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nütrient ve sediment kirliliklerini ve diğer noktasal olmayan kaynakları modelleyebilmektedir (Young ve diğ, 1989).

Akarsu ağı modeli olarak CCHE1D, akarsu yatağı modeli olarak da CONCEPTS (Conservational Channel Evolution and Pollutant Transport System) modeli AGNPS ile entegre edilmiştir. AGNPS'nin basit akarsu sistemi, daha kapsamlı incelenmek istenen havzalarda, akarsu yatağı gelişimi, erozyonu ve kanal içi yapılar sorun teşkil etmektedir ancak bu entegrasyonlar ile bahsedilen konulara çözüm üretilmiştir. Model çıktıları, havzanın herhangi bir noktasında, aylık veya yıllık olarak, istenen yüklerin derlenmesiyle oluşturulabilmektedir. AGNPS modeli, bağı veya çözünebilen nütrientleri (azot, fosfor ve organik karbon), istenilen sayıda pestisit ile ilgili sonuçları verebilmektedir. Belirli bir süre ve alan içerisinde taşınan sedimentin kaynağı, boyutu ve cinsi su ile birlikte hesaplanmaktadır. Nütrient konsantrasyonları ve diğer kirletici kaynaklar modellenmektedir. Akarsu ağı için kullanılan CCHE1D ve akarsu yatağı için kullanılan CONCEPTS modelleri kanal hidroliği, kanal morfolojisi ve sediment ve kirletici taşınımı ile alakalı daha detaylı araştırmalar yapılmasını sağlamaktadır (URL-4).

2.2 Havza Şebeke Modelleri

2.2.1 MODSIM

MODSIM-DSS (Decision Support System), su kaynakları ve havza yönetiminin ihtiyaçlarını pratik bir şekilde karşılamak için geliştirilmiş bir şebeke modelleme programıdır. Artan nüfus ile birlikte su kaynaklarına olan ihtiyacın doğru oranda artması, su kaynaklarının yasal ve uluslararası düzenlemelerle kısıtlanmasını da beraberinde getirmiştir. MODSIM sürekli değişen ve gelişen havza yönetiminde karşılaşılabilecek karmaşık durumlarda su yönetimi planlaması açısından en uygun kararı vermeyi kolaylaştıracak modelleme araçlarına sahiptir. MODSIM küçük akarsu ağlarından geniş havza sistemlerine, kısa dönemli su yönetimi ve uzun dönemli planlamalar dahil olmak üzere kentsel, kırsal ve çevresel konuların arasında oluşan su sorunlarının çözümünde kullanılabilir (Labadie, 1995).

MODSIM çeşitli veritabanı bileşenlerine bağlı oldukça kullanışlı bir kullanıcı arayüzüne sahiptir ve şebekeyi oluşturmak için herhangi bir bilgisayar programlama aracı kullanılmasına gerek yoktur.

MODSIM Colorado Eyalet Üniversitesi tarafından 1978 yılında geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır.

MODSIM'in başarıyla uygulandığı birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

- Karkheh Havzası, İran.

Bu çalışma, iklim değişikliğinin, bölgenin en verimli havzalarından biri olan Karkheh Havzası'nın sulama ihtiyaçlarına, buğday üretimine ve hidroelektrik üretimine etkileri SWAT ve MODSIM modellerinin entegrasyonu ile araştırılmaktadır. SWAT modeli bir hidrolojik model olarak, MODSIM modeli ise havza şebeke modeli olarak çalıştırılmıştır. (Vaghefi ve diğ., 2015)

- Klamath Havzası, Oregon ve Kaliforniya, ABD (Campbell ve diğ., 2001).

HEC-5Q su kalitesi modelinin MODSIM ile entegrasyonu ile günlük ve aylık zaman adımları kullanılarak, yaşamlarını acı ya da deniz sularında geçiren fakat üreme mevsimlerinde tatlı sulara göç eden balıkların popülasyonundaki azalmaya sebep olan, yaz/kış su kalitesi şartlarını iyileştirmek bu çalışmanın amacıdır (Labadie, 2010).

- Piracicaba Havzası, Brezilya (de Azevedo ve diğ., 2000).

12.400 km²'lik Piracicaba Havzası Brezilya'nın Sao Paulo eyaletinde bulunmaktadır. Bu çalışmada MODSIM ile bir akarsu su kalitesi modeli olan QUAL2E-UNCAS entegre edilerek Sao Paulo şehri için su transferi gereksinimlerini karşılayabilecek alternatiflerin stratejik planlamalarını ve değerlendirmesini yapmaktır (Labadie, 2010).

- Upper Snake Havzası, Idaho, ABD (Larson ve Spinazola, 2000; Miller ve diğ., 2003).

Bu çalışmada, MODSIM ve MODFLOW yeraltı suyu modelinin entegrasyonu ile sulama su kaynağına, eğlence amaçlı kullanılan akarsu ve rezervuarlara, bölgede bulunan balık ve vahşi yaşama olan etkileri araştırılmaktadır (Labadie, 2010).

- Deschutes Havzası, Oregon, ABD (La Marche, 2001).

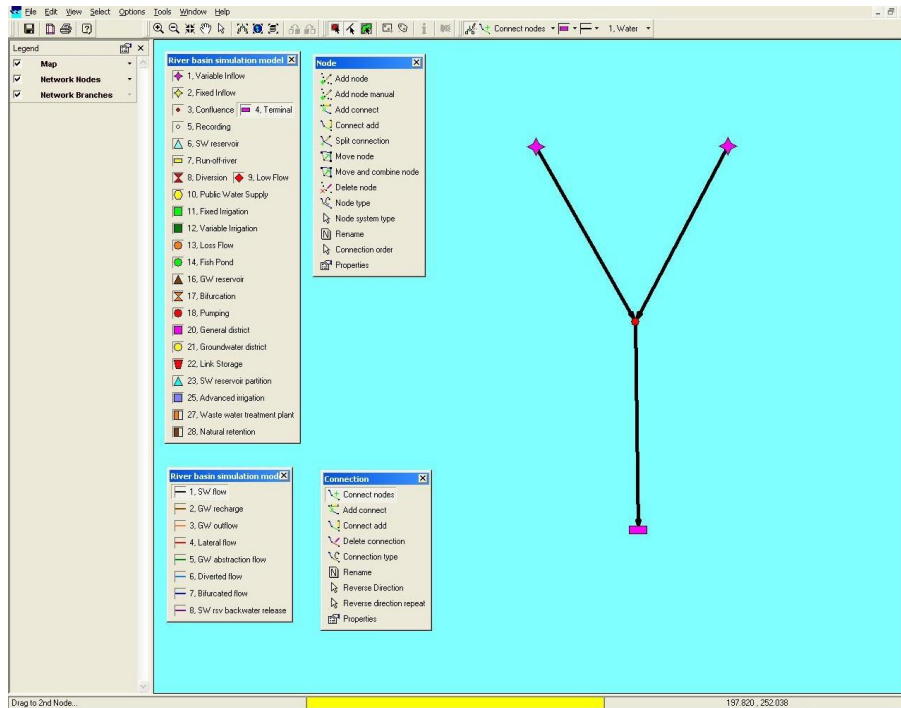
Bu çalışmada, çevresel ve ekolojik denge için gereken akışın sağlanmasına odaklanılmıştır. Deschutes Havzası'nda sulama ve akım için gereken suyun optimal şekilde tahsis edilmesi amaçlanmıştır (Labadie, 2010).

2.2.2 RIBASIM

RIBASIM havza planlama ve yönetiminde 20 yılı aşkın bir süredir dünyanın birçok ülkesinde geniş çaplı projelerde kullanılan bir modeldir. RIBASIM kullanıcılarına altyapı, işletme ve talep yönetimi ile alakalı sonuçları su bütçesi ve su kalitesi açısından değerlendirme imkanı verir. RIBASIM oluşturduğu su ağı sayesinde akarsu kollarında ve rezervuarlarda detaylı su kalitesi ve sedimentasyon analizi yapmayı sağlar. Bu da havzanın herhangi bir yerindeki suyun kaynağını tespit ederek, kaynak analizi yapmayı mümkün kılar.

RIBASIM aynı zamanda bir su kaynağı modeli olarak da kullanılabilir. Su dengesi kurulması istenen her havzanın su bütçesini oldukça detaylı bir şekilde (tarım alanlarından sızan, endüstriyel deşarj, suyun yeniden kullanımı gibi) belirlemeye olanak sağlar.

RIBASIM, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile ilişkilendirilmiş, Şekil 2.4'te gösterilen ve kullanımı oldukça basit arayüzü sayesinde kullanıcıya havzanın modele aktarılmasında, çalıştırılmasında ve sonuçların analizinde kolaylık sağlar.



Şekil 2.4 : RIBASIM programı ara yüzünden bir görüntü.

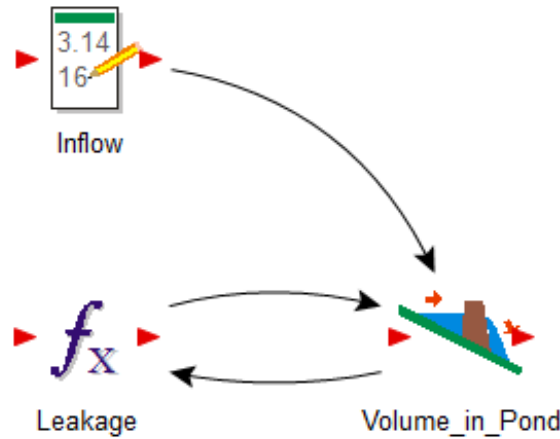
RIBASIM hidrolojik öteleme yapabilme özelliğine sahiptir. Ötelemeyi Manning yöntemi, akış-seviye ilişkisi, Muskingum yöntemi, Puls yöntemi ve lineer olmayan Laurenson metotları ile yapabilir. Ötelemeyi seçilen herhangi bir gün ya da günlerden başlayacak şekilde günlük olarak uygular (URL-2).

2.2.3 Havza modeli olarak kullanılabilir diğer yazılımlar

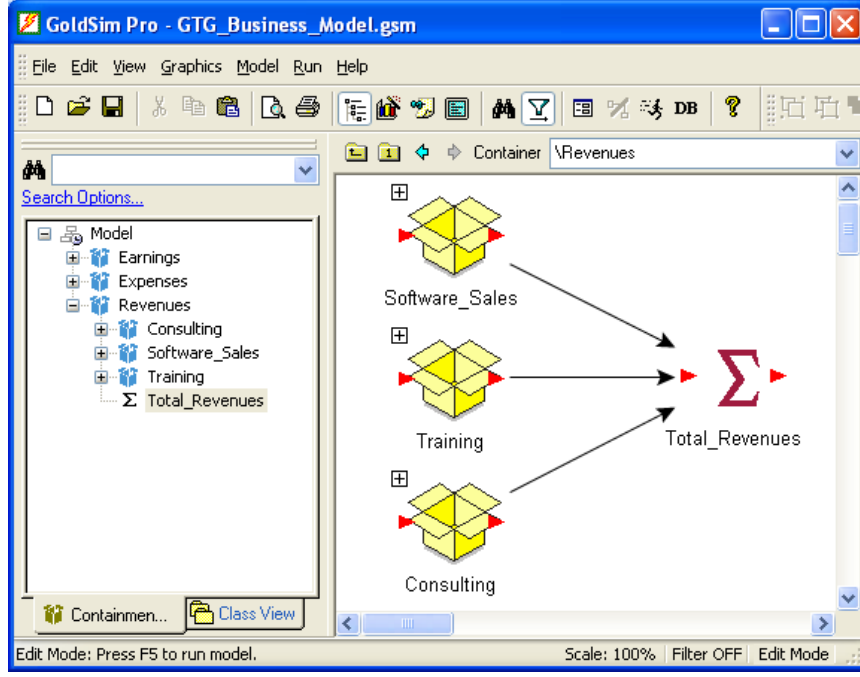
2.2.3.1 GOLDSIM

GoldSim oldukça gelişmiş bir simülasyon programıdır. Varolan ya da öngörülen bir sistemin modelini oluşturmaya imkan tanır. Bu sistem bir havza, orman, maden ya da vücudumuzdaki bir organ olabilir. Sistemi oluşturan faktörleri anlamaya, tanımlamaya ve sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etmekte kullanılabilir. Nicelik bakımından tanımlanabilen hemen hemen tüm sistemler denklemlerle ve kurallarla simüle edilebilir. GoldSim esnek yapısı ile tüm bu sistemleri statik (zamanla değişmeyen) ya da dinamik (zamanla değişen) olarak simüle edebilecek yeteneğe sahiptir.

GoldSim kullanıcı dostu arayüzü ile modellenecek sistemi istenilen şekilde oluşturmaya olanak tanır (Şekil 2.5). Her ne kadar karmaşık ve gelişmiş bir yapısı olsa da kişisel bilgisayarlara aşina olan kişiler GoldSim'i rahatça kullanabilmektedir (Şekil 2.6) (GoldSim Technology Group, 2014).



Şekil 2.5: GoldSim programında oluşturulmuş basit bir sistem.

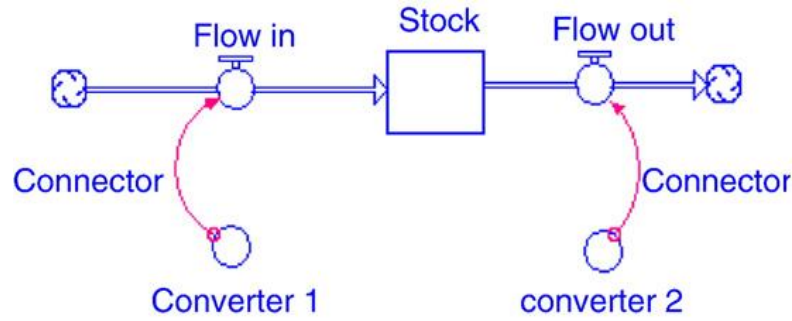


Şekil 2.6 : GoldSim programı ara yüzünden bir görüntü.

GoldSim simülasyon ortamı basit resimlerle desteklenmiş nesne tabanlı olması sebebiyle sistemdeki elemanlar kolayca istenilen yere ve bağlantıya aktarılabilir.

2.2.3.2 STELLA

STELLA kullanımı kolay, kullanıcılarına kurdukları sistemi zamana bağlı olarak simüle etme olanağı sağlayan gelişmiş bir bilgisayar programıdır. Sisteme giren bileşenleri, sistemin etkilendiği faktörleri ve model sonuçlarını grafik, animasyon ya da QuickTime programında çalıştırılabilen filmler şeklinde analiz etmeye olanak tanır (Şekil 2.7). Hem Windows hem de Macintosh işletim sistemlerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmış ve internet üzerinden ücret karşılığında edinilebilmektedir (URL-3).



Şekil 2.7 : STELLA programında oluşturulmuş basit bir akış diyagramı (Ouyang, Y. 2007).

3. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul'da toplamda 7 adet su toplama havzası bulunmaktadır. Bunlar Avrupa yakasında, Alibeyköy, Büyükçekmece, Sazlıdere ve Terkos Havzaları; Anadolu yakasında ise Elmalı, Ömerli ve Darlık Havzaları'dır. (TÜBİTAK-MAM, 2006)

3.1 Bölgede Yapılmış Diğer Çalışmalar

Darlık Havzası, İstanbul nüfusunun %11'inin su ihtiyacını karşılamaktadır. Gelecek yıllarda önemi daha da artacak olan bu havzada yapılmış çalışmalarda Darlık Deresi ve kollarından çok, Darlık Baraj Gölü ve gölün su kalitesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Darlık Havzası'nın su bütçesinin ortaya konduğu "Darlık Havzası'nın Hidrolojik Model Destekli Analizi" çalışmasında, WEAP modeli kullanılarak, İstanbul'un baskı altındaki diğer su kaynaklarına göre şehirleşmeden daha az etkilenmiş olan Darlık Havzası için ileride yapılacak olan modelleme çalışmaları için bir altlık oluşturulmuştur (Cüceloğlu, 2013).

Darlık Havzası Sonuç Raporu, 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından yapılmış olup, bölge detaylı bir biçimde analiz edilmiştir. Darlık Havzası'nın fiziksel, sosyo-demografik, iklim, jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, toprak, bitki örtüsü, su kalitesi, mevcut ve idari yapı gibi özellikleri bu çalışma kapsamında irdelenmiş ve bazı koruma eylemleri önerilmiştir (Gönenç ve diğ., 1995).

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin desteklediği, TÜBİTAK'ın 2006 yılında hazırladığı "Darlık Barajı Su Kalitesi İzleme Çalışması" bu bölgede yapılmış olan bir diğer çalışmadır. Bu çalışmada Darlık Baraj Gölü'nün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla, Aralık 2004 ve Aralık 2005 tarihleri arasında aylık, Ocak 2005 ve Ekim 2005 tarihleri arasında mevsimlik ölçümler yapılmıştır. Bu sayede baraj gölünün mevcut su kalitesi ortaya konmuştur.

Gaygusuz (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, Darlık Baraj Gölü'ne akan bazı derelerde bulunan baskın iki türün biyoekolojik özelliklerinin belirlenmesi

amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda belirlenen derelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile birlikte hidrolojik koşullarda meydana gelen değişikliklerin bu ortamda yaşayan canlılar üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Bu sayede kısıtlı miktarda da olsa Darlık Havzası'na ait hidrolojik veriler elde edilmiştir.

3.2 Konum

Darlık Deresi, Marmara Bölgesi'nin doğusunda, 41°08' ile 40°50' kuzey enlemleri ile 29°30' ile 29°42' doğu boylamları arasında kalan alanda bulunan Darlık Havzası'nda yer almaktadır. Beslediği Darlık Barajı, 1985-1989 yılları arasında inşa edilmiş olup, İstanbul'un önemli su kaynaklarından biridir ve İstanbul'un Şile ilçesine 7 km uzaklıktadır. Batısında Ömerli Baraj Havzası bulunmaktadır. Darlık Barajı'nın göl alanı 6 km², havza alanı 207 km² olmakla birlikte yıllık su verme kapasitesi 92 milyon m³'tür. İstanbul'un diğer önemli su kaynaklarının yıllık kapasiteleri; Ömerli Barajı 188,4 milyon m³, Terkos Barajı 133,92 milyon m³, Büyükçekmece Barajı 82,2 milyon m³, Alibey Barajı 32,88 milyon m³, Sazlıdere Barajı milyon m³, Yeşilçay Sistemi 145 milyon m³, Elmalı Barajı 15 milyon m³ ve Istranca Dereleri 235,2 milyon m³ tür (TÜBİTAK-MAM, 2010). Darlık Havzası'nın Türkiye'deki ve İstanbul'daki konumu sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Darlık Havzası'nın Türkiye'deki konumu.



Şekil 3.2 : Darlık Havzası'nın konumu.

3.3 Sosyo–Demografik Yapı

Darlık Havzası içerisinde bulunan 7 adet köye ait nüfus değerleri ve köylerin isimleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Köylerdeki nüfus uzun zamandır değişiklik göstermemiştir. Darlık Havzası, İstanbul'un diğer su havzalarına göre büyük değişimler göstermemiş, nüfus artışından etkilenmemiş, kentleşmeye maruz kalmamıştır. Darlık Barajı da bu sayede su kalitesi yönünden bozulmamış ve İstanbul'un su kaynakları arasından kirlenmeye en az maruz kalan barajlarından birisi konumundadır (Cüceloğlu, 2012).

Çizelge 3.1: Darlık Havzası içerisinde bulunan köyler ve nüfus değerleri.

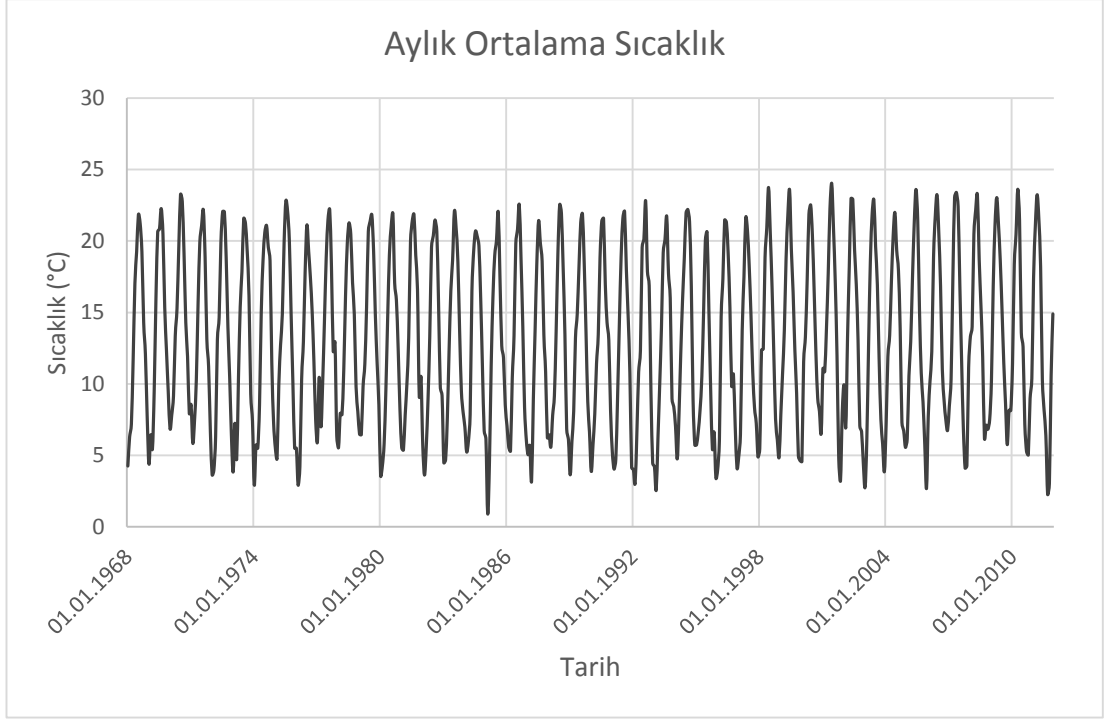
Köy adı	Nüfus 1990	Nüfus 2000	Nüfus 2010
Yağcılar	166	102	184
Kargalı	450	503	481
Ahatlı	-	121	131
Değirmençayırı	714	488	465
Hasanlı	285	288	257
Darlık	145	281	120
Ulupelit	114	234	175
Toplam	1874	2017	1813

Darlık Havzası'nın büyük bir bölümünü ormanlık alan oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı bölgedeki başlıca geçim kaynağı ormancılık olmakla birlikte, bölgede tarım ve hayvancılık da yapılmaktadır (Gaygusuz, 2012).

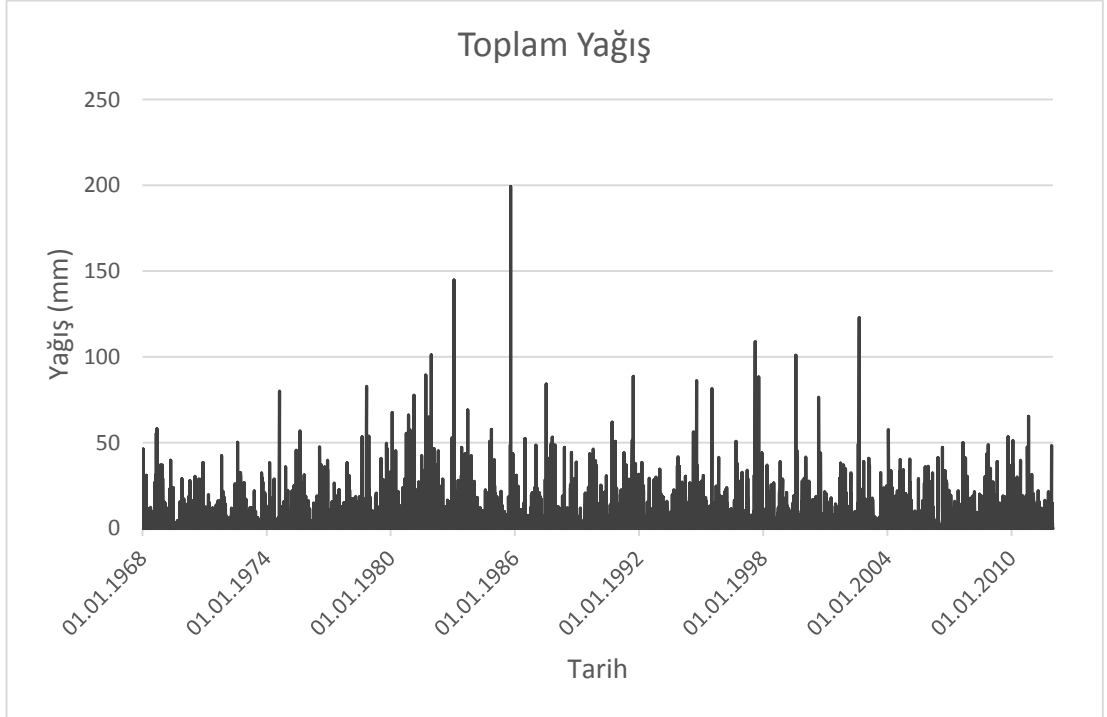
3.4 İklim

Darlık Havzası bulunduğu bölge itibari ile genel olarak Marmara Bölgesi İklimi etkisi altındadır. Ancak bölgenin gezici hava sistemlerinin etkisi altında olması sebebi ile bölge Akdeniz, Karadeniz ve Karasal iklimleri arasında geçiş niteliği taşımaktadır. Bölgenin kuzeyinde Karadeniz kıyıları boyunca iklim serttir fakat güneye doğru bu etki azalmaktadır. Sonuç olarak bölgede kış ve bahar ayları ılıman ve yağışlı geçerken yaz mevsimi genellikle sıcak ve kuraktır (Gönenç ve diğ., 1995). Bununla birlikte, bölgenin doğal bitki örtüsünü, alçak kesimlerinde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerinde kuzeye bakan yamaçlarında ise Karadeniz bitki özelliklerini taşıyan nemli ormanlar oluşturmaktadır. En sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 23,7 °C, en soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,9 °C ve yıllık ortalama sıcaklık 14,0 °C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 595,2 mm olmakla birlikte bu yağışların büyük bir bölümü kış aylarında görülmüştür. Yıllık ortalama nispi nem %73'tür (Şensoy ve diğ., 2008).

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre 1 Ocak 1968 ile 1 Aralık 2011 tarihleri arası aylık ortalama sıcaklık ve günlük yağış istatistikleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: 1968 – 2011 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri.



Şekil 3.4: 1968 – 2011 tarihleri arası günlük toplam yağış değerleri.

4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER

Bu bölümde, yapılan arazi çalışmaları, çalışmalar sonucu elde edilen akarsu enkesitleri, hız ölçümleri ve hesaplanan debiler, havza şebeke modeli olarak kullanılan MODSIM modelinin kurulumu ve çalıştırılmasında kullanılmıştır.

4.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları 22 Şubat 2012, 29 Mart 2012, 2 Mayıs 2012, 11 Haziran 2012, 23 Ağustos 2012 ve 10 Ekim 2012 tarihlerinde olmak üzere toplamda 6 kez gerçekleştirilmiştir. Ancak Ağustos'ta yapılan arazi çalışmasında, istasyonların tamamında ölçüm için yeterli akış mevcut olmamasından dolayı enkesit ve hız ölçümleri yapılamamıştır. Anakol üzerinde bulunan istasyonlarda akış ölçülemeyecek kadar az olduğu, yer yer havuzcukların olduğu, yan kollarda bulunan istasyonların ise tamamen kuruduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda enkesit ölçümleri akarsuyun genişliğine bağlı olarak Şekil 4.1'de gösterilen şekilde, 0,25 metre, 0,5 metre veya 1 metre aralıklarla derinlik ölçülerek yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Arazi çalışmaları sırasında yapılan enkesit ölçümleri.

4.2 Akarsu Ölçümleri

Yeryüzünde bulunan suyun hacimsel ve kalite bakımından doğru olarak belirlenmesi, evsel, tarımsal ve endüstriyel su ihtiyacının karşılanması bakımından önemlidir. Birim zamanda akarsuyun bir kesitinden geçen su hacmine debi denilmektedir. Debi ölçümleri akarsularda iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki, ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri savakları gibi metotları içeren doğrudan debi ölçme metotlarıdır. Akarsudaki debiyi ölçmek için diğer bir metot ise hız-alan ölçüm metodudur. Bu metot, belirli bir kesitten geçen debi, o kesitteki akımın ortalama hızı ile kesit alanı çarpılarak belirlenir (Ardıçlıoğlu, 2006).

Hız-alan yöntemi ile debi hesabı yapılırken, kanal enkesiti düşey dilimlere bölünerek her bir dilime ait ortalama hız (\bar{U}_i), derinlik boyunca ölçülen hızlardan (4.1) ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

$$\bar{U}_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \sum \frac{\frac{U_j + U_{j+1}}{2} h_j}{H_i} \quad (4.1)$$

Burada U_j ve U_{j+1} belirlenen düşeydeki ardışık hızlar, h_j bu iki hız ölçüm noktasındaki uzaklık, a_i ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir. Bu dilime ait debi (q_i); dilim genişliği (b_i), akım derinliği (H_i) ve dilime ait ortalama hız (\bar{U}_i) olmak üzere (4.2) ifadesi yardımı ile belirlenir.

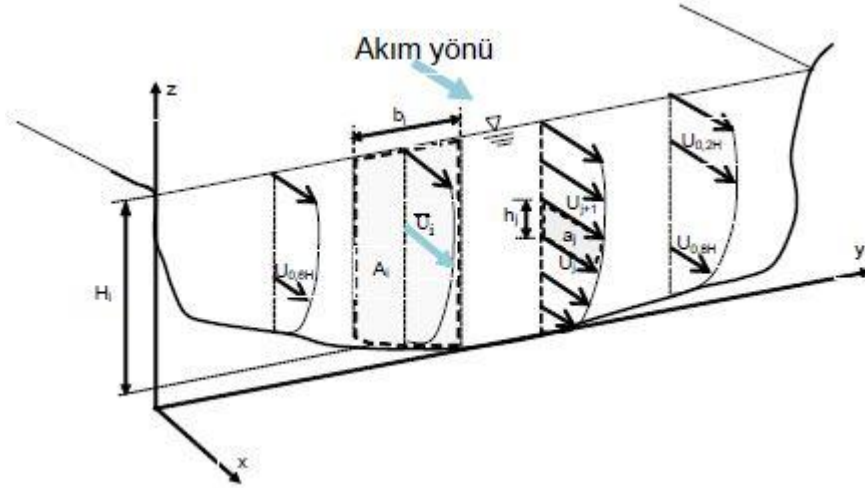
$$q_i = b_i H_i \bar{U}_i \quad (4.2)$$

Bu şekilde kanal enkesiti üzerinden geçen toplam debi Q , tüm dilimlerden geçen debilerin toplanarak (4.3) ifadesi yardımıyla elde edilmektedir (Ardıçlıoğlu ve diğ., 2011).

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n b_i H_i \bar{U}_i \quad (4.3)$$

Belirlenen düşeyde (4.1) ifadesi ile hesaplanan derinlik boyunca ölçülen hızların ortalaması ile su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliklerde ölçülen (Şekil 4.2) iki hızın ortalamasıyla yakın değerler olduğu bilinmektedir. Bu iki derinlikteki hızların

ortalamları ile kanal enkesitinden geçen debi hesaplanabilmektedir. Derinliğin az olduğu ($H < 50 - 60$ cm) sularda, su yüzeyinden $0.6H$ derinlikte ölçülen hız belirlenen düşeydeki ortalama hızı temsil etmekte ve (4.2) ve (4.3) ifadeleri kullanılarak kesitten geçen debi hesaplanabilmektedir (Ardıçoğlu ve diğ., 2011).



Şekil 4.2 : Akarsu enkesitinde ölçüm yapılan düşeylerde ortalama hızın hesabı.

Akarsularda su yüzeyindeki hızın ölçülmesi, ortalama hızın belirlenmesinden daha kolaydır. Ağır olmayan ve yüzeydeki su hızı ile yaklaşık aynı hızda hareket edebilecek yaprak, dal parçası vb. maddelerin belirli bir mesafeyi (10 – 15 m) alma süreleri saniye cinsinden kolaylıkla belirlenebilmektedir. Su yüzeyindeki hızı ölçme işlemi 5 – 10 kez tekrar edilir. Böylece cismin birim zamanda aldığı yol hesaplanarak, su yüzeyindeki ortalama hız belirlenebilmektedir. USGS'nin yaptığı çalışmalar sonucunda doğal akarsularda ortalama hız/su yüzeyi hızı oranı $k = 0.85 - 0.86$, yapay kanallarda ise bu katsayının 0.90 olarak kabul edilebileceğini belirtmiştir. Bu katsayılar kullanılarak hız ve ıslak enkesit alanı ile kanaldan geçen debi rahatlıkla hesaplanabilmektedir (Ardıçoğlu ve diğ., 2011).

Bu çalışmada, debi ölçer ile ölçülmeyecek derecede sığ ya da debisi düşük akarsularda serbest su yüzeyindeki hızlar yüzer cisimler yardımıyla 5'er ve 10'ar metre aralıklarla ölçülmüş, bahsedilen düzeltme katsayılarıyla çarpılarak kesitten geçen debiler hesaplanmıştır. Hesaplanan debiler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Hesaplanan debiler (m³/s).

Tarih/İstasyon	1.İst.	2. İst.	3. İst.	4. İst.	5. İst.	6. İst.	7. İst.
22.02.2012	0.115	5.858	0.378	0.275	0.004	1.420	2.432
29.03.2012	0.221	0.634	0.053	0.021	0.035	0.132	0.292
02.05.2012	0.198	0.947	0.347	0.036	0.002	0.325	0.587
11.06.2012	0.186	0.175	0.194	0.003	0.010	0.054	0.029
23.08.2012	0	0	0	0	0	0	0
10.10.2012	0	0.003	0	0.001	0	0.026	0

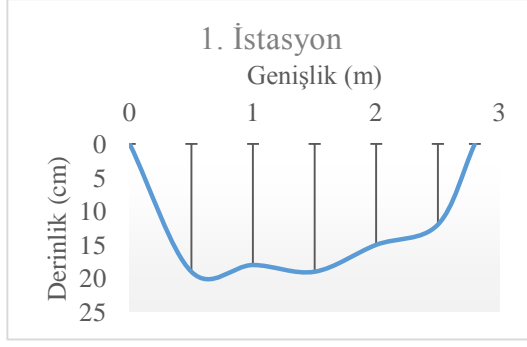
4.3 Ölçüm Noktaları

Şubat 2012 – Ağustos 2012 tarihleri arasında 6 kez arazi çalışması yapılmış, Çizelge 4.2’de koordinatları gösterilen ölçüm noktalarında enkesit ve ortalama hız ölçümleri yapılmıştır. İstasyonlar Darlık Havzası akarsu ağını mümkün mertebe temsil edebilecek şekilde seçilmiş olup, bu seçim yapılırken arazi koşulları da göz önünde bulundurulmuştur.

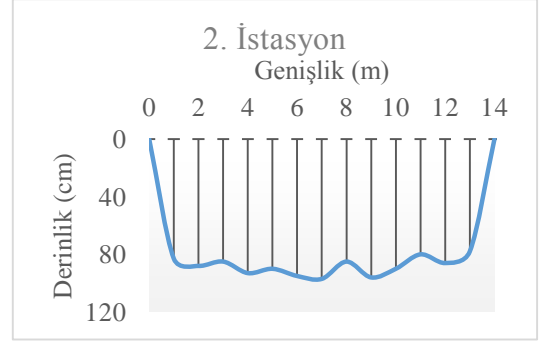
Çizelge 4.2 : Darlık Deresi ölçüm noktaları.

İstasyon	Koordinatlar	
1	41° 02'59.96"K	29°37'21.70"D
2	41° 02'39.99"K	29°37'45.20"D
3	40° 59'46.88"K	29°40'13.96"D
4	40° 59'12.06"K	29°40'00.41"D
5	40° 59'33.32"K	29°38'58.62"D
6	41° 02'39.56"K	29°37'41.25"D
7	41° 01'55.11"K	29°38'07.45"D

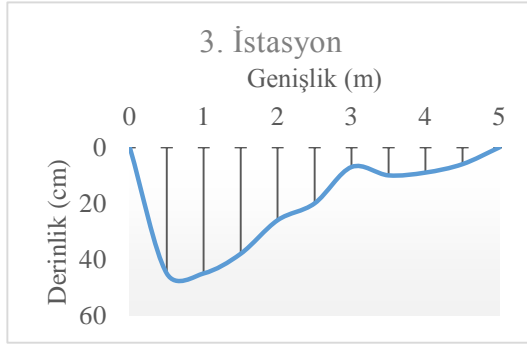
22 Şubat 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



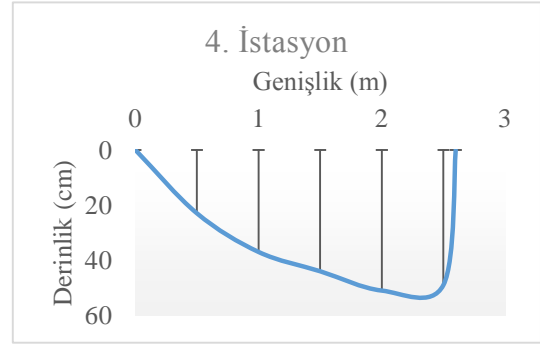
(a)



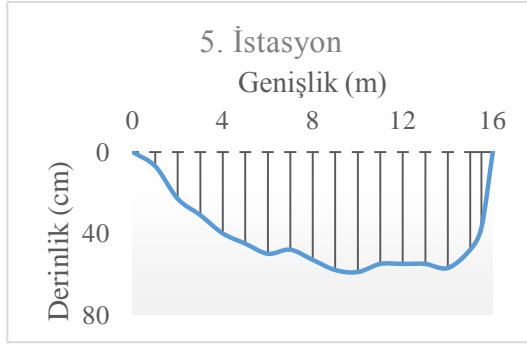
(b)



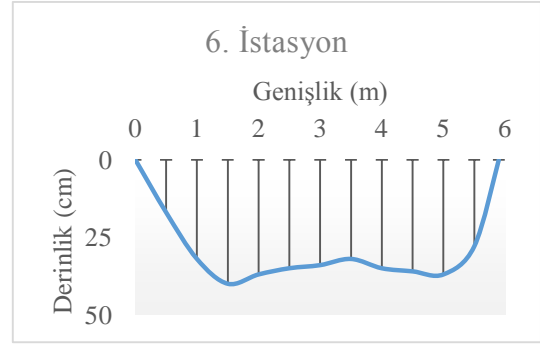
(c)



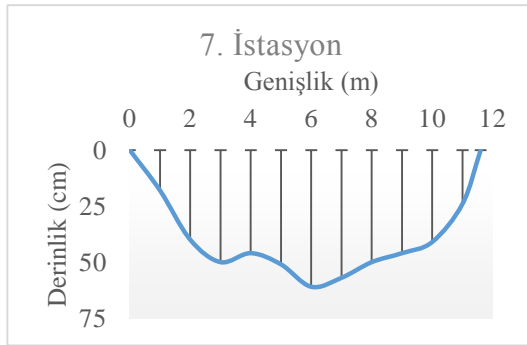
(d)



(e)



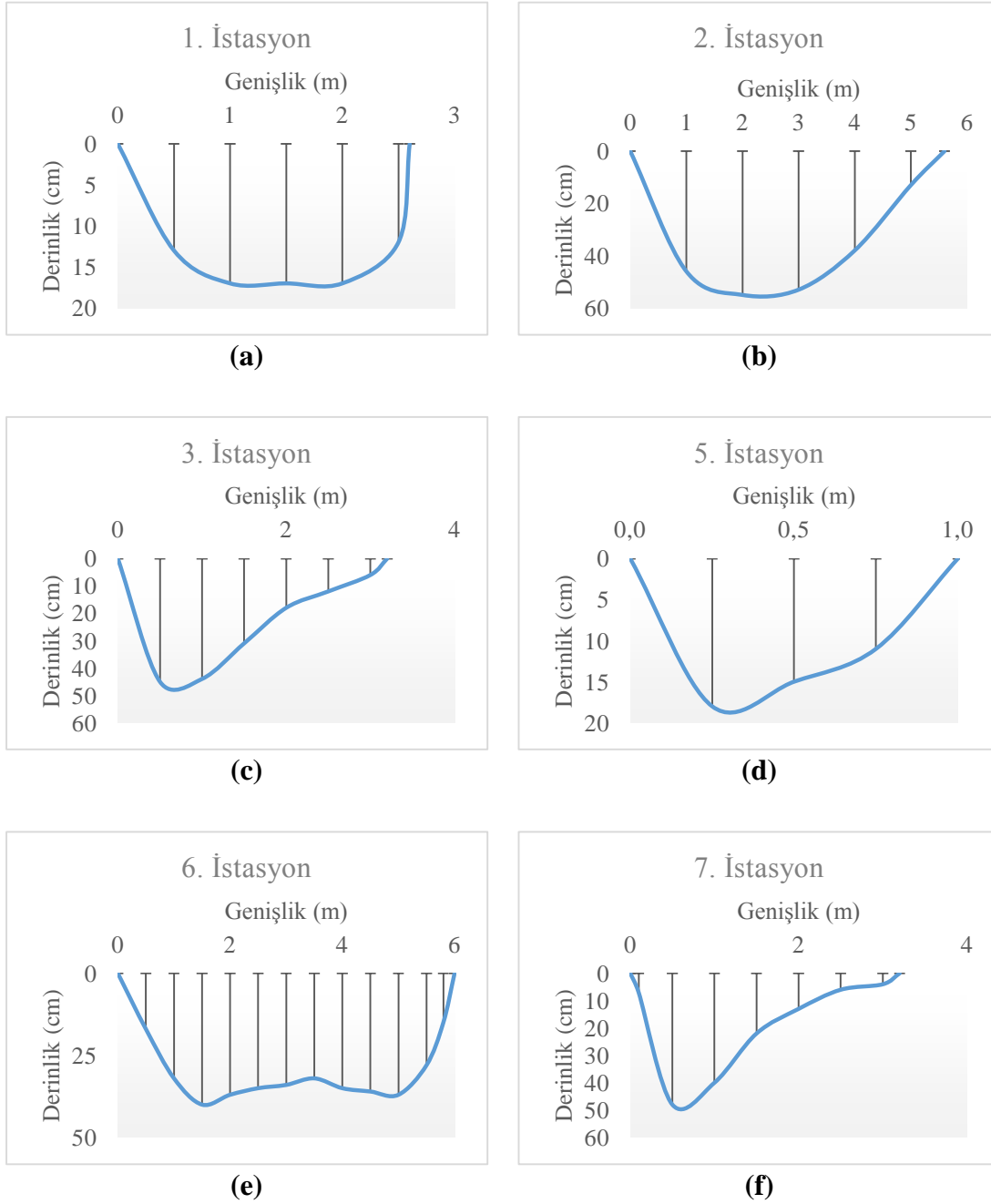
(f)



(g)

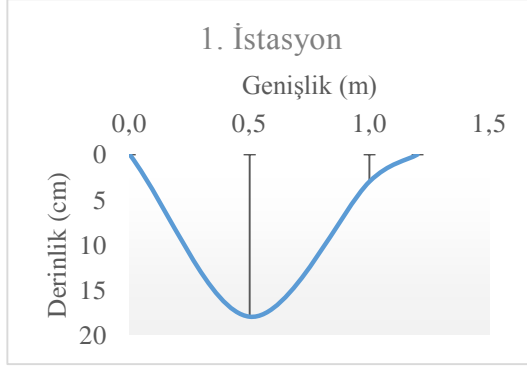
Şekil 4.3 : 22 Şubat 2012’de yapılan arazi çalışmasında elde edilen enkesitler: (a) 1. İstasyon. (b) 2. İstasyon. (c) 3. İstasyon. (d) 4. İstasyon. (e) 5. İstasyon. (f) 6. İstasyon. (g) 7. İstasyon.

29 Mart 2012'de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

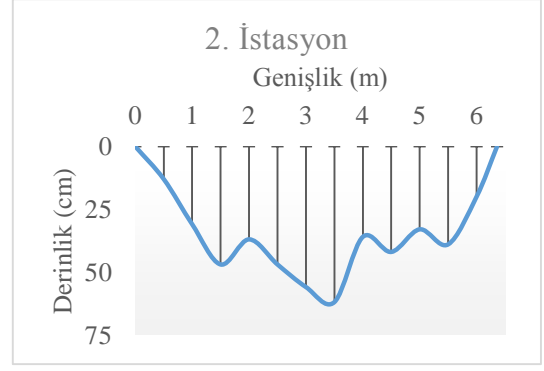


Şekil 4.4 : 29 Mart 2012'de yapılan arazi çalışmasında elde edilen enkesitler: : (a) 1. İstasyon. (b) 2. İstasyon. (c) 3. İstasyon. (d) 5. İstasyon. (e) 6. İstasyon. (f) 7. İstasyon.

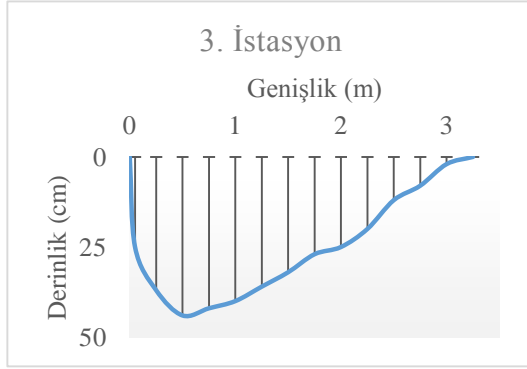
2 Mayıs 2012'de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



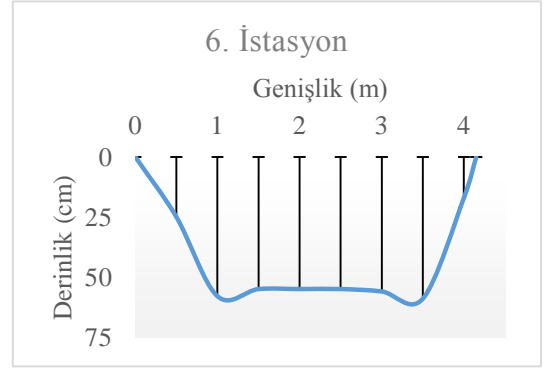
(a)



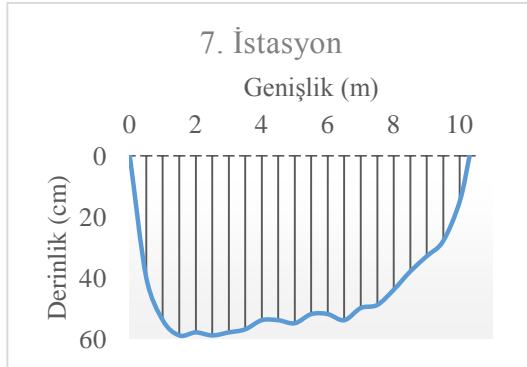
(b)



(c)



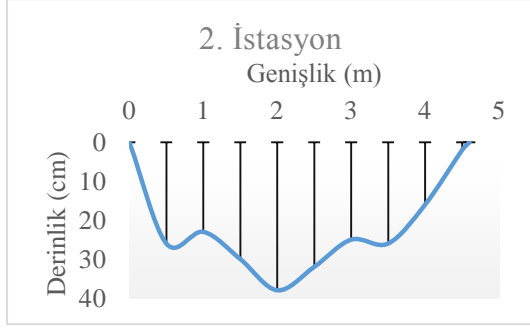
(d)



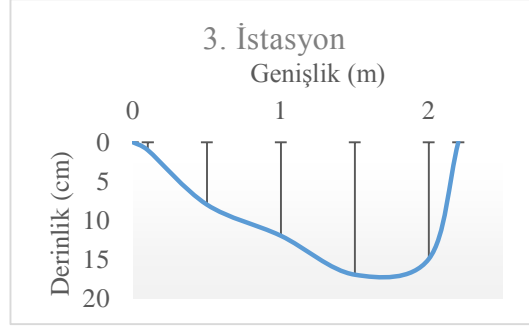
(e)

Şekil 4.5 : 2 Mayıs 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler: (a) 1. İstasyon. (b) 2. İstasyon. (c) 3. İstasyon. (d) 6. İstasyon. (e) 7. İstasyon.

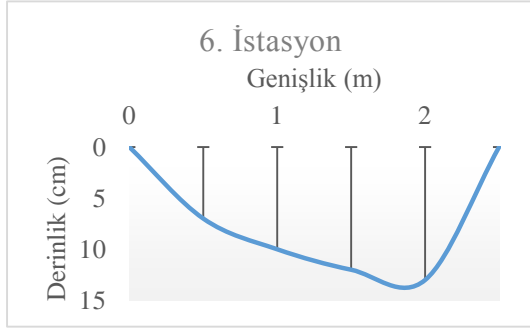
11 Haziran 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



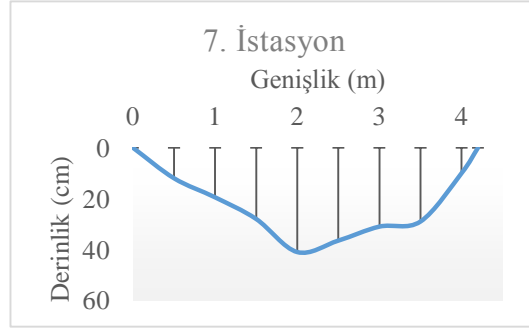
(a)



(b)



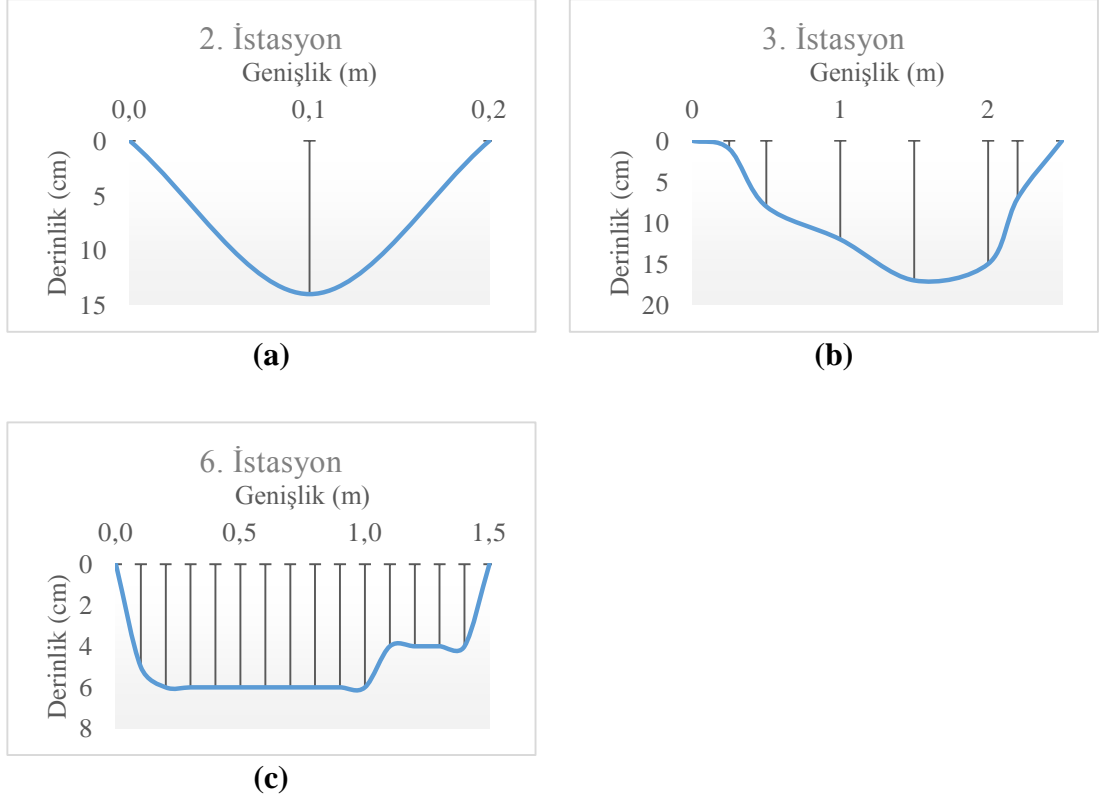
(c)



(d)

Şekil 4.6 : 11 Haziran 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler: (a) 1. İstasyon. (b) 2. İstasyon. (c) 3. İstasyon. (d) 6. İstasyon. (e) 7. İstasyon.

10 Ekim 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : 10 Ekim 2012’de yapılan arazi çalışmalarında elde edilen enkesitler: (a) 2. İstasyon. (b) 3. İstasyon. (c) 6. İstasyon.

4.4 Akarsularda Hidrograf Öteleme

Akarsularda hidrograf öteleme, bir hidrolojik sistem boyunca belirlenen bir veya daha fazla noktada suyun debisini izlemek veya tahmin etmek için kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu hidrolojik sistem, bir akarsu, nehir, kanal, haliç veya kanalizasyon olabilir.

Hidrograf öteleme toplu ve yayılı olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Toplu hidrograf ötelemenin bir diğer adı olan hidrolojik öteleme, akım zamanının bir fonksiyonu olarak ele alınır. Hidrolik öteleme olarak da bilinen yayılı hidrograf ötelemede ise akımı zaman ve mekanın bir fonksiyonu olarak hesaplanır (Chow ve diğ., 1988).

4.4.1 Muskingum yöntemi

Akarsu boyunca hidrograf ötelenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri Muskingum yöntemidir. Bu metot biriktirme hacminin (S) giren ve çıkan (x ve y) akımların bir fonksiyonu olduğu kabul edilir (Beyazıt, 1998).

$$S = f(x, y) \quad (4.1)$$

Muskingum modeli taban eğimi yüksek olan akımlarda ve hidrografın yükselme süresinin büyük olması halinde iyi sonuç verir (Beyazıt, 1998).

4.5 Modelin Kurulumu

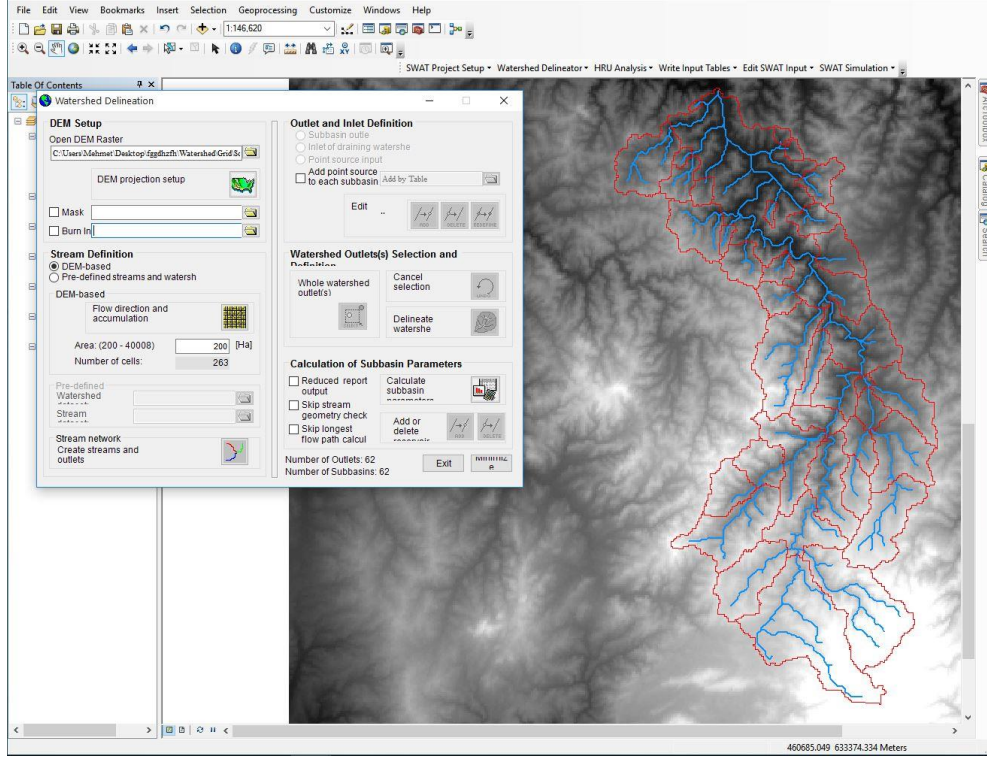
Havza şebeke modeli olarak bu çalışmada kullanılacak olan MODSIM modelinin kurulum aşaması adım adım anlatılmış, Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada hidrolojik proses modeli olarak kullanılan WEAP modelinden alınan veriler MODSIM modelinde hidrograf öteleme yapılarak çalıştırılmıştır.

4.5.1 Althavzaların oluşturulması

Akarsu ağının oluşturulması ve althavzaların belirlenebilmesi için bir Coğrafi Bilgi Sistemi programı olan ArcGIS 10.2 ile uyumlu ArcSWAT (Water Delineation Tool) kullanılmıştır.

ArcGIS programı açılarak, öncelikle yeni bir klasör ve içerisine yeni bir SWAT projesi oluşturulur. Proje oluşturulduktan sonra “Watershed Delineation” sekmesindeki “Automatic Watershed Delineation” aktif hale gelir ve tıklayarak sayısal yükseklik modeli (SYM) seçilir ve programa tanıtılmış olur. Eklenen SYM çalışılmak istenen bölgeden daha büyük bir alanı kapsıyor ise, bir maske ile SYM, çalışılacak bölgenin alanıyla kesiştirilir ve çıkarılır. Bu sayede havza sınırları belirlenir. Bunun bir diğer yolu ise havza sınırlarının manuel olarak çizilmesidir. Burada kullanıcı ArcMap programında olduğu gibi poligon çizme ve düzenleme olanaklarına sahiptir. Bunlara ek olarak, ArcSWAT daha önceden tanımlanmış bir akarsu ağını (örneğin Google Earth kullanılarak hazırlanmış bir akarsu ağı) SYM dosyası ile birleştirerek (Burn-in özelliği yardımı ile) akarsu ağının havza sınırları içerisindeki yerini tanımlamaya imkan tanır. Bu çalışmada, SYM esas alınarak, althavza sınırları ve akarsu yönü ve birikimi, alan büyüklüğü seçilerek havza giriş ve çıkışları oluşturulmuştur.

Havza giriş ve çıkış noktaları modelin oluşturduğu şekilde kullanılabilmesi gibi kullanıcı havza giriş ve çıkış noktalarını kendi de tanımlayabilmektedir. Seçilen ya da oluşturulan giriş ve çıkış noktalarına göre althavza sınırları (drenaj alanları) oluşturulur (Şekil 4.8). Oluşturulan althavzaların alanları Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.8: ArcSWAT ile althavzaların oluşturulması.

Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada Darlık Havzası 18 adet althavzaya ayrılmıştır. Ancak bu çalışmada 38 adet althavza bulunmaktadır. Akarsu debilerinin orantılı dağıtılabilmesi, alanların birbirine oranlanması işlemleri CBS programı ArcGIS 10.2’de yapılmıştır. CBS programında üst üste farklı tabakalar halinde koyulan althavzalar kesiştirilmiş ve oranlanmıştır. Bu oranlar sonucu her bir althavzada bulunan, akışa geçen debiler hesaplanmıştır. Althavzaların birbirine oranlarının bulunduğu çizelge Ek – A’da verilmiştir.

Çizelge 4.3: Oluşturulan althavzalar ve alanları.

Althavza No	Alan (km2)
1	35,34
2	0,23
3	6,95
4	0,49
5	0,62
6	0,58
7	2,35
8	2,52
9	1,19
10	2,38
11	5,52
12	0,47
13	0,69
14	3,01
15	3,67
16	1,45
17	2,29
18	8,35
19	10,56
20	2,77
21	4,15
22	0,54
23	5,73
24	2,04
25	2,68
26	7,54
27	2,74
28	7,04
29	6,75
30	3,83
31	2,91
32	8,58
33	3,92
34	9,32
35	5,88
36	7,51
37	14,23
38	20,44
Toplam	207,27

4.5.2 Su Kaynakları modeli olarak MODSIM

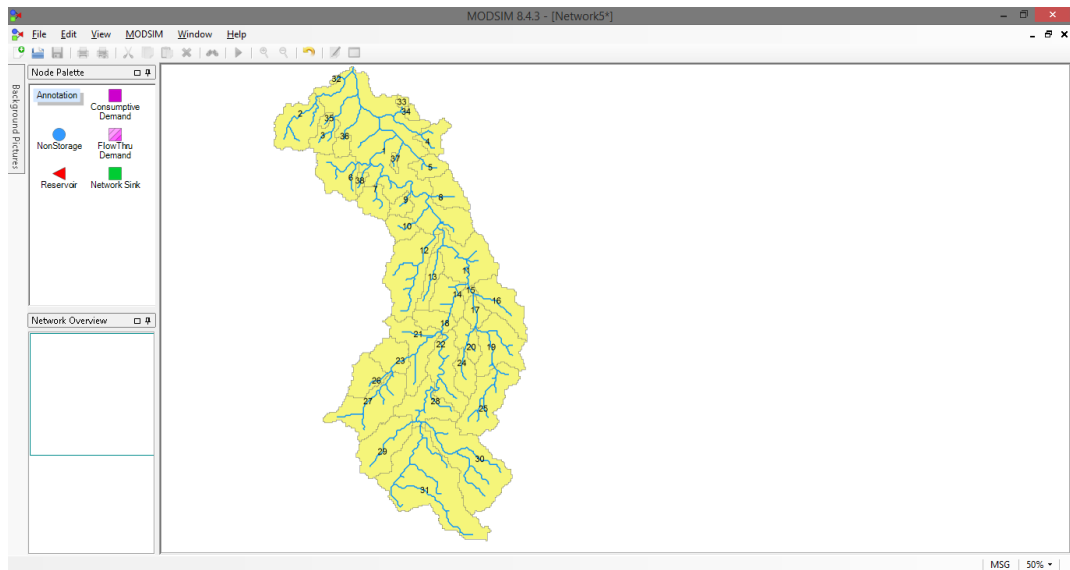
MODSIM modeli uzun ve kısa vadeli su kaynakları planlamasında, su tahsisi analizlerinde, üretilen senaryoların olası etkilerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte kentsel ve zirai faaliyetlerde kullanılan, ekolojik dengenin sürdürülebilmesi için gerekli suyun dengesinin kurulmasında da kullanılabilir (Labadie, 2010).

Bu bölümde modelin kurulumu ve çalıştırılması hakkında adım adım bilgi verilmektedir.

4.5.3 Akarsu ağı

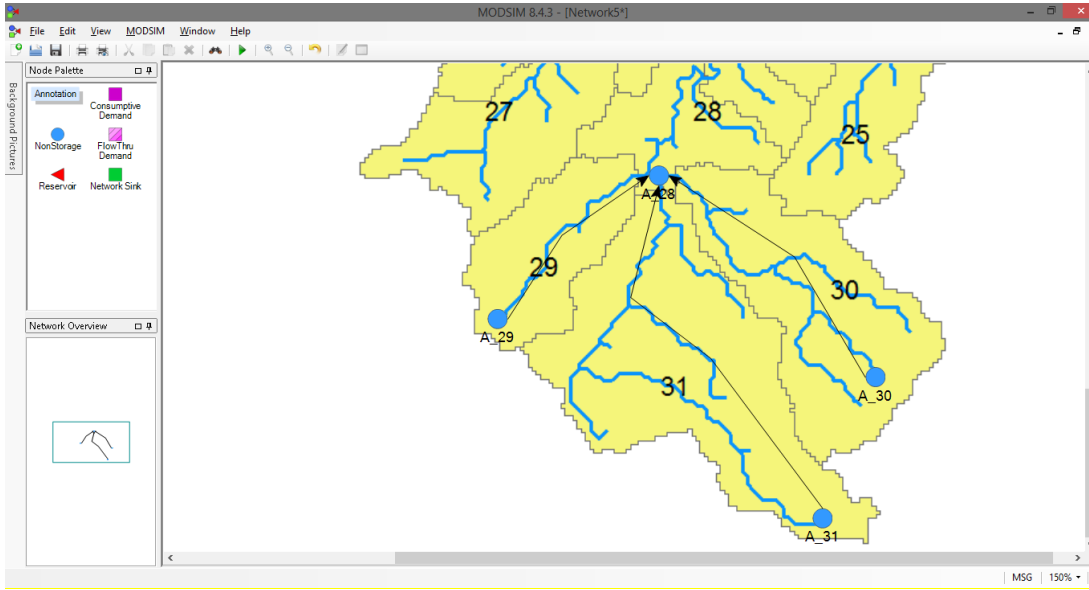
MODSIM modelinde drenaj alanları dolayısıyla akarsu ağının topolojisi tamamen kullanıcı tarafından tanımlanmakta ve şekillendirilmektedir.

SWAT Watershed Delineation aracı ile drenaj alanları belirlendikten sonra, bu drenaj alanlarını ArcGIS programından alıp, bir resim dosyası olarak kaydederek, MODSIM programında akarsu ağını oluşturmak için bir ekran görüntüsü olarak kullanmak mümkündür. Bunu yapabilmek için MODSIM programının menü çubuğunda "FILE" sekmesinden "IMPORT > BACKGROUND IMAGE" tıklanarak, kaydedilen resim dosyası seçilir ve arkaplan görüntüsü olarak eklenir (Şekil 4.9). MODSIM modeli, jpeg, bmp, gif ve tif uzantılı resim dosyalarını tanıyabilmekte, bununla beraber son sürümdeki (MODSIM 8.4.3) güncelleme ile birlikte tüm resim formatlarını algılayabilmektedir.



Şekil 4.9 : MODSIM modeline eklenen arkaplan görüntüsü.

MODSIM modelinde akarsu ve drenaj alanları “NON-STORAGE NODE” adı verilen bileşenler ile tanımlanmaktadır. Bu bileşenler drenaj alanının memba-mansap ilişkisinin kurulmasında kullanılır, havzadaki su bu noktalarda depolanmaz. Fare yardımı ile bu bileşenler sürüklenerek model ağının kurulduğu alana çekilir ve istenen yerde bırakılır. Kullanıcı her bir bileşene istediği ismi verebilmektedir. Drenaj alanının memba kısmına yerleştirilen “node”, memba kısmında bulunan drenaj alanının membasına koyulan “node” ile fare yardımıyla birleştirilerek akarsu ağı oluşturulmaya başlanır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Althavzalarda MODSIM akarsu ağının tanımlanması.

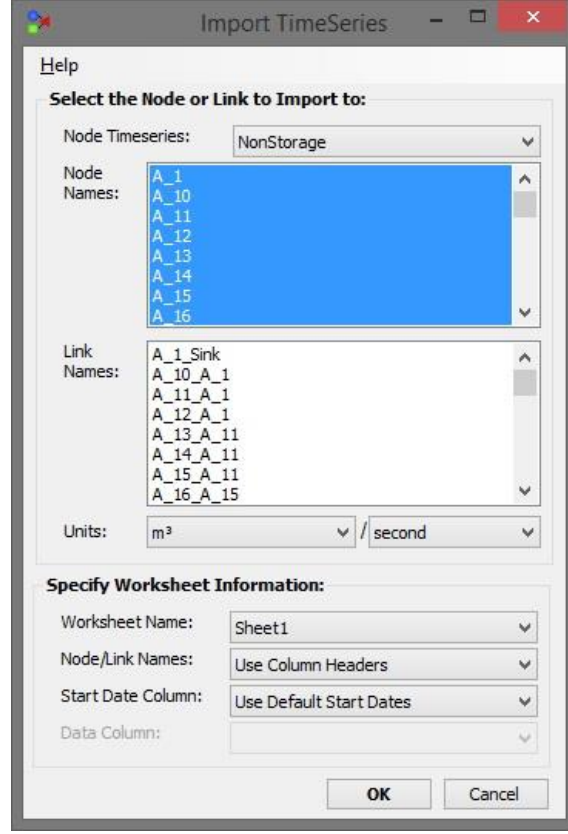
Bu çalışmada girilen verilerin takibi, veri girişinin kolaylığı vb. durumlarda kolaylık olması açısından, akarsu parçalarının numaralandırılması, drenaj alanlarına benzer şekilde verilmiştir (A_1, A_2...). Örneğin 34 numaralı drenaj alanı için çizilen akarsu koluna A_34 ismi verilmiştir.

Siyah çizgi ile gösterilen akarsu parçaları, kullanıcının isteğine bağlı olarak şekillendirilebilir ve çizilen akarsu kollarının uzunluklarının sayısal bir değeri yoktur. Görsellik katma amacıyla bağlantı hatları uzatılabilmektedir. Bağlantı parçalarının üzerinde herhangi bir noktada farenin sağ tuşu ile tıklandığında, açılan menüden “INSERT POINT” seçilerek akarsu parçasına eklenen noktalar sayesinde istenilen yerden akarsu kolları bükülebilmektedir. Bu sayede akarsu parçaları gerçeğe yakın, detaylı bir şekilde çizilmiş olur.

Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada WEAP modeli Darlık Havzası için elde edilen veriler kullanılmıştır. WEAP modeli ile her bir drenaj alanı için hesaplanan akarsu akımları daha önce bahsedildiği gibi MODSIM modelindeki althavzalar ile ilişkilendirilmiştir. Hesaplanan debiler, MODSIM modeline tanımlanan akarsu kollarının membasında bulunan elemanlara el ile girilebilir ya da uygun formatta hazırlanarak, MS Access Database (.mdb, .accdb), excel (.xlsx, .xls, .xlsm) veya .csv, .txt, .asc, .tab dosyaları şeklinde okutulabilmektedir. Bunu yapabilmek için menü çubuğunda “FILE” menüsü açılır ve “IMPORT > TIMESERIES” tıklanarak, veri girilmek istenen akarsu kolu seçildikten sonra açılan pencerede veri dosyası seçilmesi gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken, veri girişi yapılacak elemanın ismi ile veri dosyasından alınacak veri sütununun ilk satırındaki ismin aynı olmasıdır. Şekil 4.11’deki örnek girdi dosyasında gösterilen debiler m³/s cinsindedir. Veriler birden fazla elemana tek seferde otomatik olarak aktarılabilmektedir (Şekil 4.12).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DATE	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_10
2	10/1/1968	2.6266	0.0011	0.0334	0.0252	0.0314	0.0295	0.1202	0.1287	0.0606	0.191
3	10/2/1968	2.4894	0.0011	0.0344	0.0238	0.0296	0.0278	0.1132	0.1213	0.0571	0.181
4	10/3/1968	5.3650	0.0024	0.0733	0.0513	0.0640	0.0600	0.2445	0.2618	0.1232	0.391
5	10/4/1968	9.8317	0.0044	0.1319	0.0941	0.1173	0.1100	0.4485	0.4803	0.2261	0.721
6	10/5/1968	3.0523	0.0016	0.0478	0.0289	0.0361	0.0338	0.1380	0.1477	0.0695	0.221
7	10/6/1968	2.9086	0.0016	0.0477	0.0275	0.0343	0.0321	0.1311	0.1403	0.0661	0.211
8	10/7/1968	12.4555	0.0057	0.1704	0.1191	0.1485	0.1392	0.5676	0.6078	0.2861	0.911
9	10/8/1968	3.7908	0.0020	0.0617	0.0359	0.0447	0.0419	0.1709	0.1830	0.0861	0.281
10	10/9/1968	3.3895	0.0019	0.0581	0.0319	0.0398	0.0373	0.1522	0.1630	0.0767	0.251
11	10/10/1968	3.3741	0.0020	0.0589	0.0318	0.0396	0.0371	0.1513	0.1621	0.0763	0.251
12	10/11/1968	3.1493	0.0019	0.0567	0.0296	0.0369	0.0346	0.1409	0.1509	0.0710	0.231
13	10/12/1968	3.9706	0.0022	0.0675	0.0374	0.0467	0.0437	0.1784	0.1910	0.0899	0.291
14	10/13/1968	4.7776	0.0026	0.0779	0.0452	0.0563	0.0528	0.2152	0.2305	0.1085	0.351
15	10/14/1968	3.1129	0.0019	0.0569	0.0292	0.0364	0.0341	0.1391	0.1489	0.0701	0.231
16	10/15/1968	3.0208	0.0018	0.0557	0.0283	0.0353	0.0331	0.1348	0.1444	0.0680	0.221
17	10/16/1968	2.9340	0.0018	0.0544	0.0275	0.0342	0.0321	0.1309	0.1401	0.0660	0.211
18	10/17/1968	9.6909	0.0046	0.1400	0.0923	0.1151	0.1079	0.4400	0.4712	0.2218	0.711
19	10/18/1968	5.0205	0.0027	0.0806	0.0475	0.0592	0.0555	0.2263	0.2423	0.1141	0.371
20	10/19/1968	3.5037	0.0020	0.0616	0.0329	0.0410	0.0385	0.1568	0.1679	0.0790	0.261
21	10/20/1968	19.0583	0.0086	0.2593	0.1822	0.2272	0.2130	0.8684	0.9299	0.4377	1.401
22	10/21/1968	28.5124	0.0126	0.3802	0.2729	0.3403	0.3190	1.3008	1.3929	0.6557	2.101
23	10/22/1968	7.8337	0.0040	0.1195	0.0743	0.0927	0.0869	0.3542	0.3793	0.1786	0.581
24	10/23/1968	5.9148	0.0032	0.0975	0.0558	0.0696	0.0652	0.2660	0.2849	0.1341	0.431
25	10/24/1968	5.6332	0.0032	0.0955	0.0530	0.0661	0.0620	0.2528	0.2708	0.1275	0.411
26	10/25/1968	5.3903	0.0031	0.0934	0.0507	0.0632	0.0592	0.2415	0.2586	0.1218	0.401
27	10/26/1968	5.1681	0.0030	0.0909	0.0485	0.0605	0.0567	0.2313	0.2476	0.1166	0.381
28	10/27/1968	4.9791	0.0029	0.0885	0.0467	0.0582	0.0546	0.2225	0.2383	0.1122	0.371
29	10/28/1968	4.8037	0.0029	0.0860	0.0450	0.0561	0.0526	0.2146	0.2298	0.1082	0.351
30	10/29/1968	5.5704	0.0036	0.1080	0.0621	0.0770	0.0726	0.2859	0.3168	0.1491	0.481

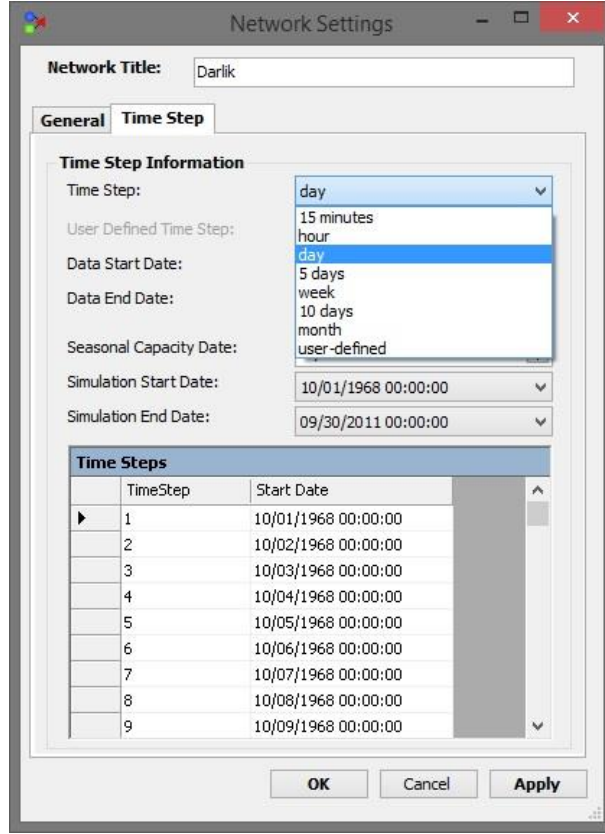
Şekil 4.11: MODSIM için örnek girdi dosyası.



Şekil 4.12: MODSIM modeline veri aktarımı ekran görüntüsü.

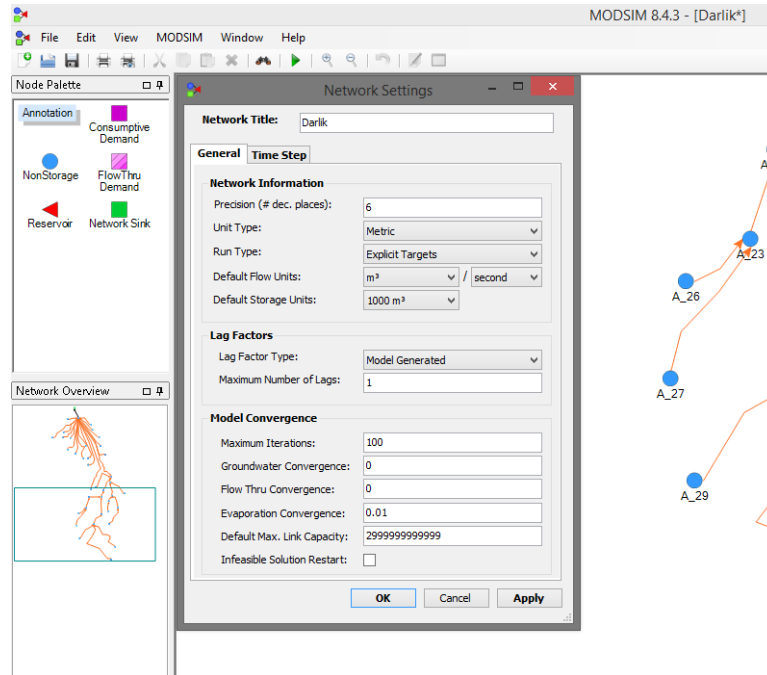
4.5.4 Hidrograf öteleme

MODSIM yıllık, aylık, haftalık, günlük, saatlik, 15 dakikalık zaman adımlarıyla çalıştırılabilmesinin yanında kullanıcıya kendi zaman adımını tanımlama imkanını da vermektedir. İstenilen zaman adımı seçimi, program ekranındaki menü çubuğunda “MODSIM” açılır ve menü altındaki “Network Settings” seçeneği ile açılan pencereden, “Time Step” sekmesinden yapılmaktadır (Şekil 4.13). Bu çalışmada model zaman adımı 1 gün seçilmiştir.



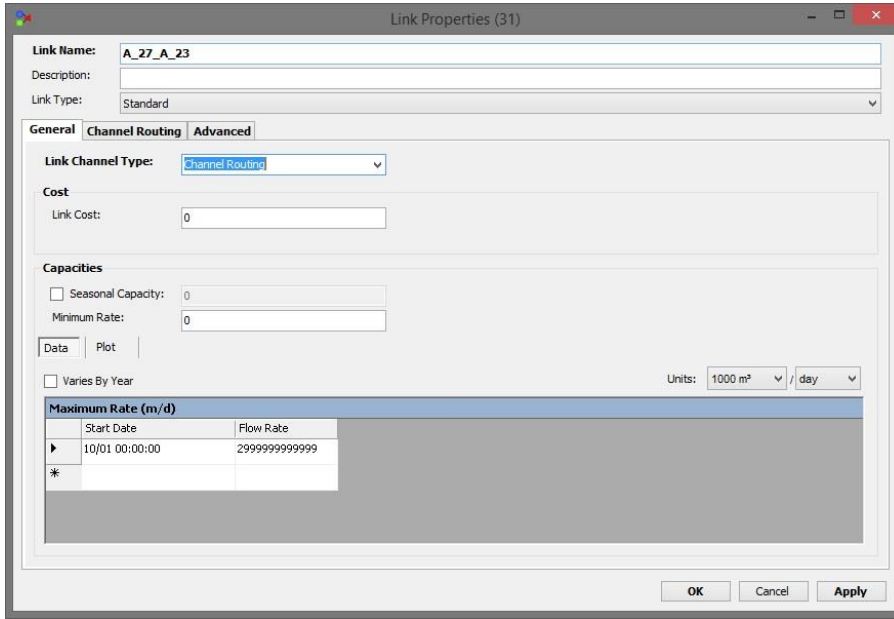
Şekil 4.13: MODSIM zaman adımı ayarı ekran görüntüsü.

Model dosyasına verilmek istenen isim, veri hassasiyeti, ölçü birimi ve birim değişikliği gibi kullanıcıya bağlı seçenekler de “Network Settings” penceresindeki “General” sekmesinden yapılmaktadır (Şekil 4.14).



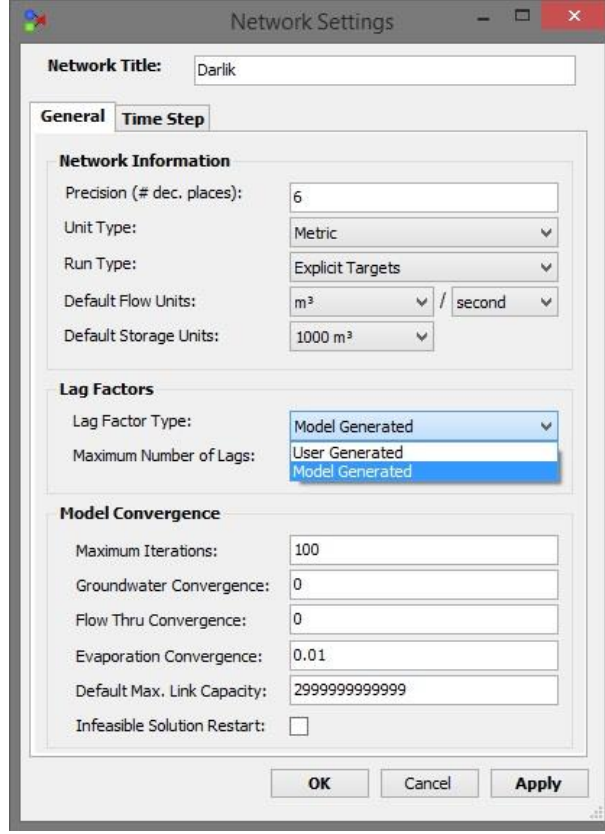
Şekil 4.14: MODSIM akarsu ağı özellikleri ekran görüntüsü.

Hidrograf öteleme günlük ve daha düşük zaman adımlarında kullanılmaktadır. MODSIM’de iki “non-storage” eleman arasındaki bağlantılar, akarsuyu simgelemekte, model arayüzünde bu bağlantılara sağ tıklandığı takdirde açılan menüden “PROPERTIES” seçeneği ile açılan menüde, bağlantı özellikleri görüntülenebilmektedir. Öteleme yapılmak istenen bağlantı için, açılan pencerede “Link Channel Type” açılır menüsünden “CHANNEL ROUTING” özelliği seçilir (Şekil 4.15). Ayrıca buradan, kanal kapasitesi ve birimi ve kayıpların modellenebildiği diğer kanal özelliklerine de ulaşılabilmektedir.



Şekil 4.15: MODSIM kanal özellikleri ekran görüntüsü.

MODSIM öteleme hesaplamalarını Muskingum Metodu’na göre yapmaktadır. Muskingum formülü ile hesaplanan gecikme faktörlerini kullanıcı kendi hesaplayıp modele girebilmektedir. Bununla birlikte formül için gereken verilerin girilmesi durumunda model bu katsayıları kendi de hesaplayabilmektedir. Bu ayar daha önce bahsedilen akarsu ağı özelliklerinin bulunduğu “NETWORK SETTINGS” penceresinden yapılmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Gecikme faktörü seçimi ekran görüntüsü.

MODSIM, Muskingum Metodu için gereken öteleme katsayılarını aşağıdaki denklemler ile hesaplar:

$$c_0 = \frac{(\Delta t - 2XK)}{(2K(1 - X) + \Delta t)} \quad (4.4)$$

$$c' = \frac{((2K(1 - X) + \Delta t - 2\Delta t))}{(2K(1 - X) + \Delta t)} \quad (4.5)$$

$$c_1 = \frac{(\Delta t - 2XK)}{(2K(1 - X) + \Delta t)} \quad (4.6)$$

$$c_i = c_{i-1} \cdot c' \text{ for } i \geq 2 \quad (4.7)$$

Yukarıdaki denklemlerde ağırlık faktörü olan “X” boyutsuz bir katsayı olmakla birlikte, genel olarak 0 ila 0.5 arasında seçilmektedir. “K” parametresi ise gün birimindedir ve suyun kanal boyunca taşındığı süreyi belirtir. “Δt” ise günlük zaman adımlarıyla çalışılması durumunda “1” alınmaktadır. Modele girilmesi gereken “K” parametresi aşağıdaki sınırlar arasında olması gerekmektedir (Labadie, 2010).

$$\frac{\Delta t}{(2 \cdot (1 - X))} < K \leq \frac{\Delta t}{2X} \quad (4.8)$$

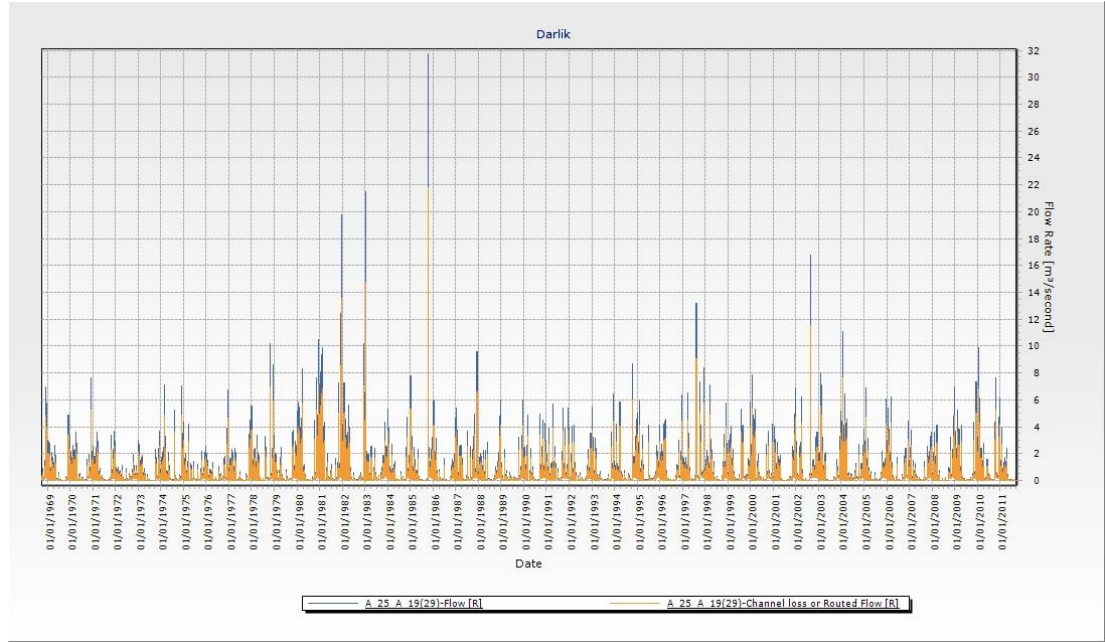
Bu çalışmada Muskingum formülü için gereken veriler hazırlanmış ve gecikme faktörü modele hesaplatılmıştır. Kanal özelliklerinin bulunduğu pencerede öteleme özelliği seçildikten sonra “CHANNEL ROUTING” sekmesi aktif hale gelir ve öteleme için gerekli “K” parametresi yukarıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Hesaplarda arazi çalışmalarında elde edilen hız ölçümlerinden ve WEAP modelinin sonuçlarından yararlanılmıştır. “K” parametresi Şekil 4.17’deki pencereden ilgili kutucuğa yazılmıştır.

The image shows a software interface window titled "Link Properties (31)". It has three tabs: "General", "Channel Routing", and "Advanced". The "Channel Routing" tab is selected. In this tab, there is a dropdown menu for "Return Location Node" set to "A_23". Below this, there is a section titled "Model Generated Lag Factors" with three input fields: "Muskingham X" (0.25), "Muskingham K" (0.2788), and "Muskingham K[day]" (1). There is also a section titled "User Generated Lag Factors" which is currently empty. At the bottom of the window, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Apply".

Şekil 4.17: MODSIM modeline öteleme için gereken parametrelerin girişi ekran görüntüsü.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bölüm 4.5'te verilen model kurulumu aşaması tamamlandıktan sonra, MODSIM modeli günlük zaman adımı ile 1968 – 2011 yılları arasında çalıştırılmıştır. WEAP modelinden farklı olarak hidrolojik öteleme yapabilen MODSIM modelinin sonuçlarının daha iyi analiz edilebilmesi için ötelenmiş ve ötelenmemiş model sonuçları Darlık Havzası'ndaki her bir drenaj alanı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5.1'de örnek bir sonuç grafiği verilmiştir. Diğer tüm drenaj alanlarına ait sonuç grafikleri ise Ek – B'de verilmiştir.

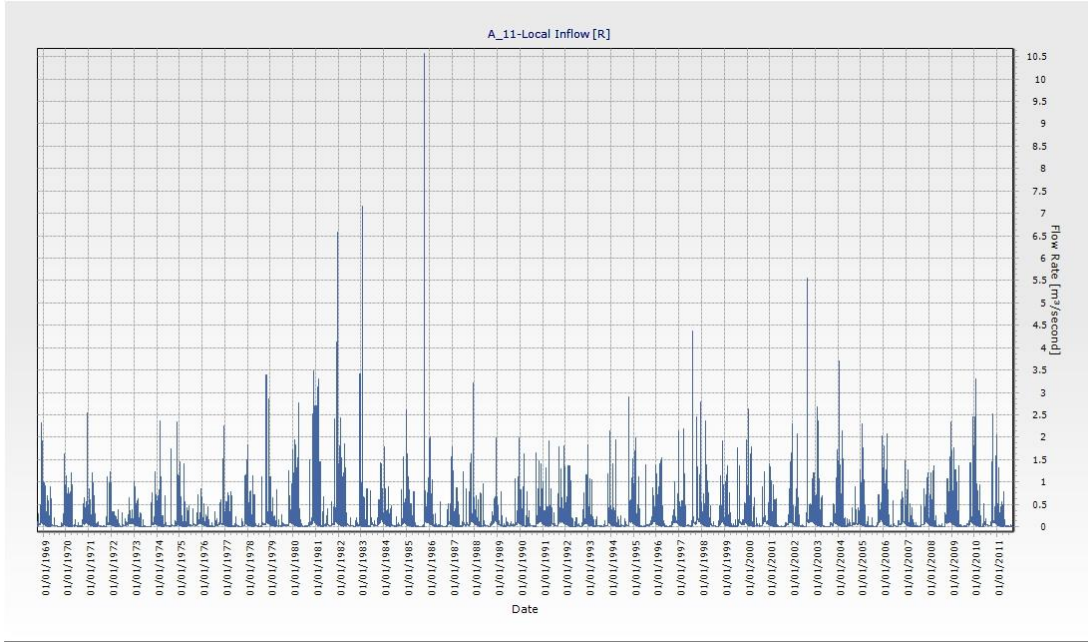


Şekil 5.1: MODSIM modeli örnek sonuç grafiği.

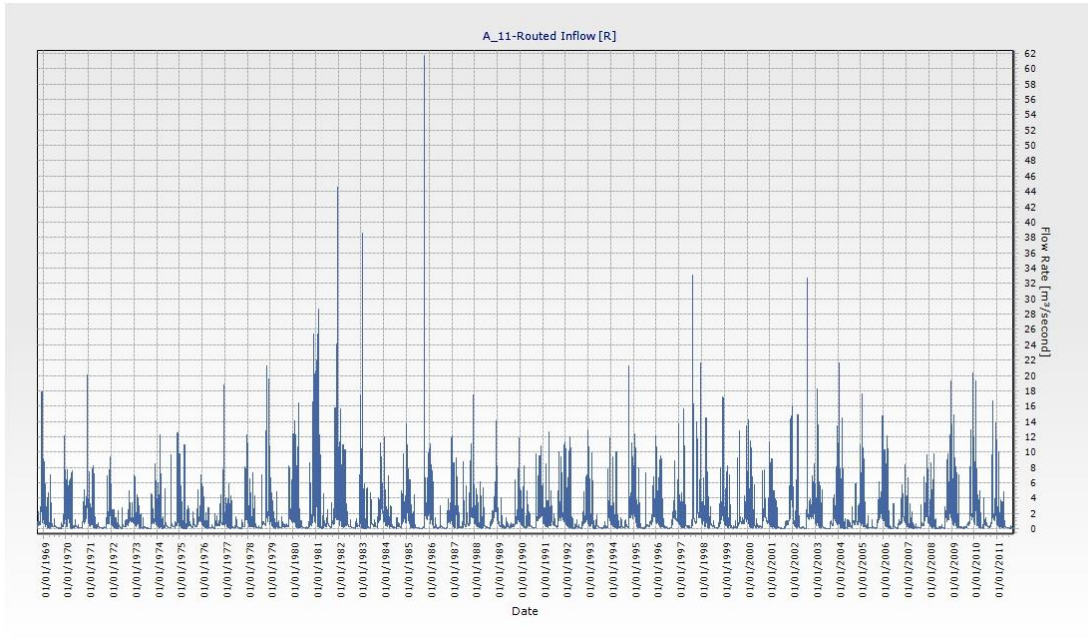
Şekil 5.1'de görülen sonuç grafiğindeki mavi renkli hidrograf ötelenmemiş akımı, turuncu renkli hidrograf ise ötelenmiş akımı göstermektedir.

Model günlük zaman adımı ile çalıştırıldığı ve Muskingum formülünde bulunan seyahat süresi değeri düşük olması sebebiyle, akarsu boyunca ötelenmiş akımdaki debinin azalması açık bir şekilde ayırt edilememektedir. Ancak sonuç grafiklerinde ötelenmiş hidrograf ve giriş hidrograf akımları ayrı ayrı gözlemlenebilmektedir.

Buna örnek olarak 11 numaralı akarsu parçasının hidrografi Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2: Ötelenmemiş hidrograf örnek sonuç grafiği



Şekil 5.3: Ötelenmiş hidrograf örnek sonuç grafiği

Hidrograf öteleme, baraj, rezervuar vb. yapıların işletilmesinde sel kontrolü açısından da önemlidir. Sel esnasında barajdan bırakılacak fazla suyun kontrollü olması gerekmektedir. Barajın güvenli seviyede kalabilmesi için kontrol edilebilecek

tek faktör barajdan bırakılacak su olduğundan, hidrograf öteleme sayesinde bu miktar tahmin edilebilir ve baraj güvenli seviyede tutulmuş olur.

Artan nüfusun ve iklim değişikliğinin, İstanbul'un yüzeysel su kaynakları üzerindeki baskısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle mevcut kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetimi önem arz etmektedir. Bu kapsamda İstanbul'a su temin edilen barajların optimum işletilmesi önemli hale gelmektedir. MODSIM modeli bu amaçla kullanılacak yazılımlardan önemli bir tanesidir. Bu çalışma kapsamında MODSIM modeli, WEAP modeli çıktıları ile başarılı bir şekilde entegre edilerek İstanbul'a içme suyu temin eden önemli bir havzasında uygulanmıştır. Dolayısıyla bu çalışma, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için altlık teşkil etmektedir. Ayrıca, MODSIM modelinin Türkiye içinde başka bir bir havzada uygulanabilmesi için kılavuz niteliği de taşımaktadır.

Bu çalışmanın daha ileri götürülebilmesi için bölge hidrolojisi daha detaylı ortaya konulabilir, baraja ait işletme verileri de modele entegre edilerek modelin daha detaylı sonuçlar vermesi sağlanabilir. Barajdan temin edilen su miktarı da modele girilerek barajdaki su hacminin zamansal değişimi incelenebilir. Model çıktıları karar vericiler için uygun kararın verilmesinde destek olabilir.

KAYNAKLAR

- Ardıçlıoğlu, M.** (2006). *Açık Kanal Akımı Hız-Debi Ölçümleri*, İMO Teknik Dergi, 2006 3805-3808, Yazı 250, Kısa Bildiri.
- Ardıçlıoğlu, M. ve diğ.** (2011). *Doğal Akarsularda Debinin Belirlenmesi*, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 4 (2): 73-77, 2011.
- Atay, D.** (1986). *Balık Üretim Tesisleri ve Planlaması*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 959, 277s.
- Bayazıt, M.** (1998). *Hidrolojik Modeller*. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W.** (1988). *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill Education (reprint edition). 572 pages.
- Congress of the United States, Office of Technology Assessment.** (1984) Use of Models for Water Resources Management, Planning and Policy, 4s.
- Cüceloğlu, G.** (2013). *Darlık Havzasının Model Destekli Hidrolojik Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Darlık Barajı Su Kalitesi İzlemesi Çalışması.** (2006). Sonuç Raporu , TUBİTAK-MAM / Kimya ve Çevre Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N. Guzel, C., Gönenç, E.** (2014). *Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed*, Science of the Total Environment 499 (2014) 437 – 447.
- Gaygusuz, Ö.** (2012). *Darlık Barajına Akan Derelerde Cyprinidae Familyasına Ait Baskın İki Türün Biyoekolojik Özellikleri*, (Doktora Tezi), İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- GoldSim Technology Group.** (2014). GoldSim User's Guide Volume 1 of 2 Version 11.1, Washington, ABD.
- Gönenç, E. İ. ve diğ.** (1995). 1. Cilt , Darlık Havzası Sonuç Raporu İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi-Marmara Havzası.** (2010). Nihai rapor-Cilt 1, TÜBİTAK-MAM / Çevre Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
- Halwatura, D., Najim, M. M. M.** (2013). *Application of the HEC – HMS model for runoff simulation in a tropical catchment*, Environmental Modelling & Software 46 (2013) 155 – 162.
- Labadie, J.W.** (2010). *MODSIM 8.1: River Basin Management Decision Support System User Manual and Documentation*, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University.

- Loucks, D.P.** (2005). *Water Resource Systems Modeling: Its Role in Planning*, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, USA. s
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J.R. ve Williams, J.R.** (2011). Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation, *Texas Water Resources Institute* Teknik Rapor sayı 406, Texas, ABD.
- Oleyiblo, J., Li, Z.** (2010), *Application of HEC – HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China*, Water Science and Engineering, 2010, 3(1). 14 – 22.
- Ouyang, Y.** (2008). *Modeling the mechanisms for uptake and translocation of dioxane in a soil-plant ecosystem with STELLA*, Journal of Contaminant Hydrology 95 (2008) 17–29.
- Safavi, H.R., Golmohammadi, H., Sandoval-Solis, S.** (2015). *Expert Knowledge Based Modeling For Integrated Water Resources planning and management in the Zayandehrud River Basin*, Journal of Hydrology 528 (2015) 773 – 789.
- SEI.** (2011). WEAP User Manual, Stockholm Environment Institute, USA.
- Şensoy, D., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ.** (2008). Türkiye İklimi , Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Thompson, J.R., Sørensen, R. H., Gavin, H., Refsgaard, A.** (2004). *Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to a lowland wet grassland in southeast England*, Journal of Hydrology 93 (2004) 151–179.
- U.S. Army Corps of Engineers,** (2013). *Hydrologic Modeling System (HEC – HMS) User's Manual Version 4.0*, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Vaghefi, A.S., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., Arnold, J.R.,** (2015). *Integration of Hydrologic and Water Allocation Models in Basin-scale Water Resources Management Considering Crop Pattern and Climate Change: Karkheh River Basin an Iran*, Reg. Environ. Change (2015) 15:475 – 484.
- Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, J. ve Arnold, J.** (2010). ArcSWAT Interface for SWAT2009 User's Guide, Texas, ABD.
- Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D., Anderson, W.P.** (1989). *AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds*, Journal of Soil and Water Conservation Society. 44 (2), 168–173.
- URL-1** <<http://www.weap21.org/index.asp?action=217>> , Erişim tarihi: 10.07.2015
- URL-2** <<https://www.deltares.nl/en/software/ribasim/>>, Erişim tarihi: 19.08.2015
- URL-3** <<http://www.iseesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx>>, Erişim tarihi: 20.08.2015

- URL-4** <http://water.usgs.gov/cgi-bin/man_wrdapp?hspf>, Erişim tarihi: 22.08.2015
- URL-5** <<http://go.usa.gov/KFO>>, Erişim tarihi: 24.08.2015
- URL-6** <<http://www.cwrw.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikeshe/Mshemain.htm>>, Erişim tarihi: 26.08.2015
- URL-7** <<http://esinternational.com/mike-she/>> , Erişim tarihi: 26.08.2015

EKLER

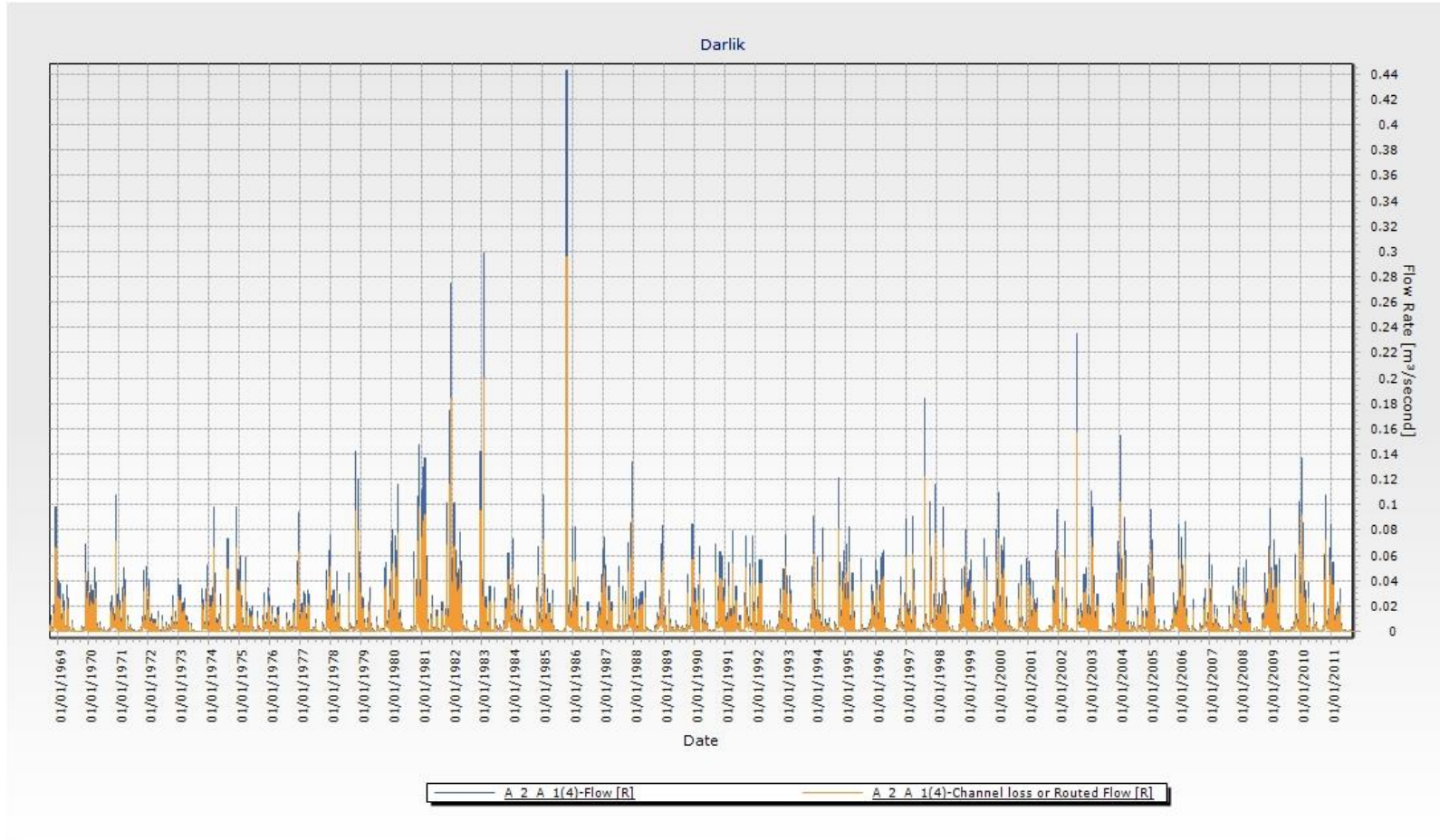
EK A: WEAP modeli ile MODSIM modeli althavzalarının ilişkilendirilmesi.

EK B: MODSIM modeli sonuç grafikleri.

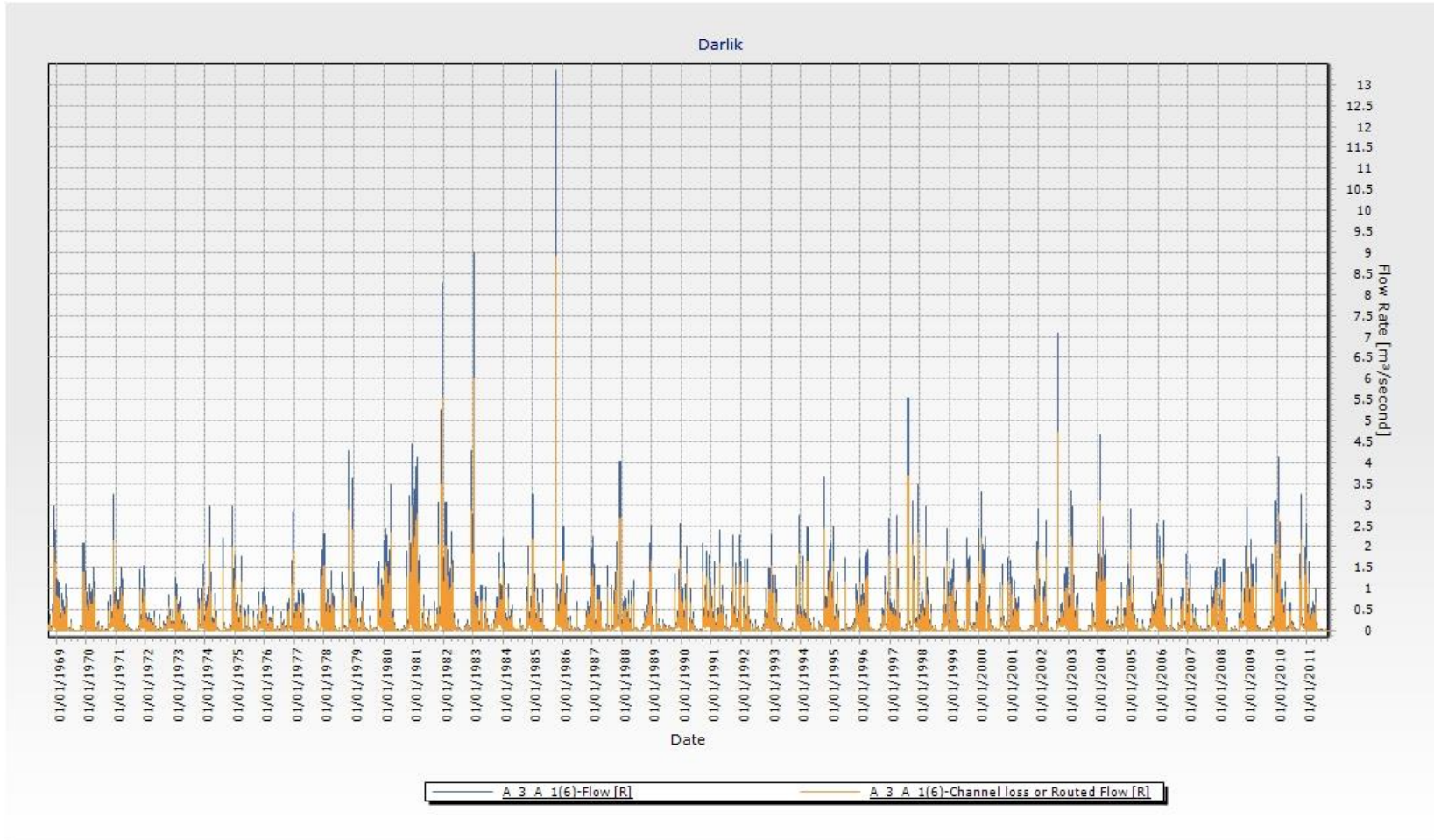
EKA

	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	G 8	G 9	G 10	G 11	G 12	G 13	G 14	G 15	G 16	G 17	G 18
A 1	1.000	0.590	0.244	0.730	0.135	0.517	0.032											
A 2			0.024															
A 3			0.720															
A 4		0.026																
A 5		0.033																
A 6		0.031																
A 7		0.125																
A 8		0.134																
A 9		0.063																
A 10				0.223														
A 11					0.870													
A 12				0.044														
A 13						0.029												
A 14						0.127												
A 15						0.155												
A 16						0.061												
A 17						0.097												
A 18								0.704	0.020	0.114								
A 19							0.955											
A 20								0.272										
A 21										0.712								
A 22									0.070									
A 23									0.733									
A 24									0.177		0.027	0.029						
A 25										0.171			0.059					
A 26												0.442						
A 27											0.469							
A 28													0.273					
A 29														0.993				
A 30														0.149				
A 31										0.499								
A 32												0.503						
A 33													0.152					
A 34													0.361					
A 35														0.428	0.812	0.035	0.010	
A 36															0.968			
A 37																	0.865	
A 38																	0.144	0.906

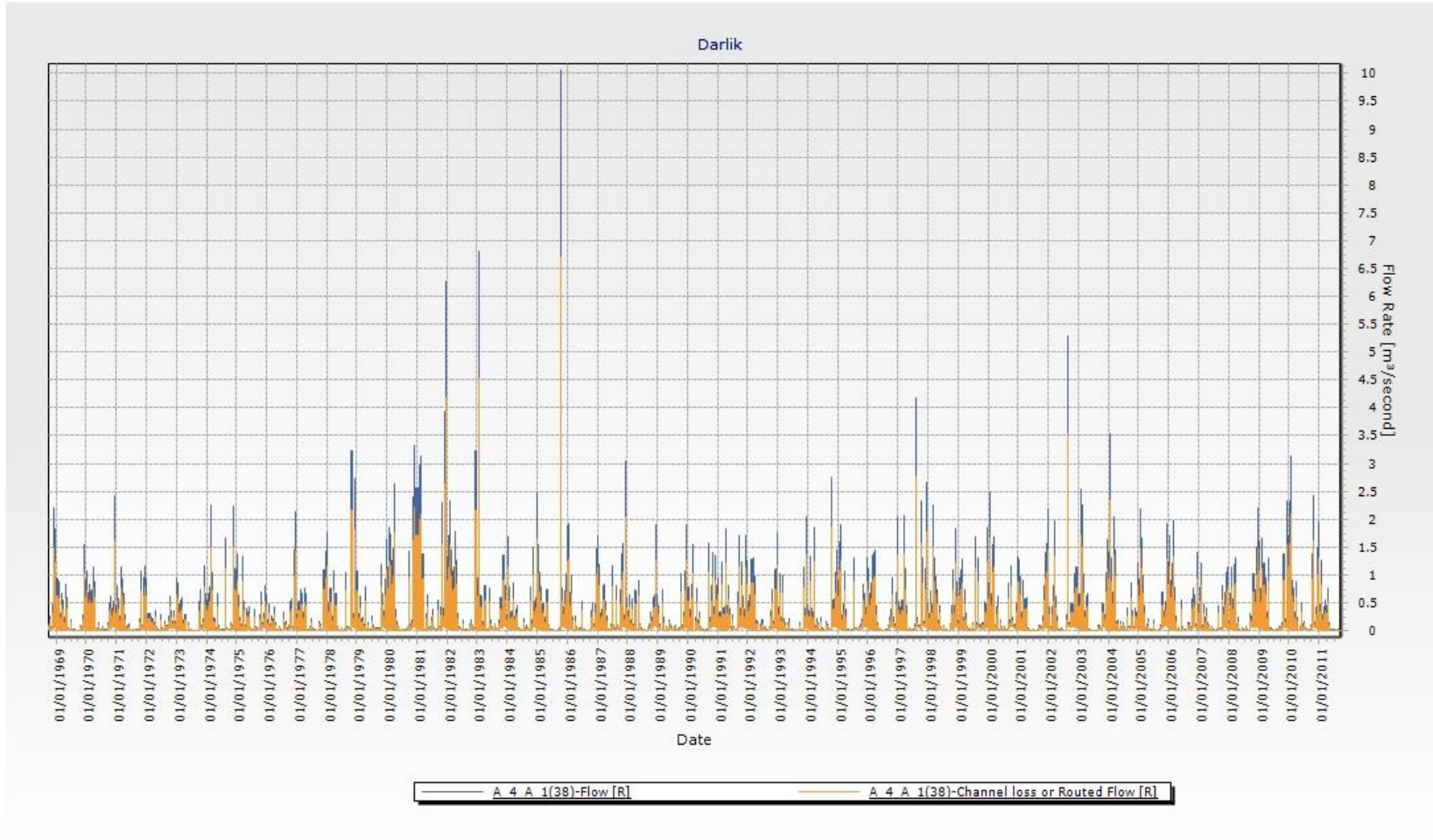
EK B



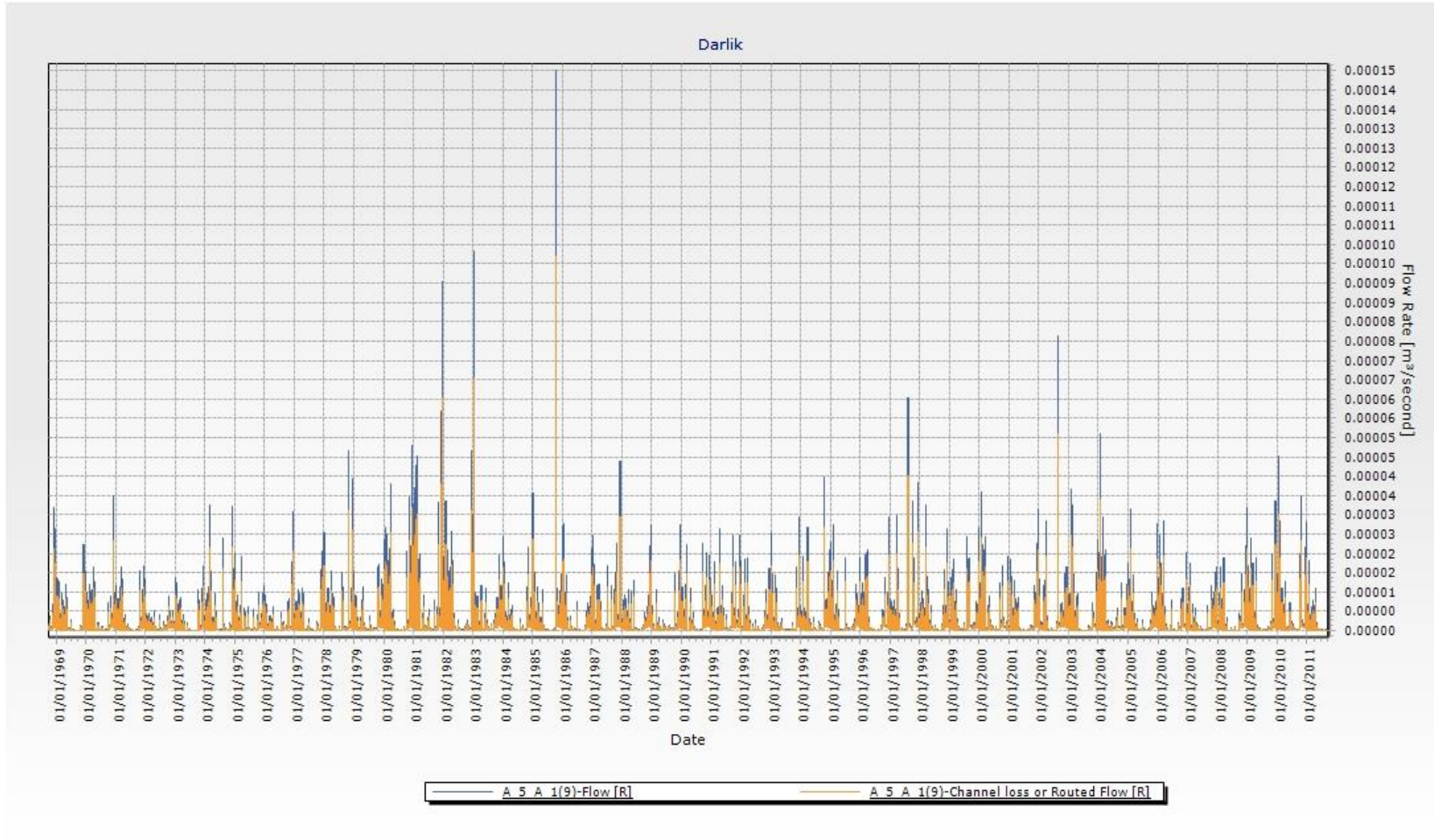
Şekil B.1: 2 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



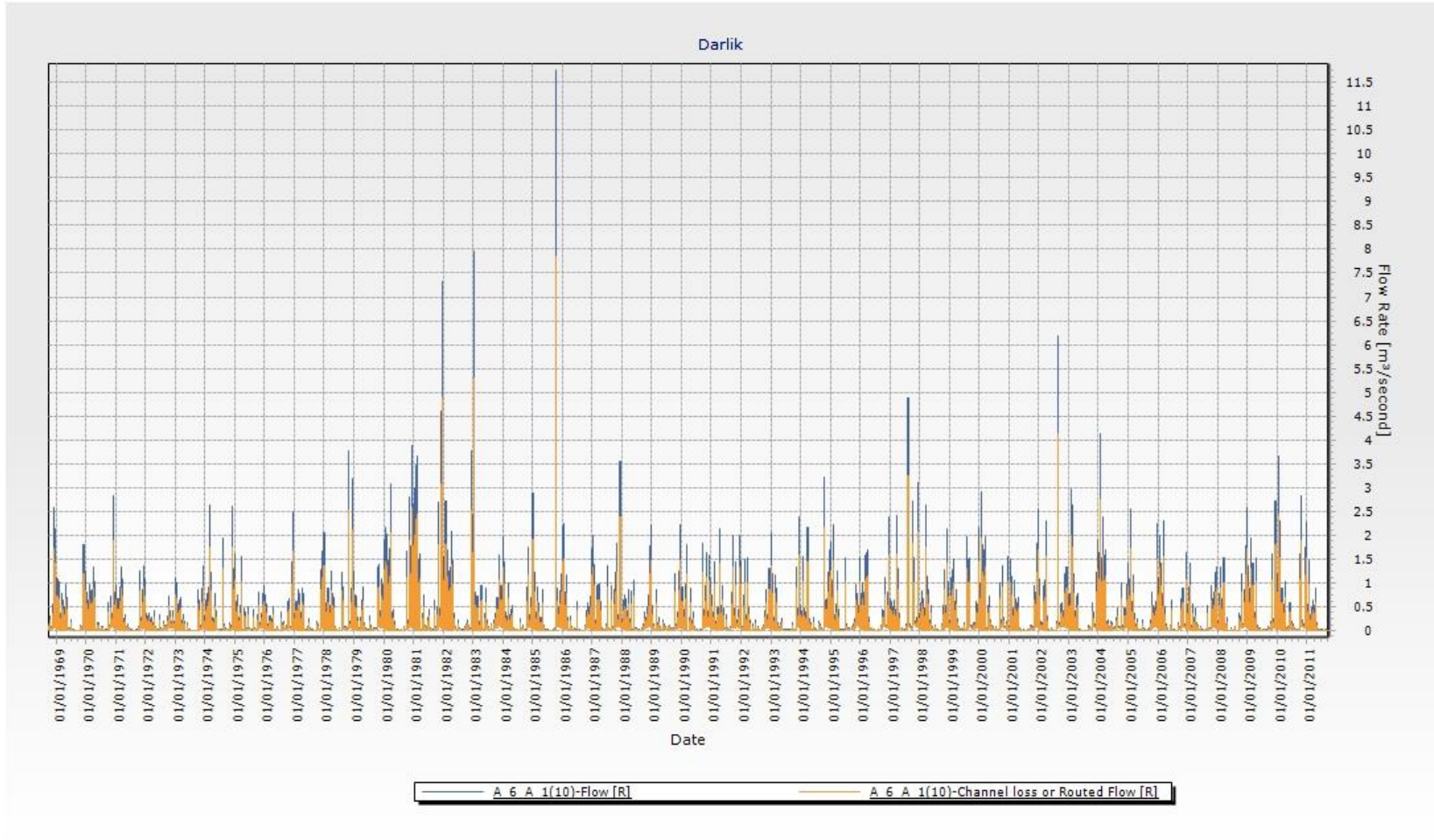
Şekil B.2: 3 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği



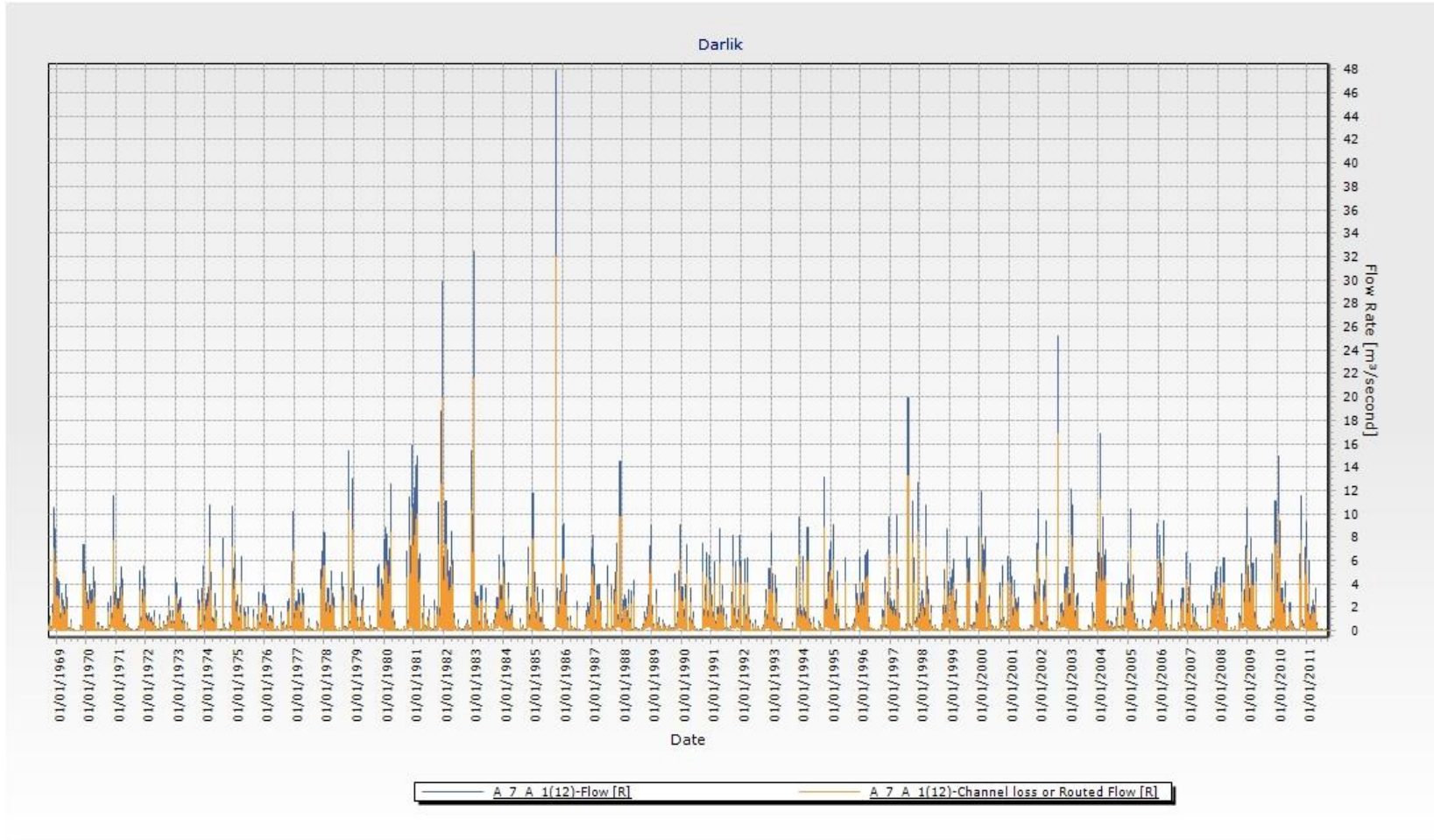
Şekil B.3: 4 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



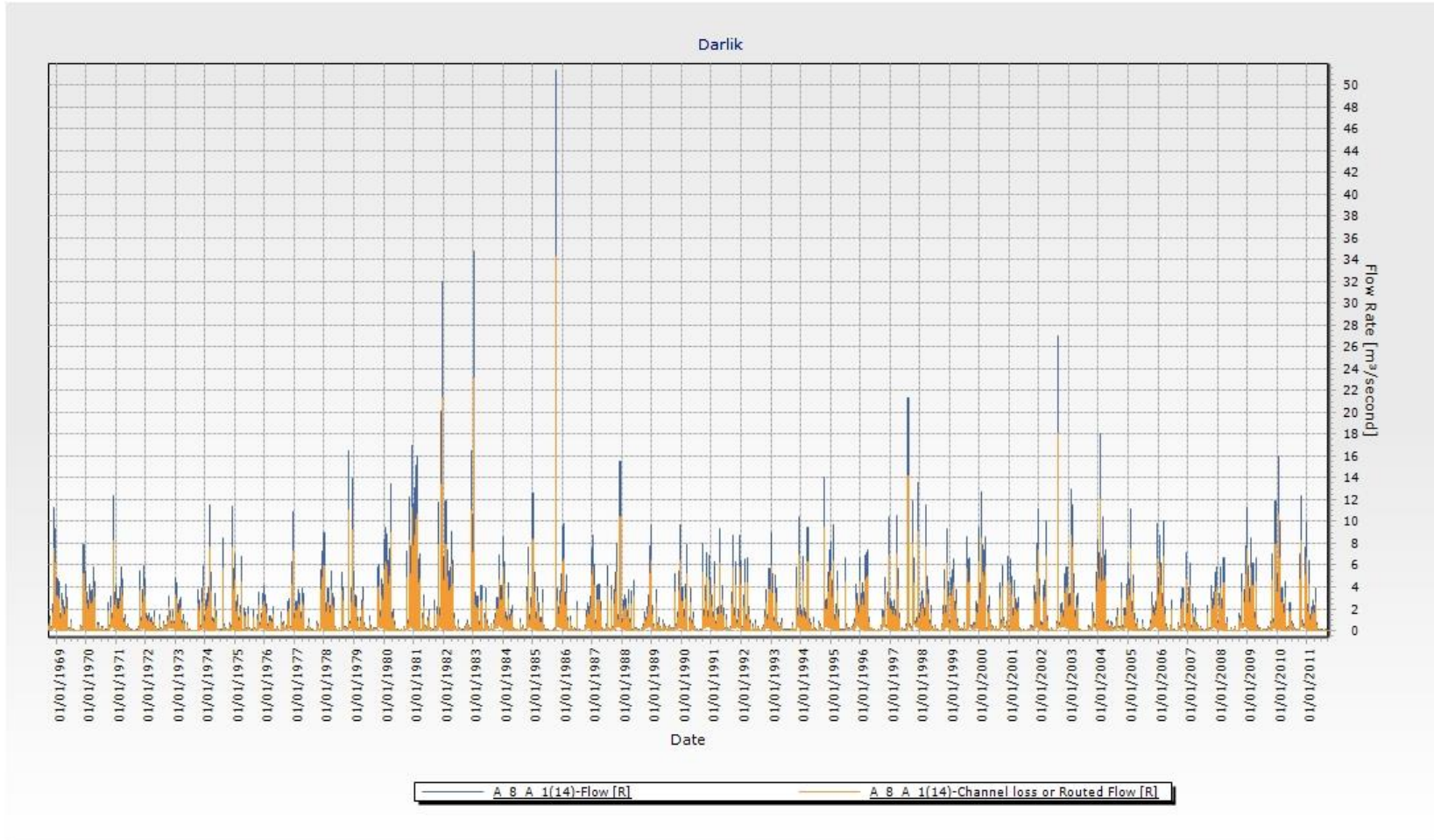
Şekil B.4: 5 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



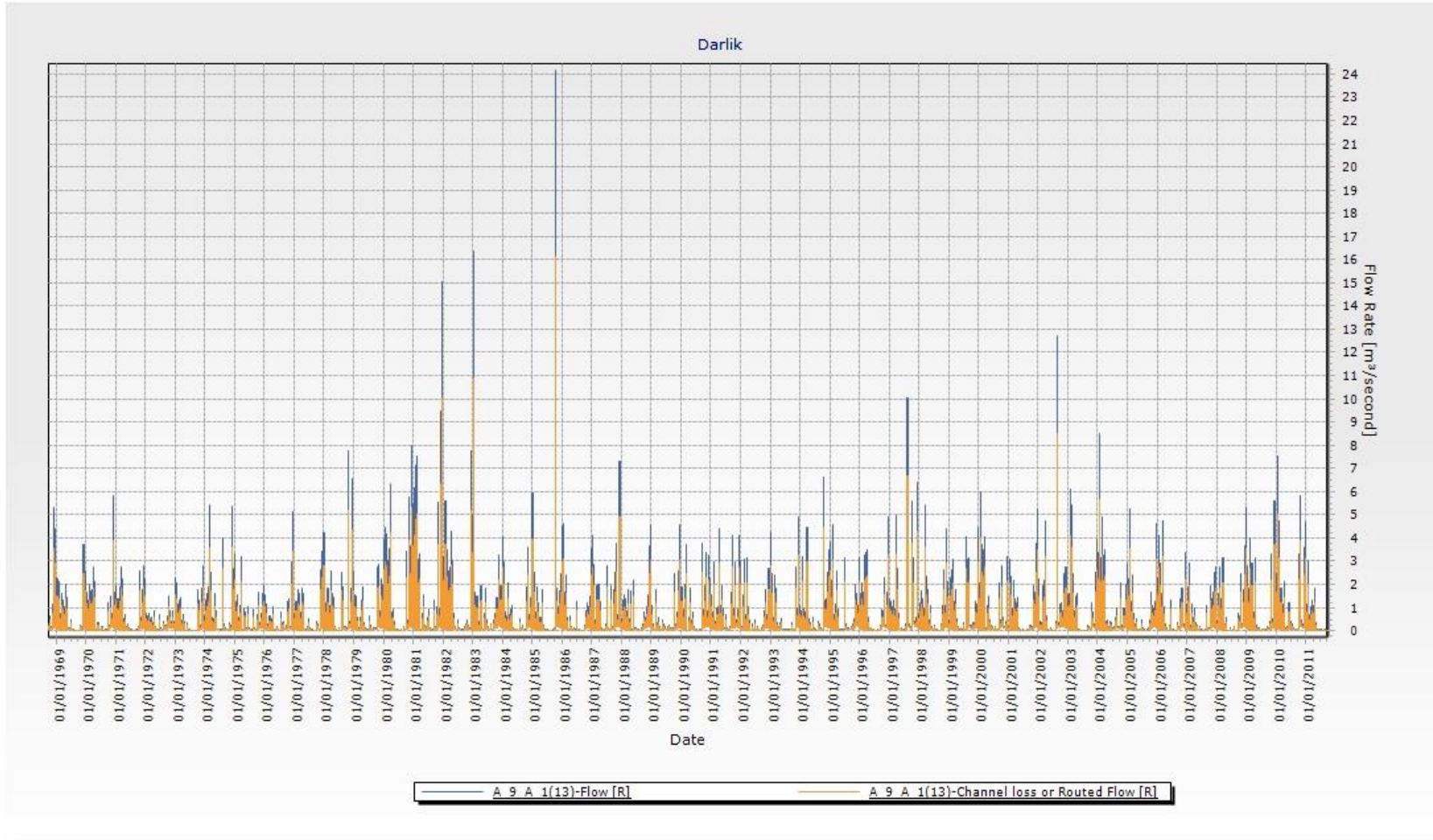
Şekil B.5: 6 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



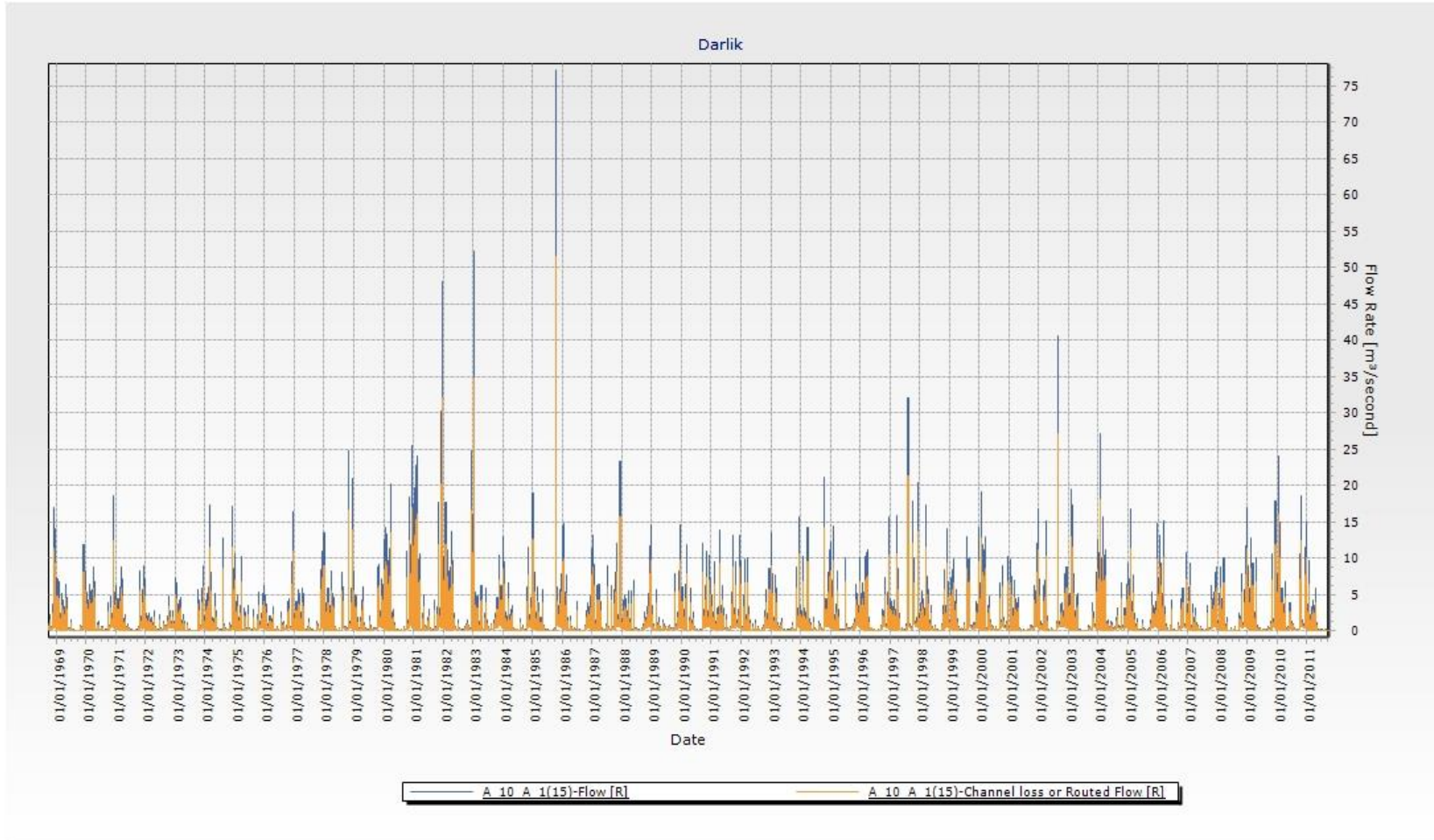
Şekil B.6: 7 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



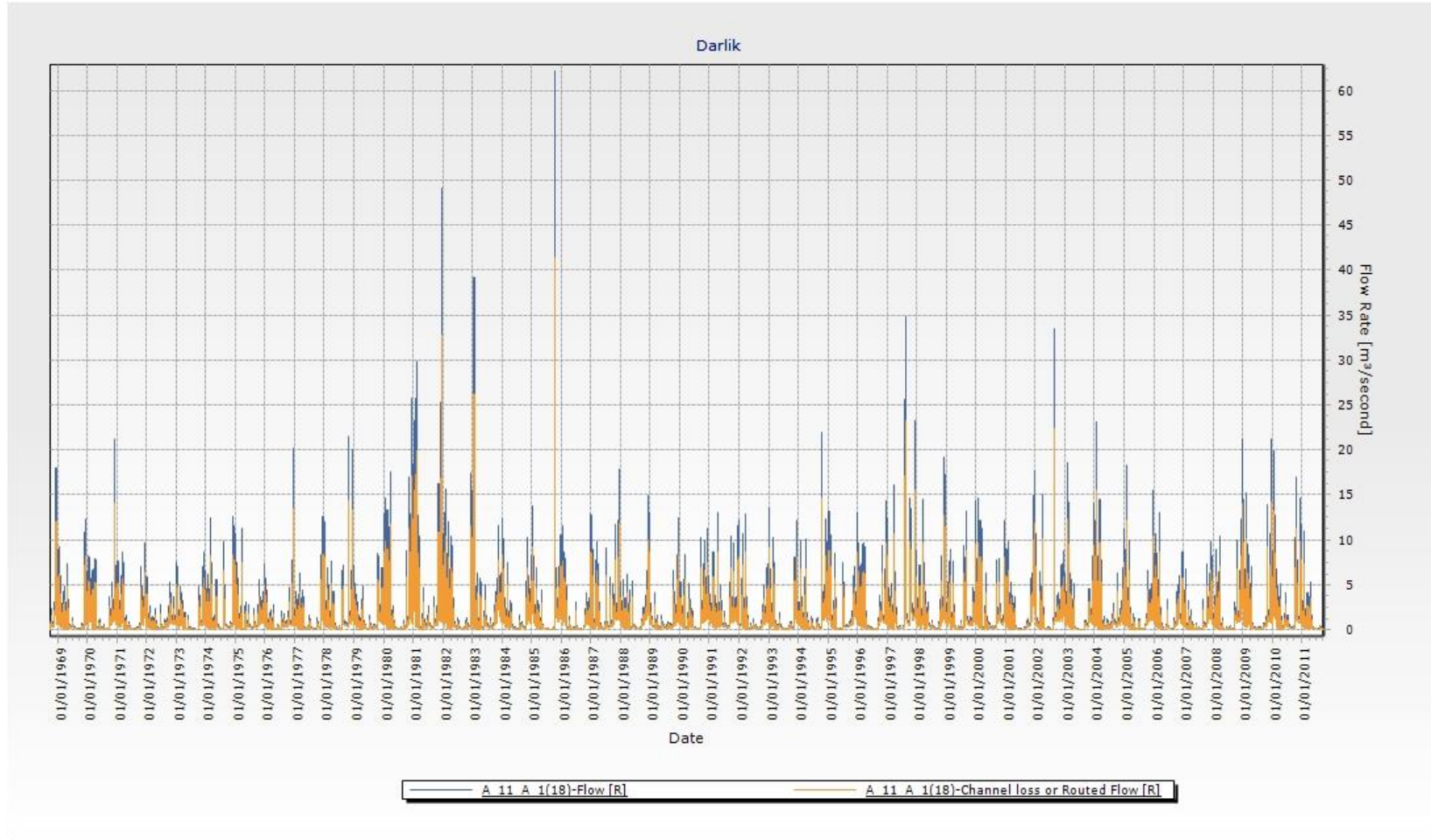
Şekil B.7: 8 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



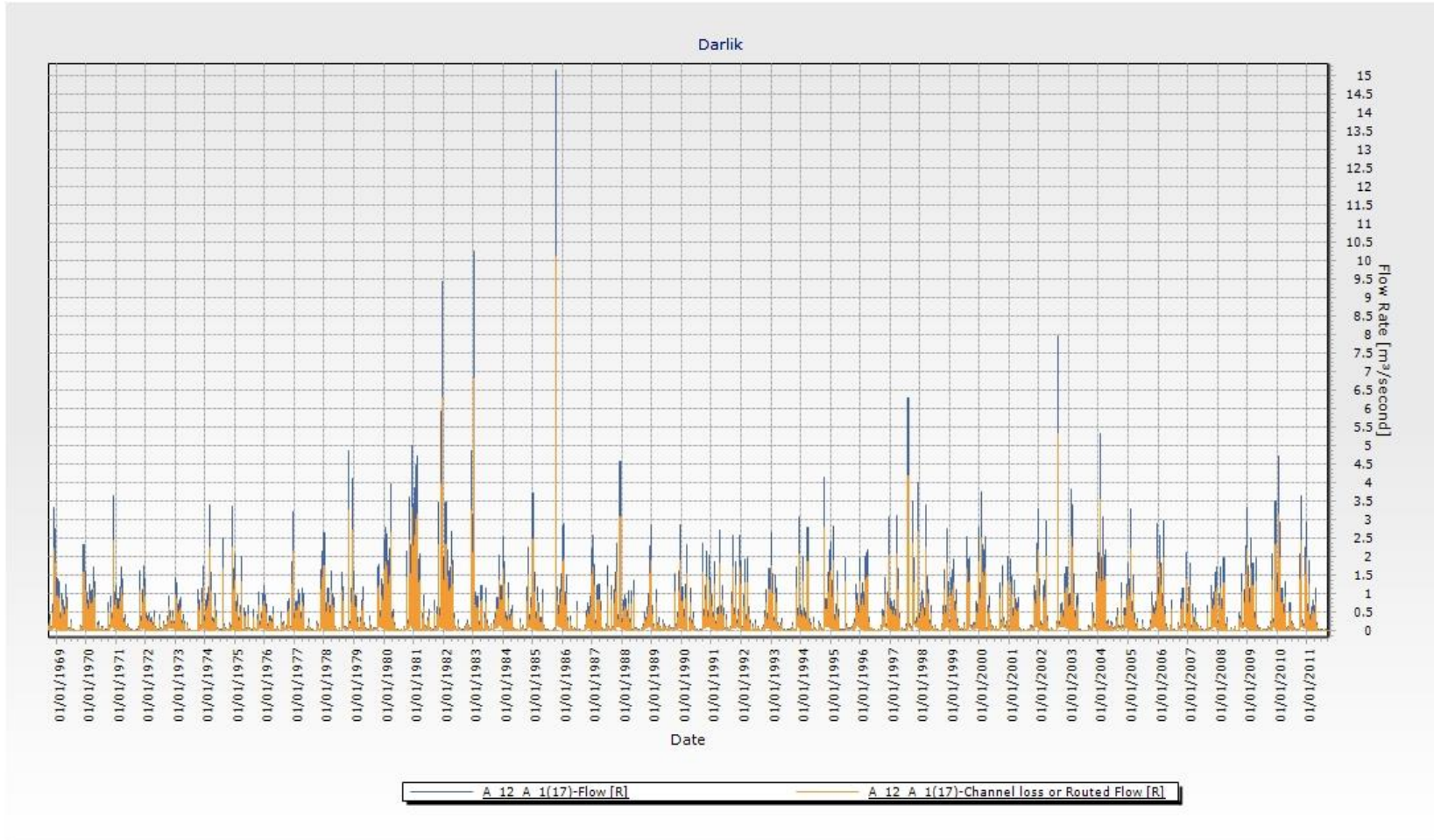
Şekil B.8: 9 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



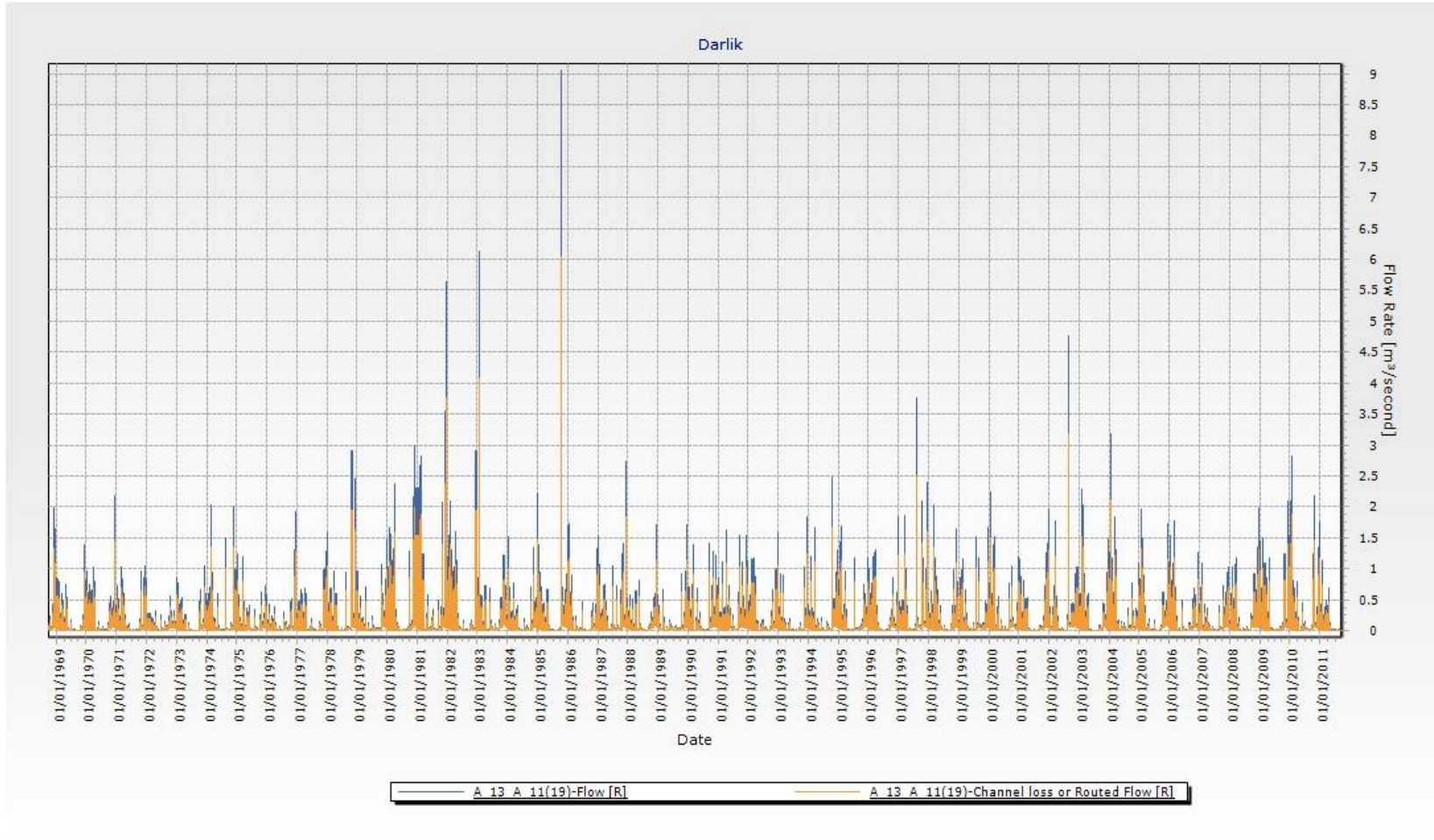
Şekil B.9: 10 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



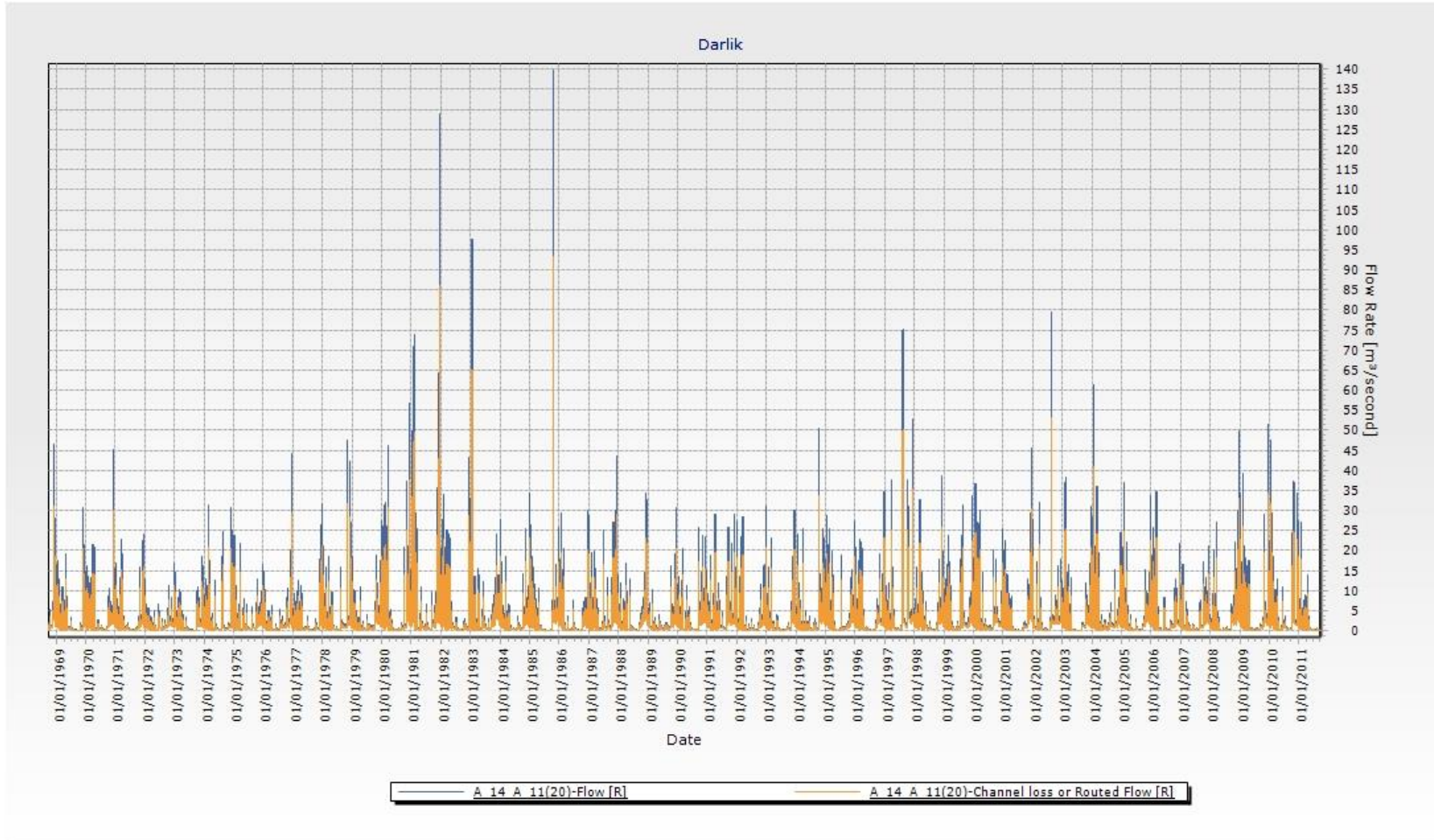
Şekil B.10: 11 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



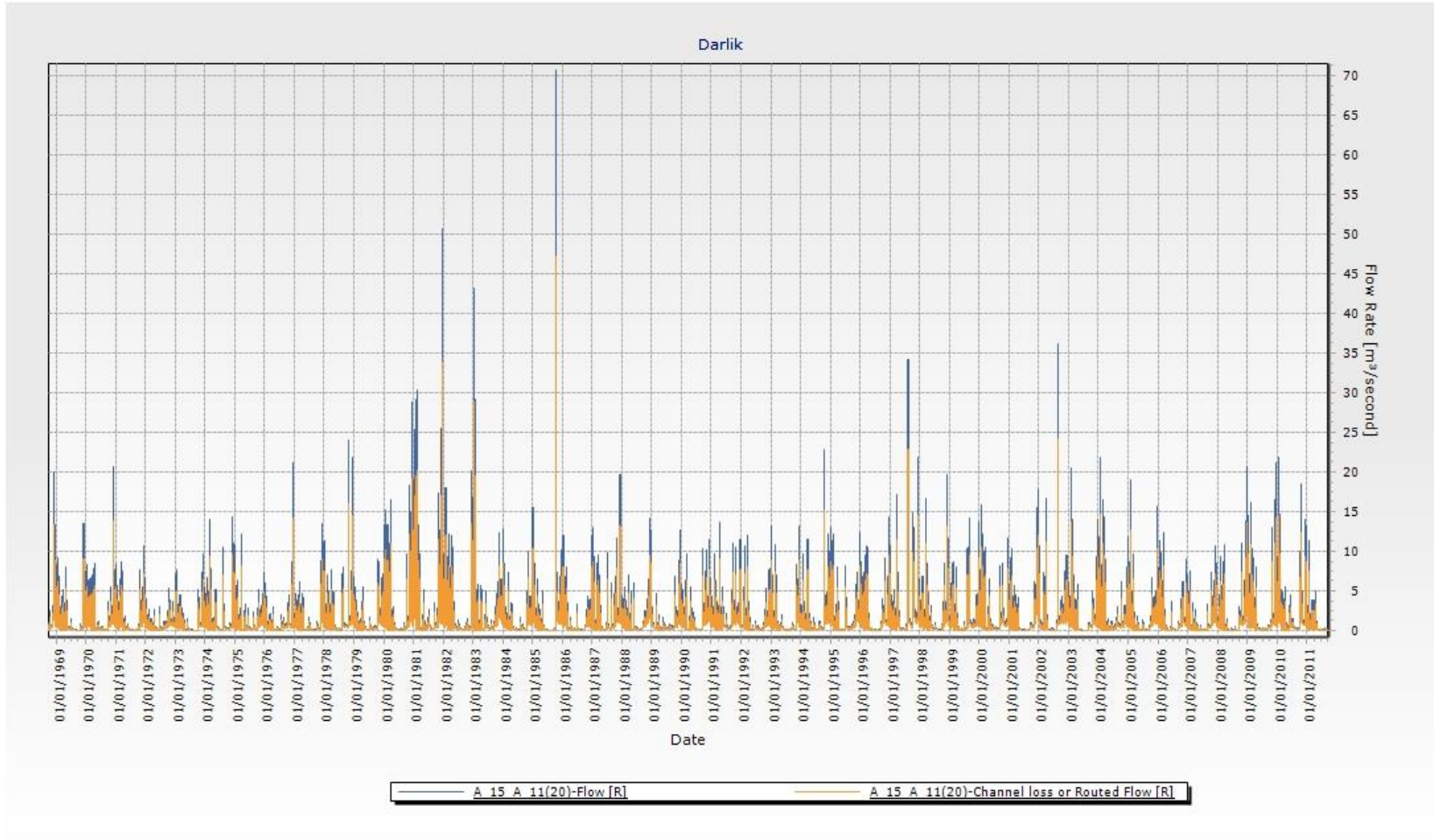
Şekil B.11: 12 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



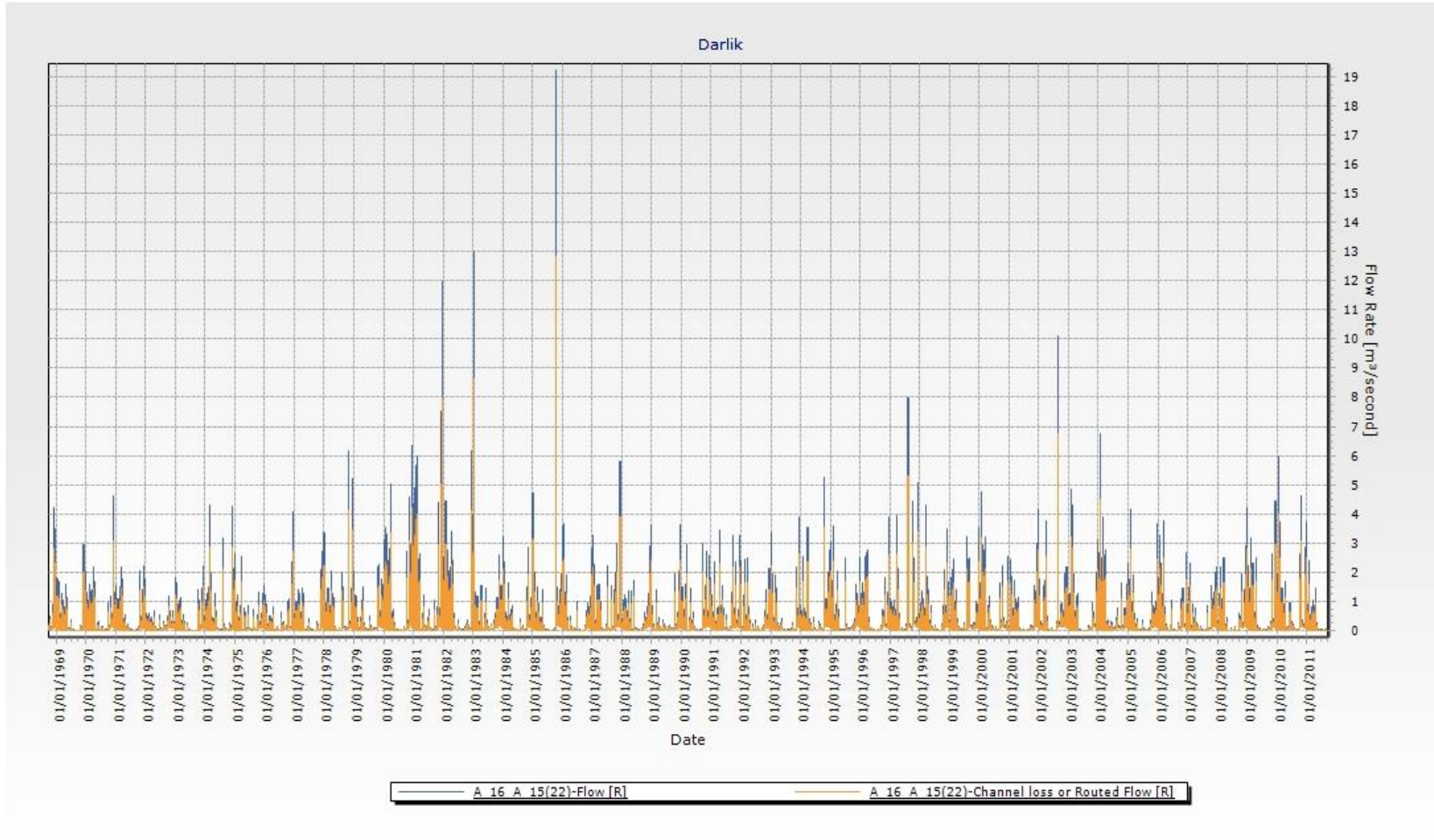
Şekil B.12: 13 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



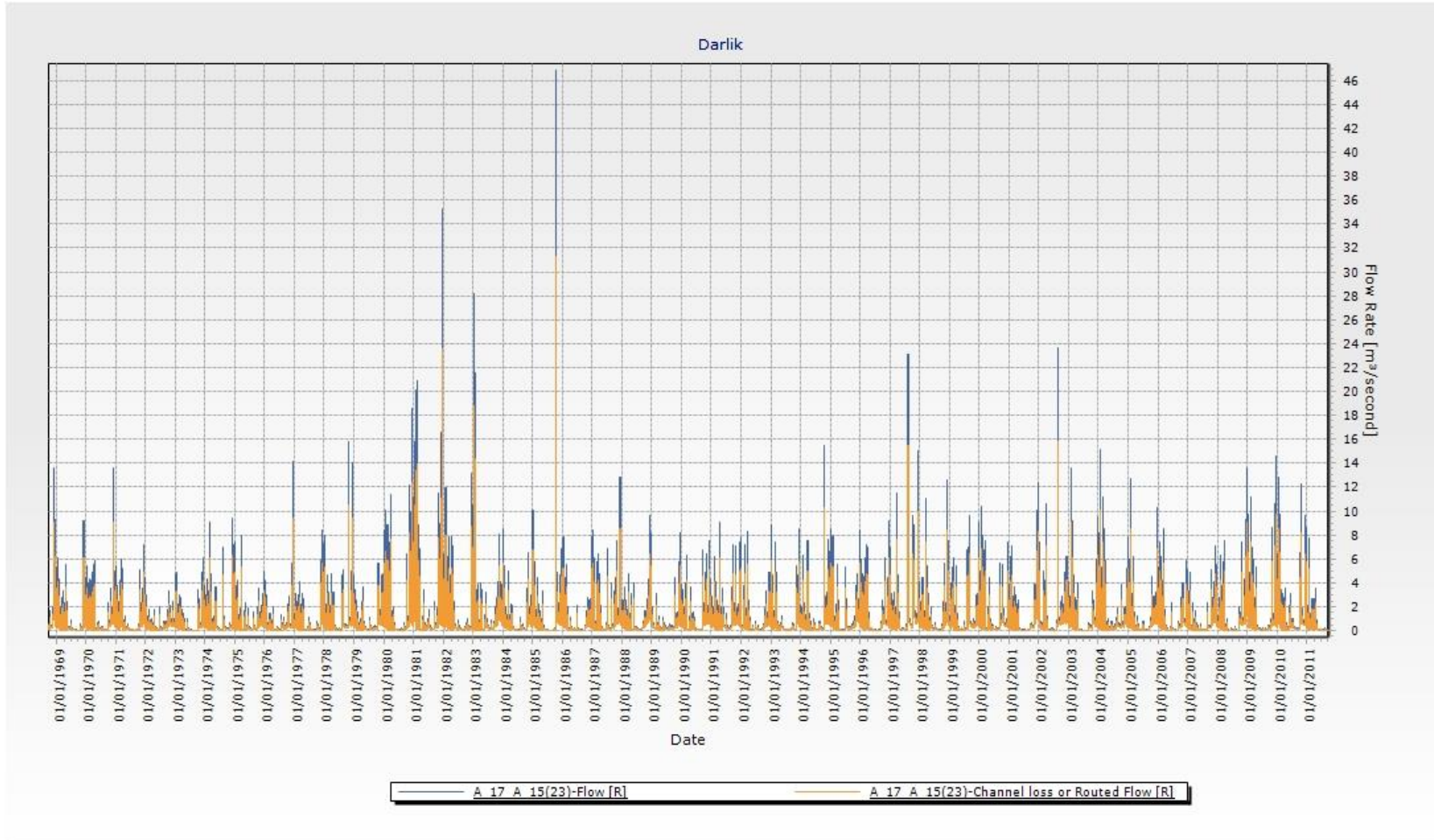
Şekil B.13: 14 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



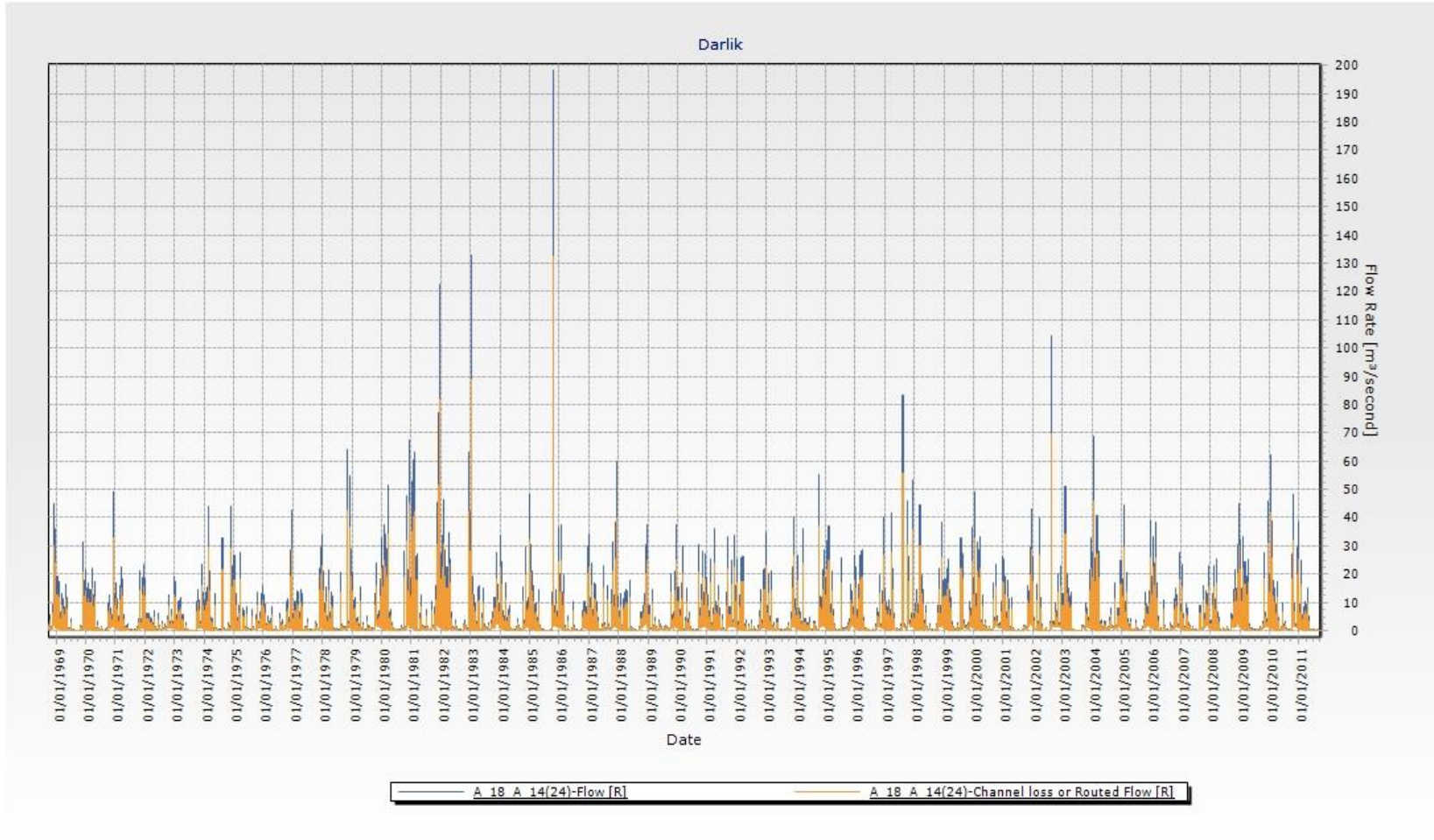
Şekil B.14: 15 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



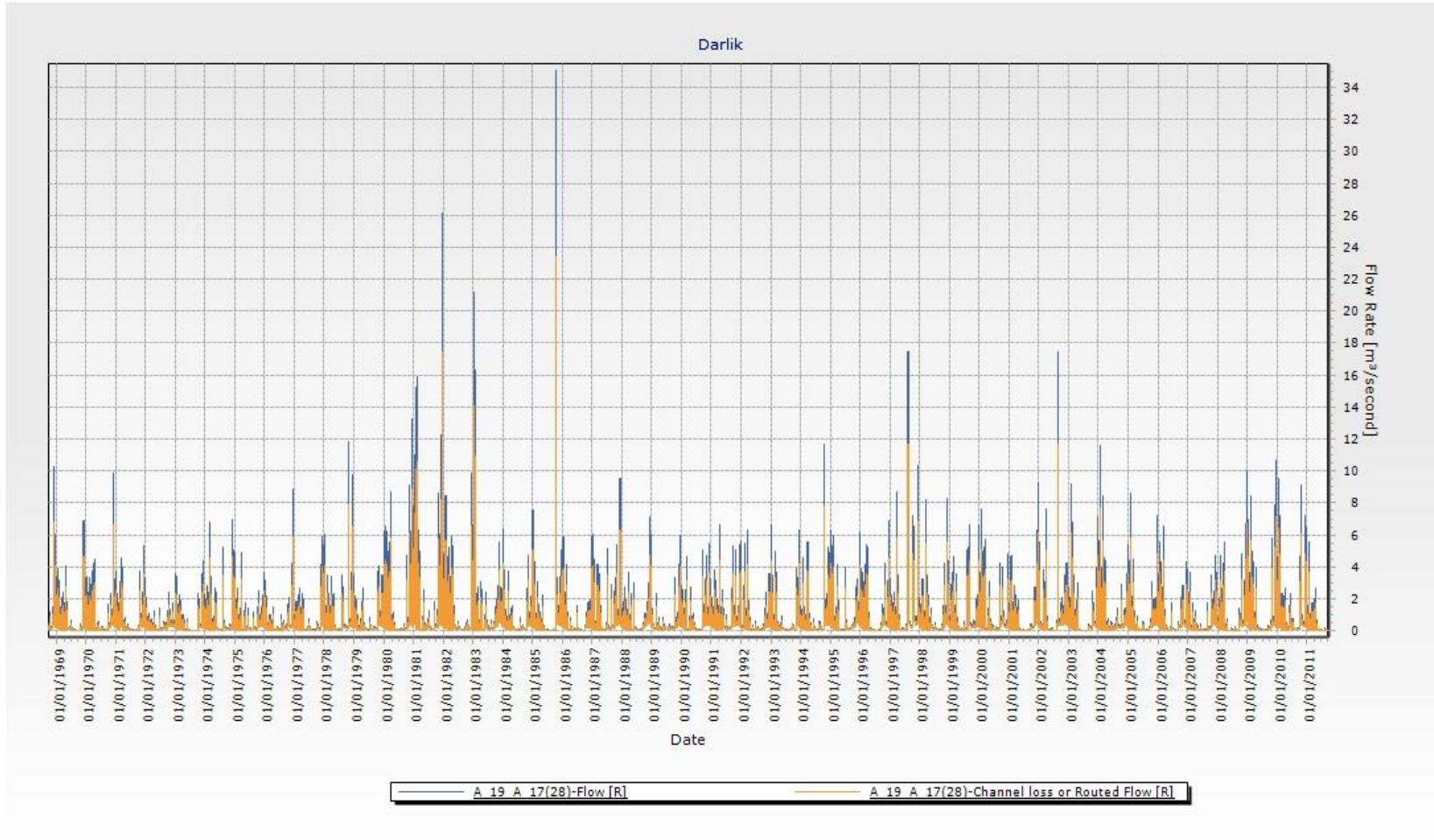
Şekil B.15: 16 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



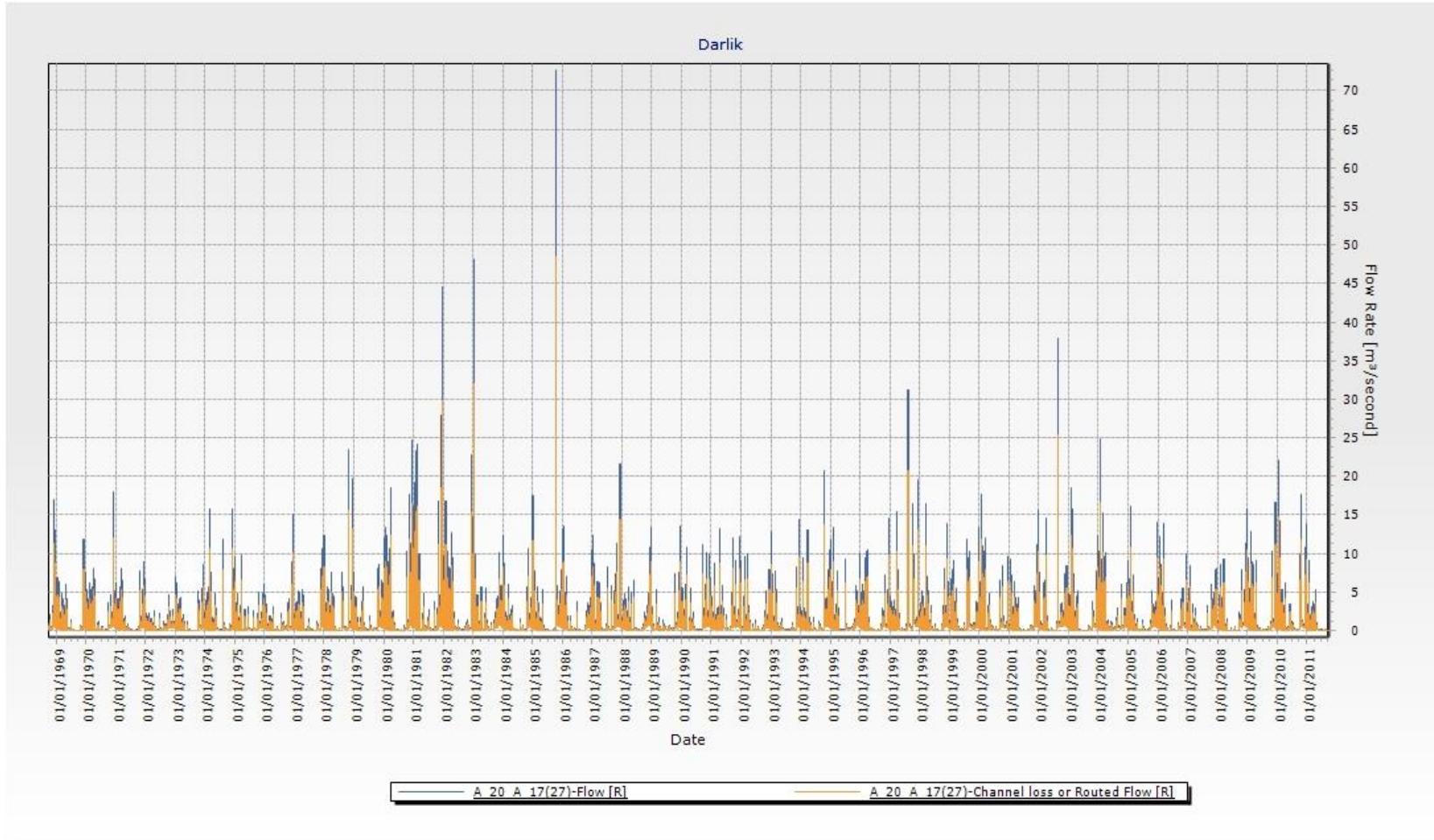
Şekil B.16: 17 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



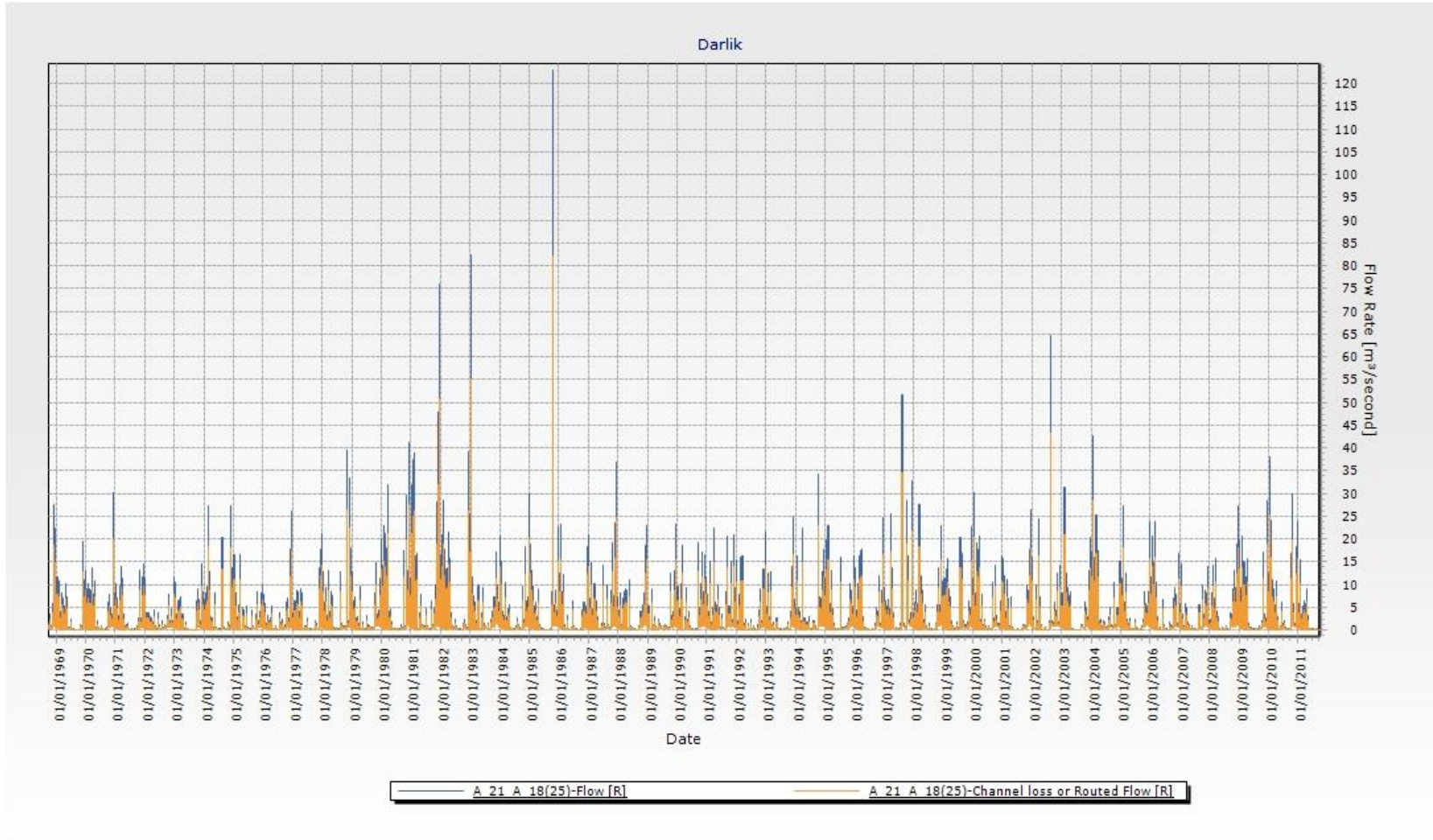
Şekil B.17: 18 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



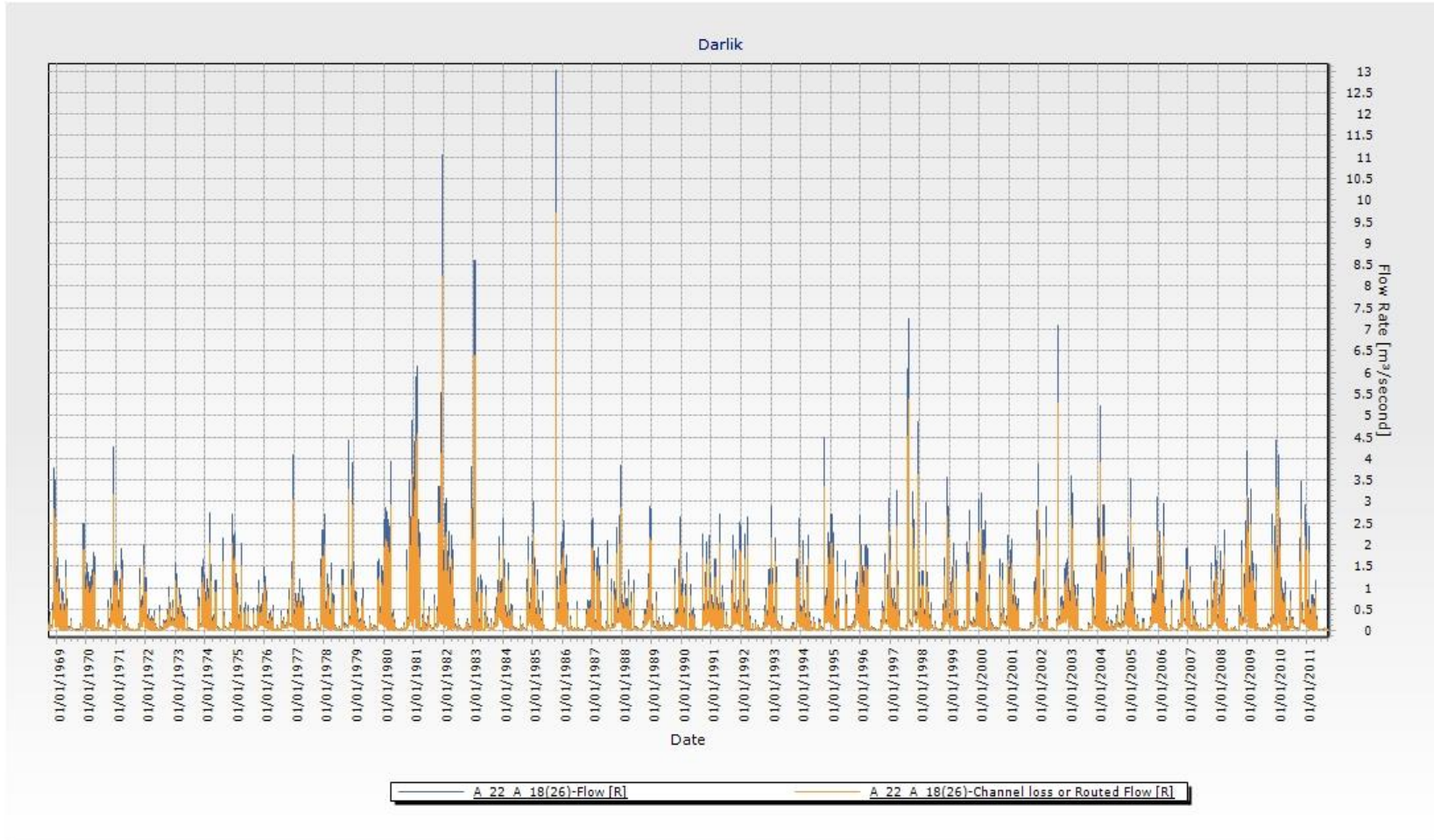
Şekil B.18: 19 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



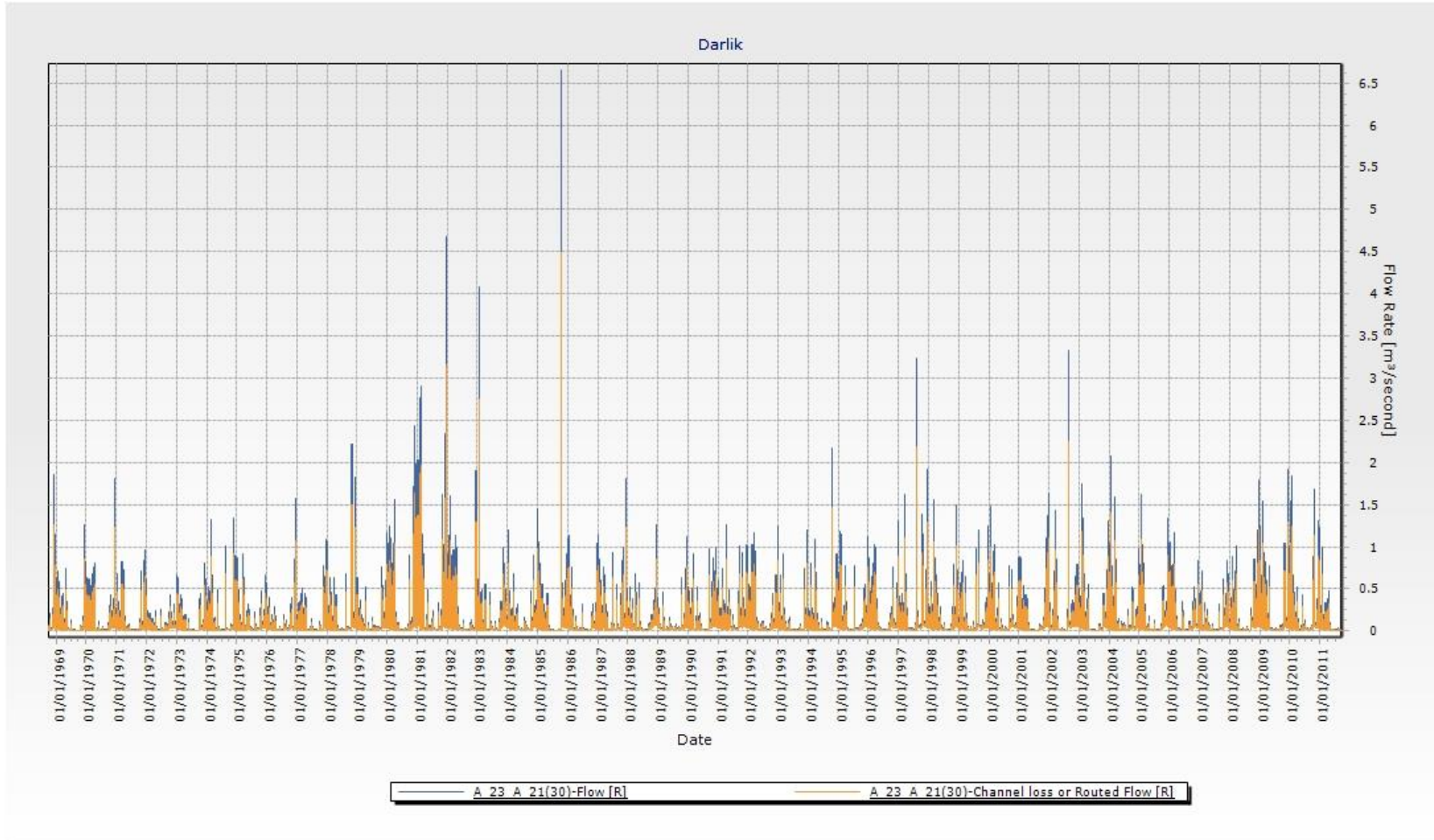
Şekil B.19: 20 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



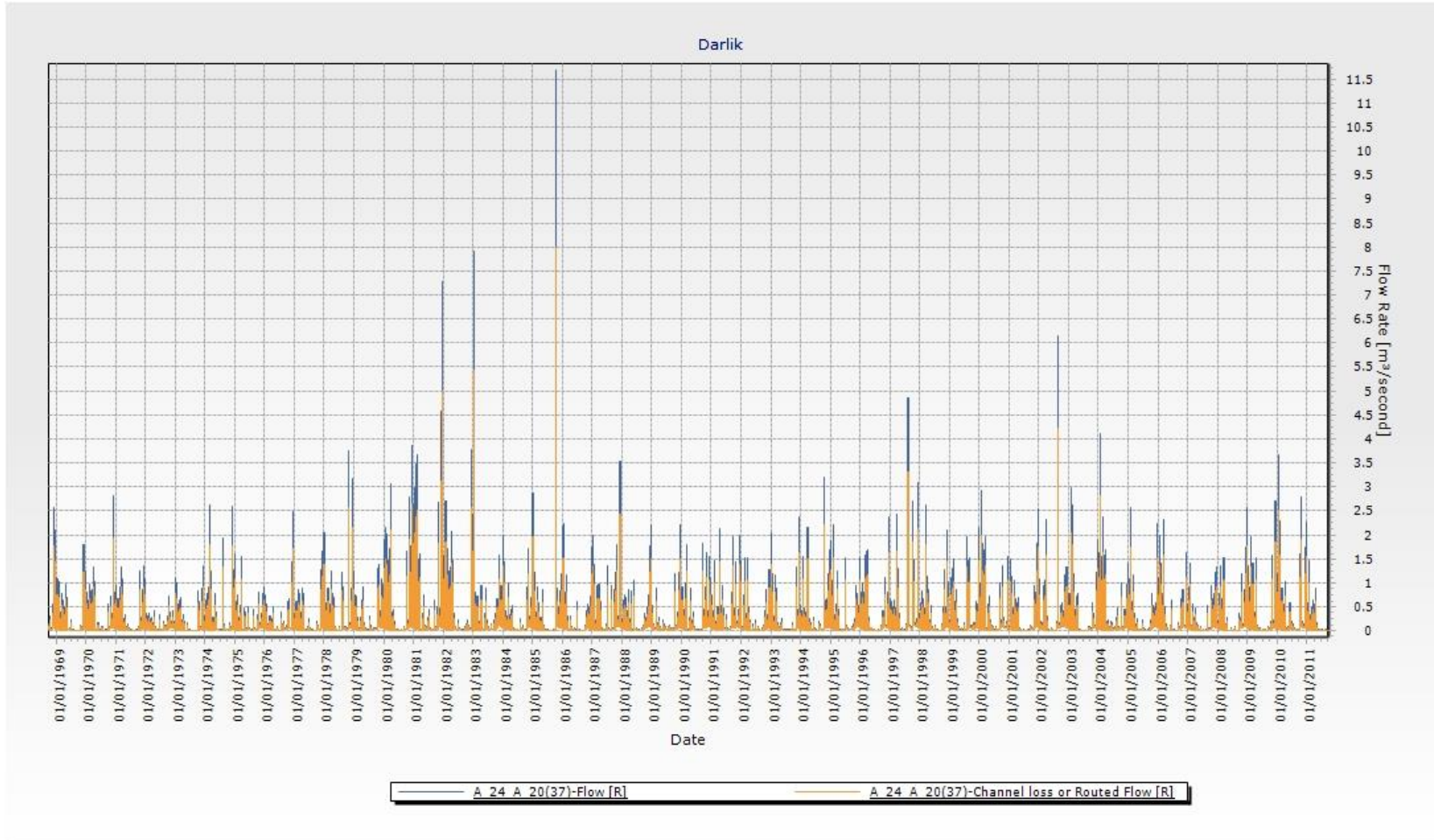
Şekil B.20: 21 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



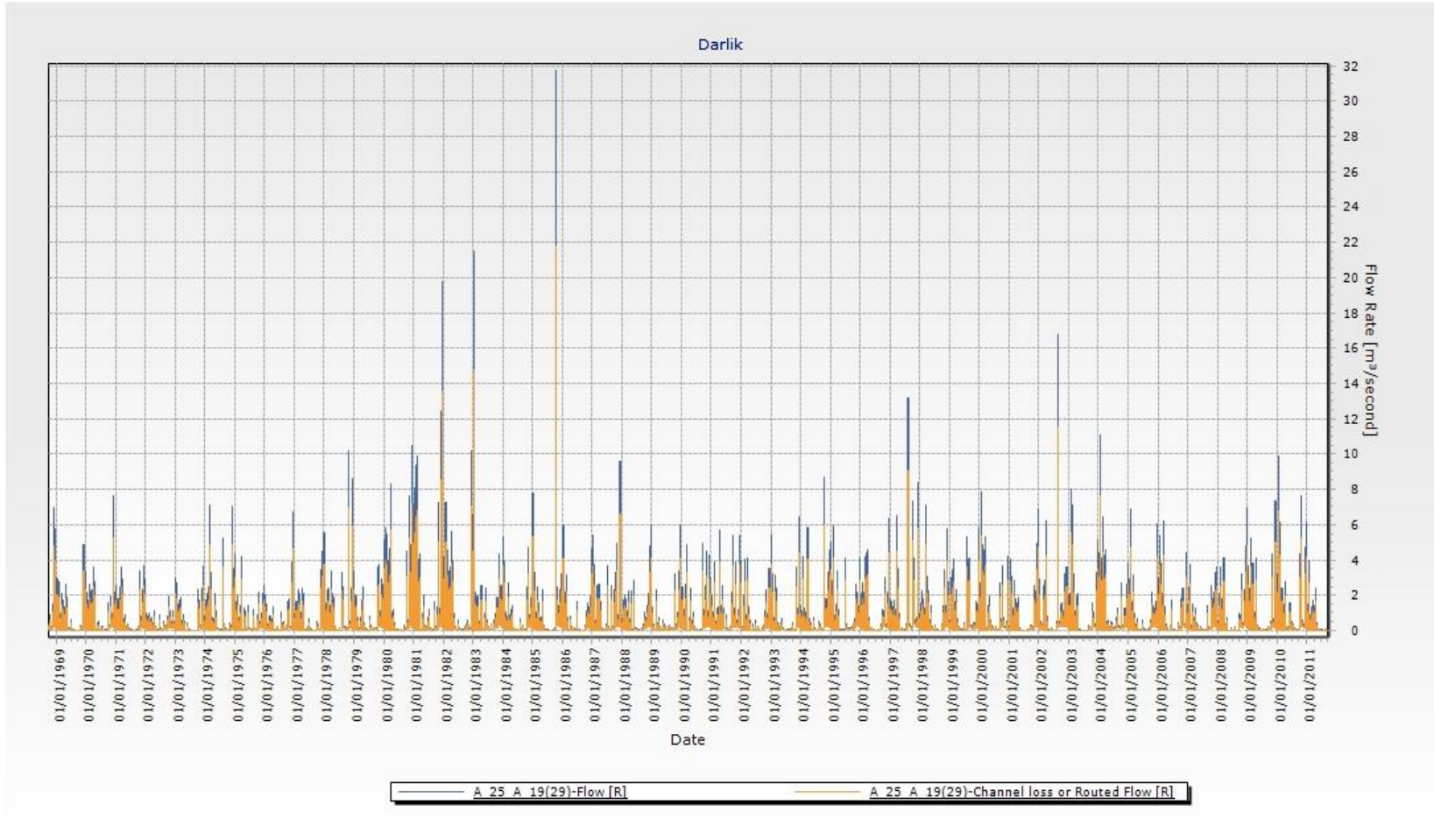
Şekil B.21: 22 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



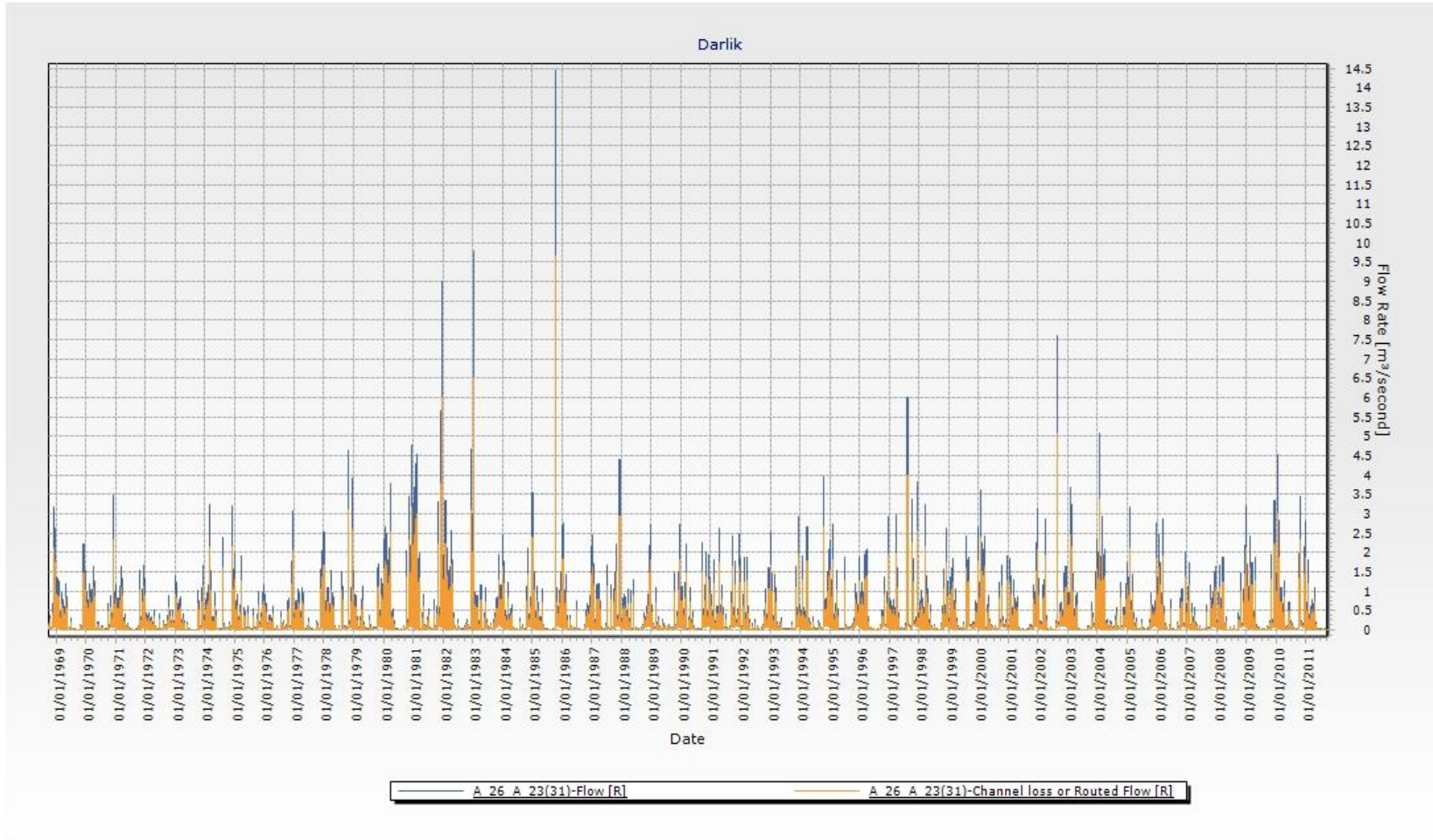
Şekil B.22: 23 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



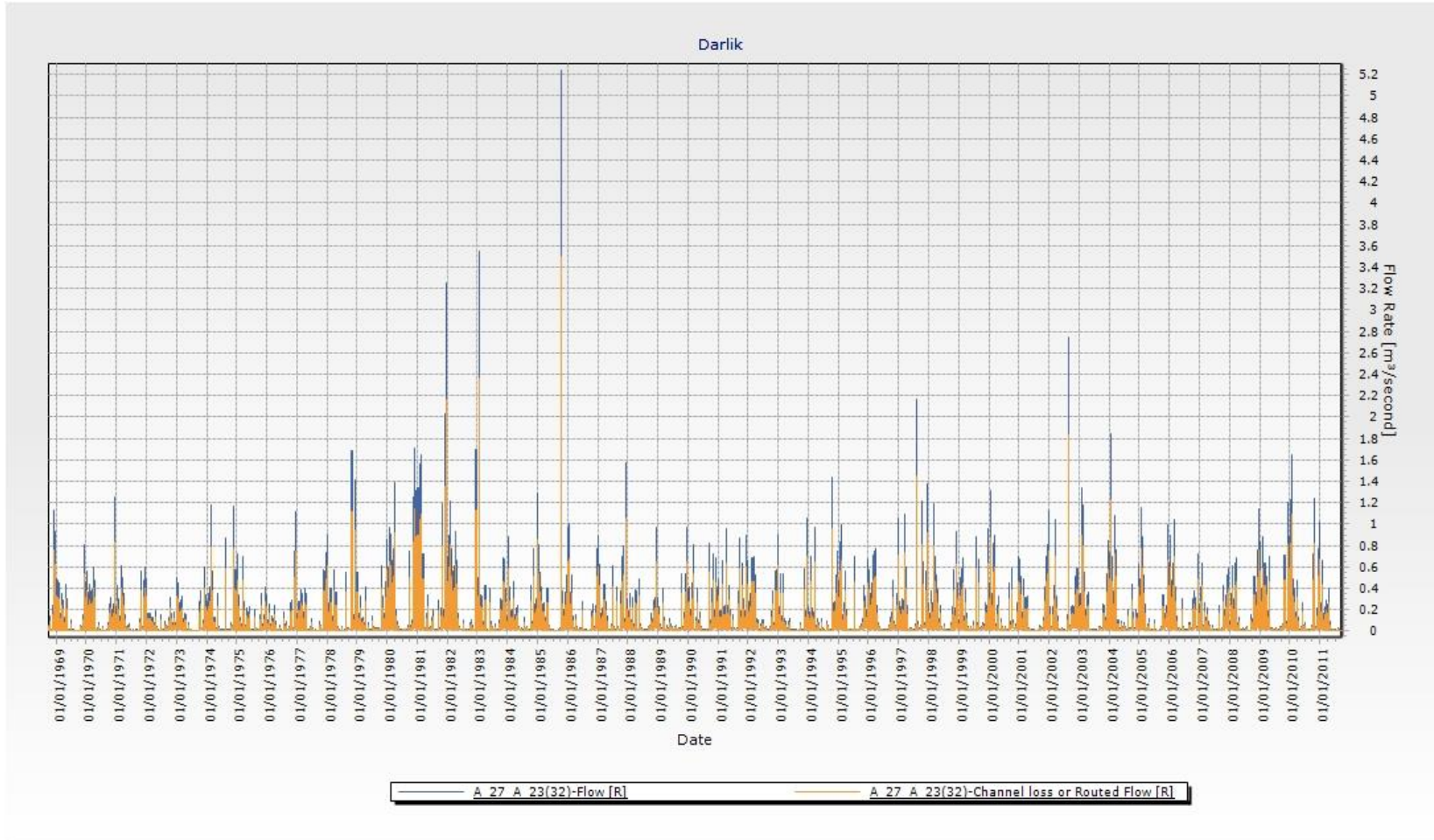
Şekil B.23: 24 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



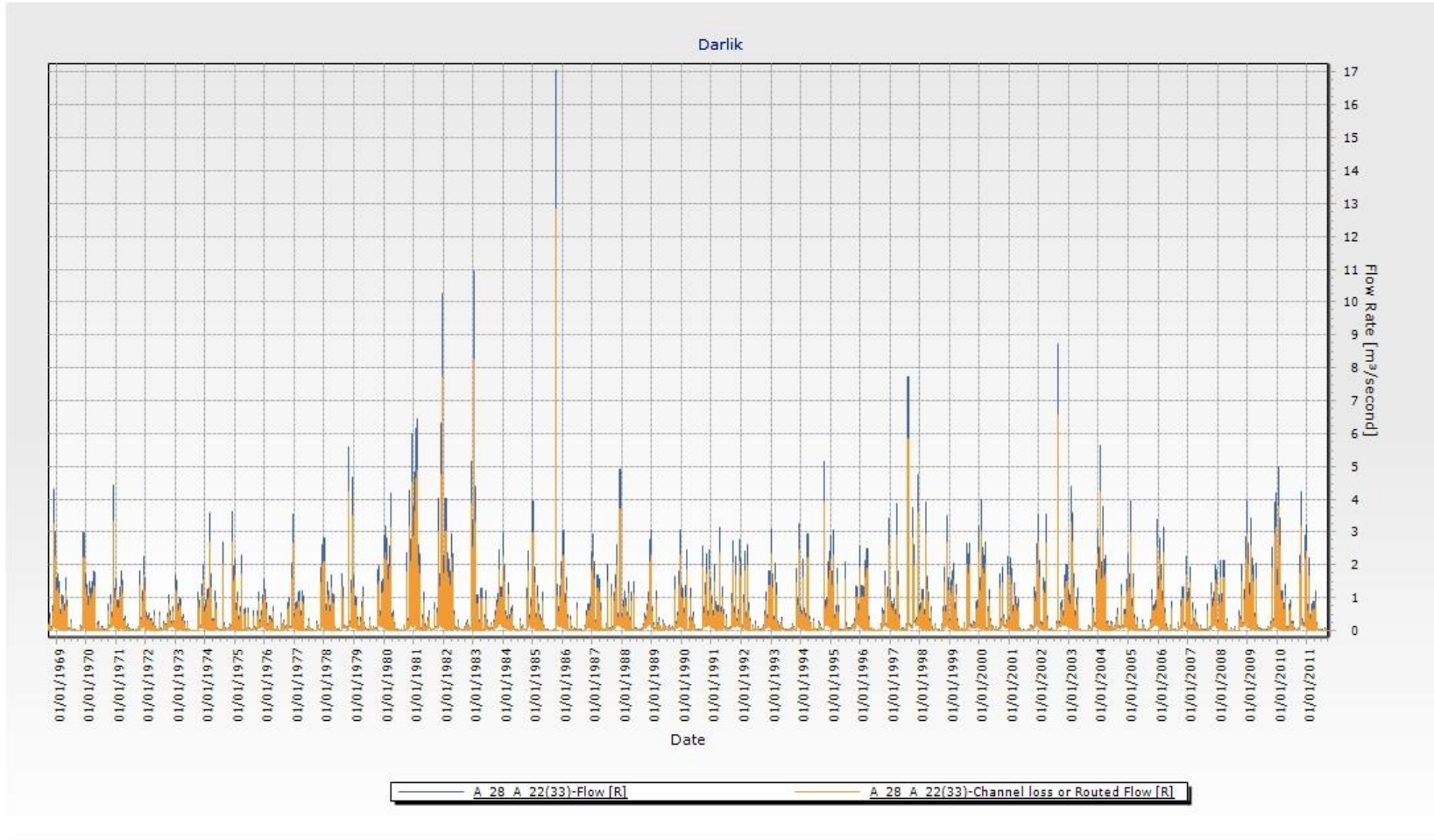
Şekil B.24: 25 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



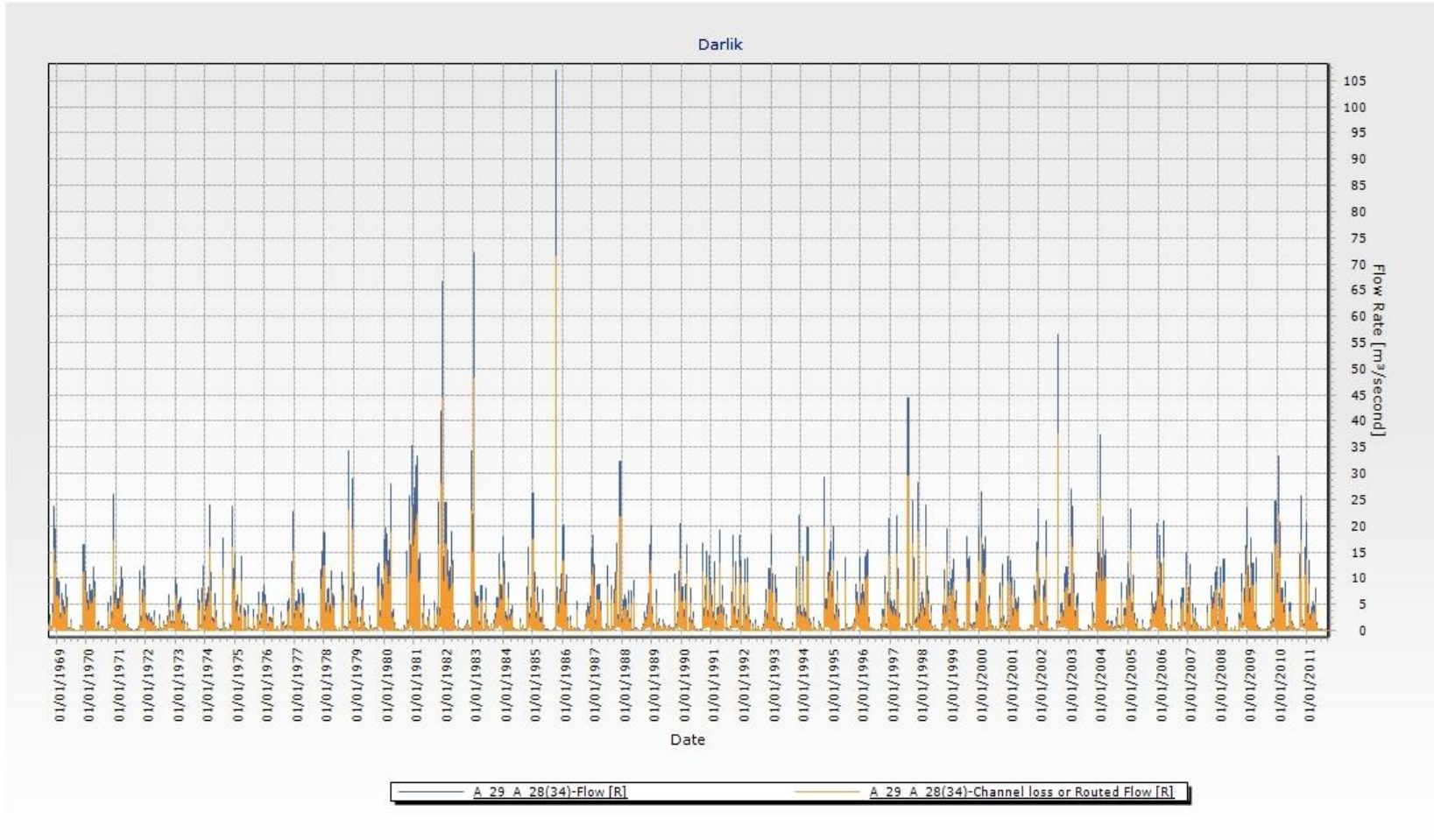
Şekil B.25: 26 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



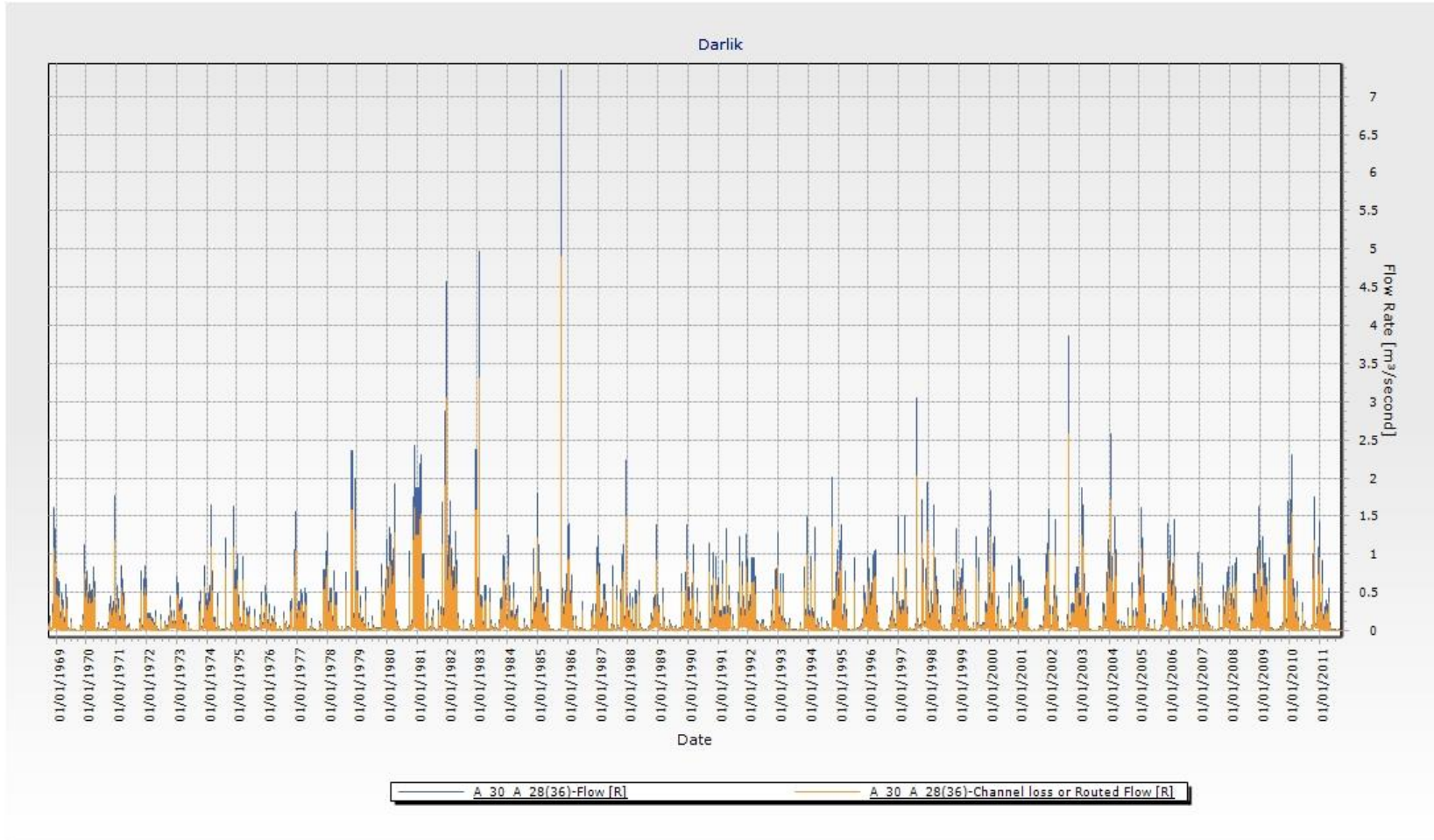
Şekil B.26: 27 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



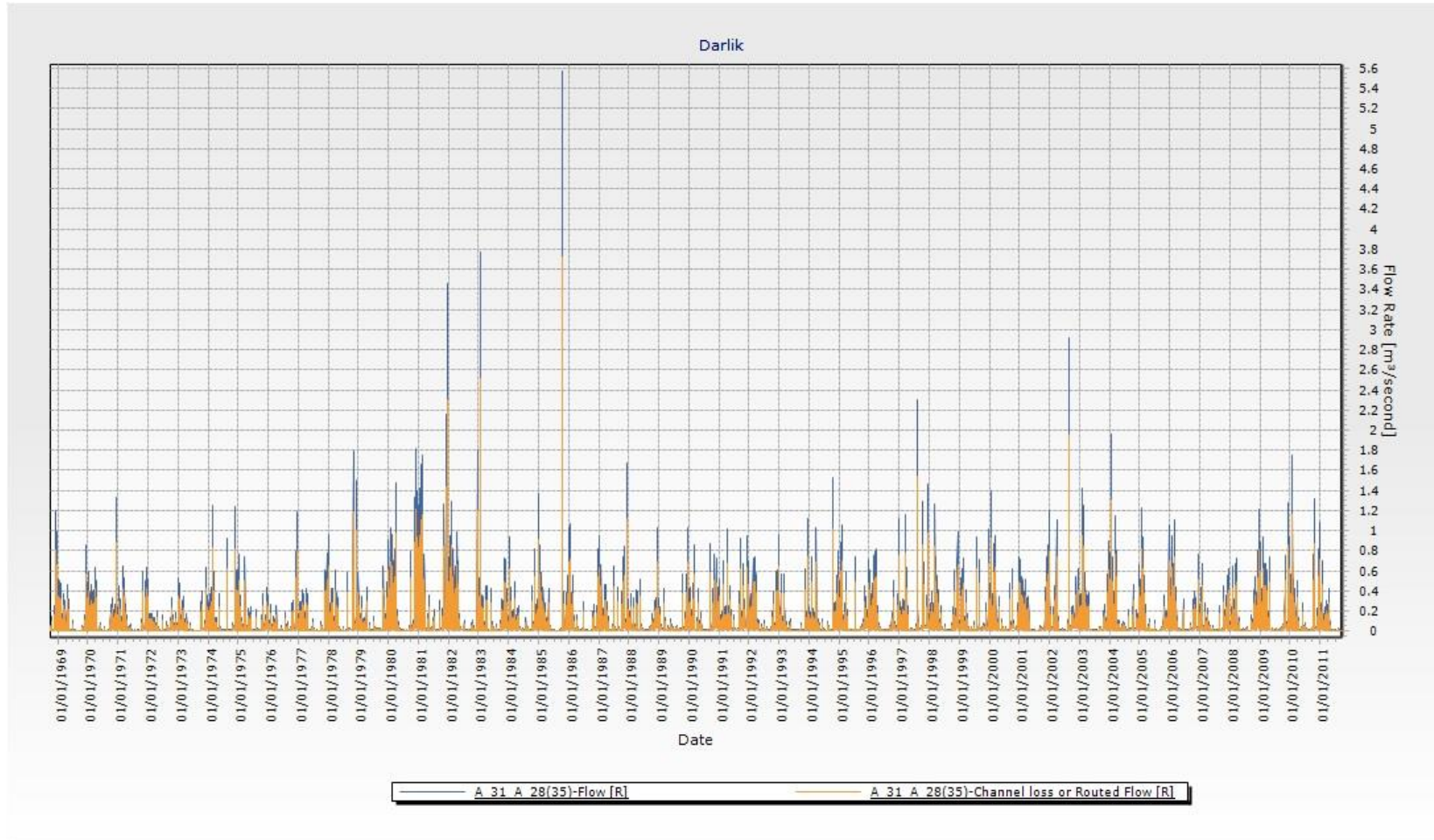
Şekil B.27: 28 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



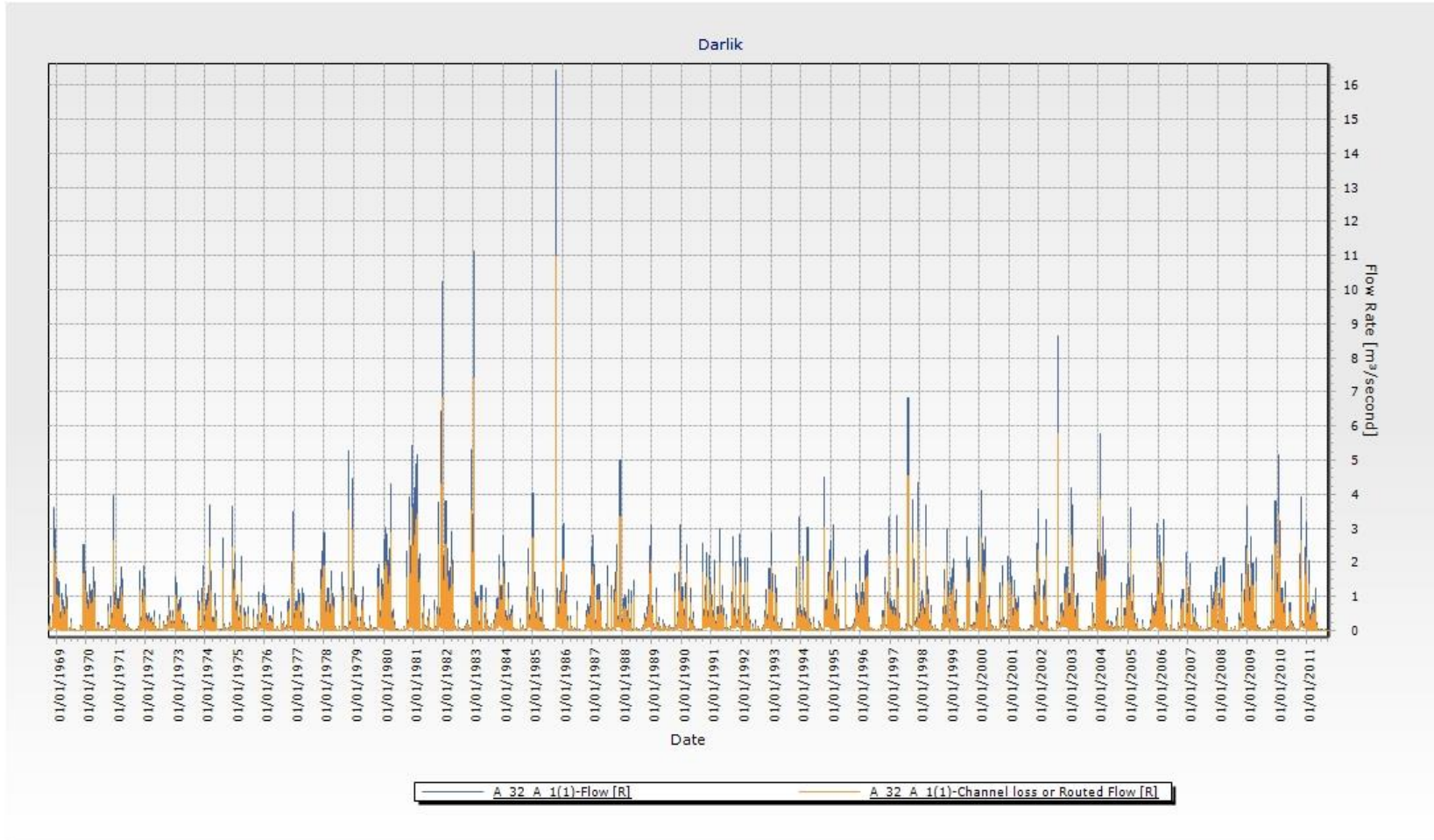
Şekil B.28: 29 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



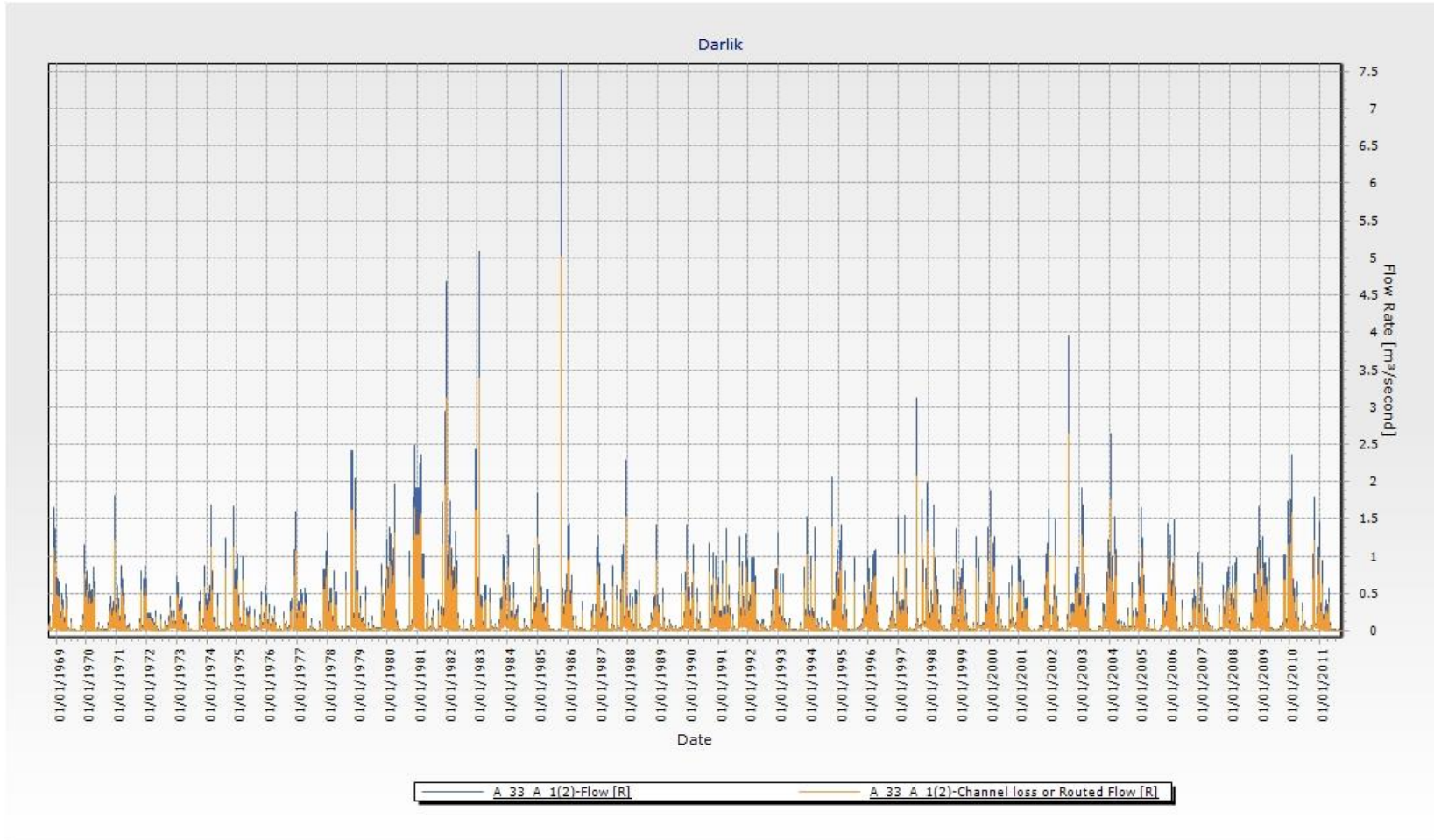
Şekil B.29: 30 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



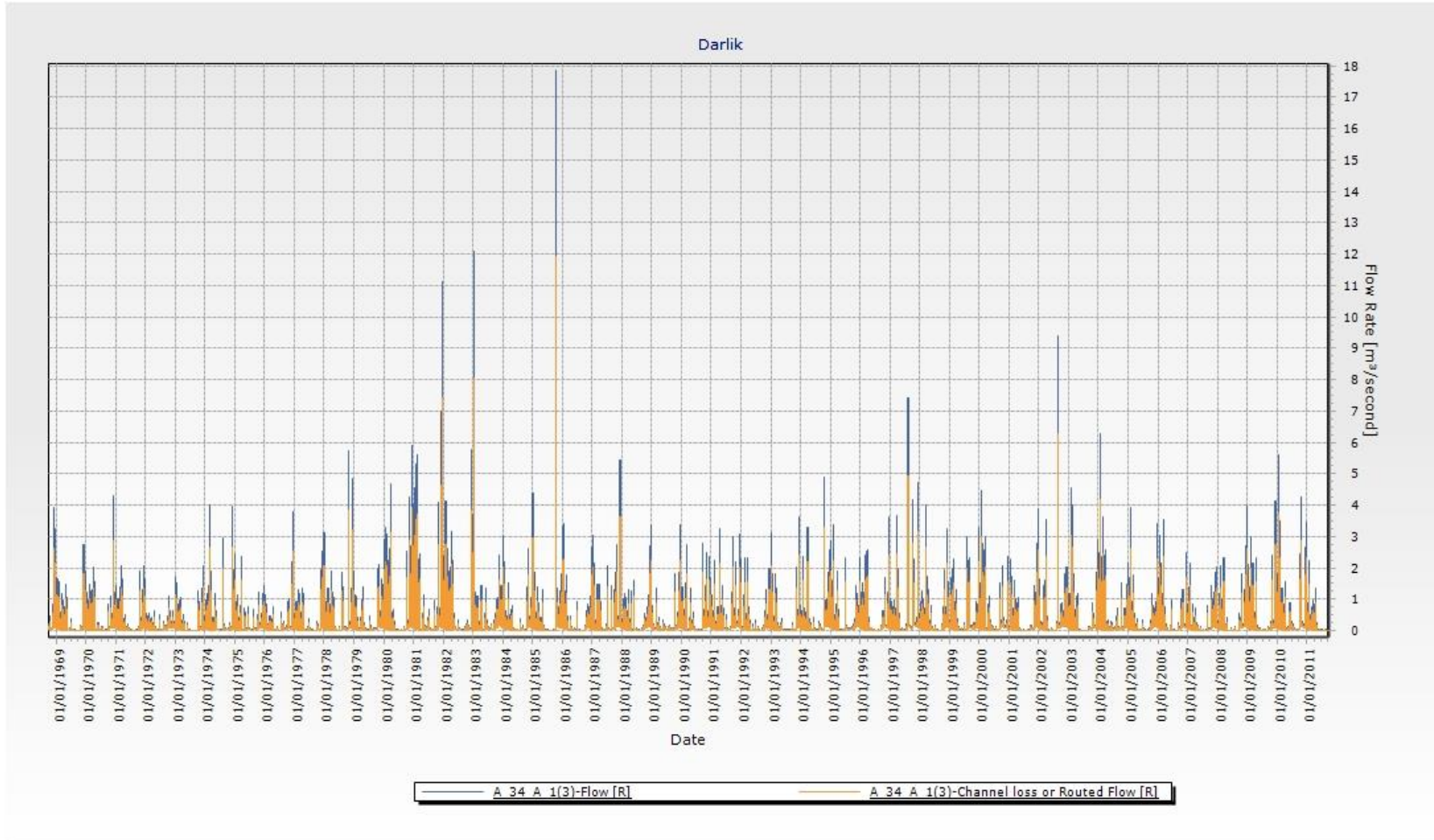
Şekil B.30: 31 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



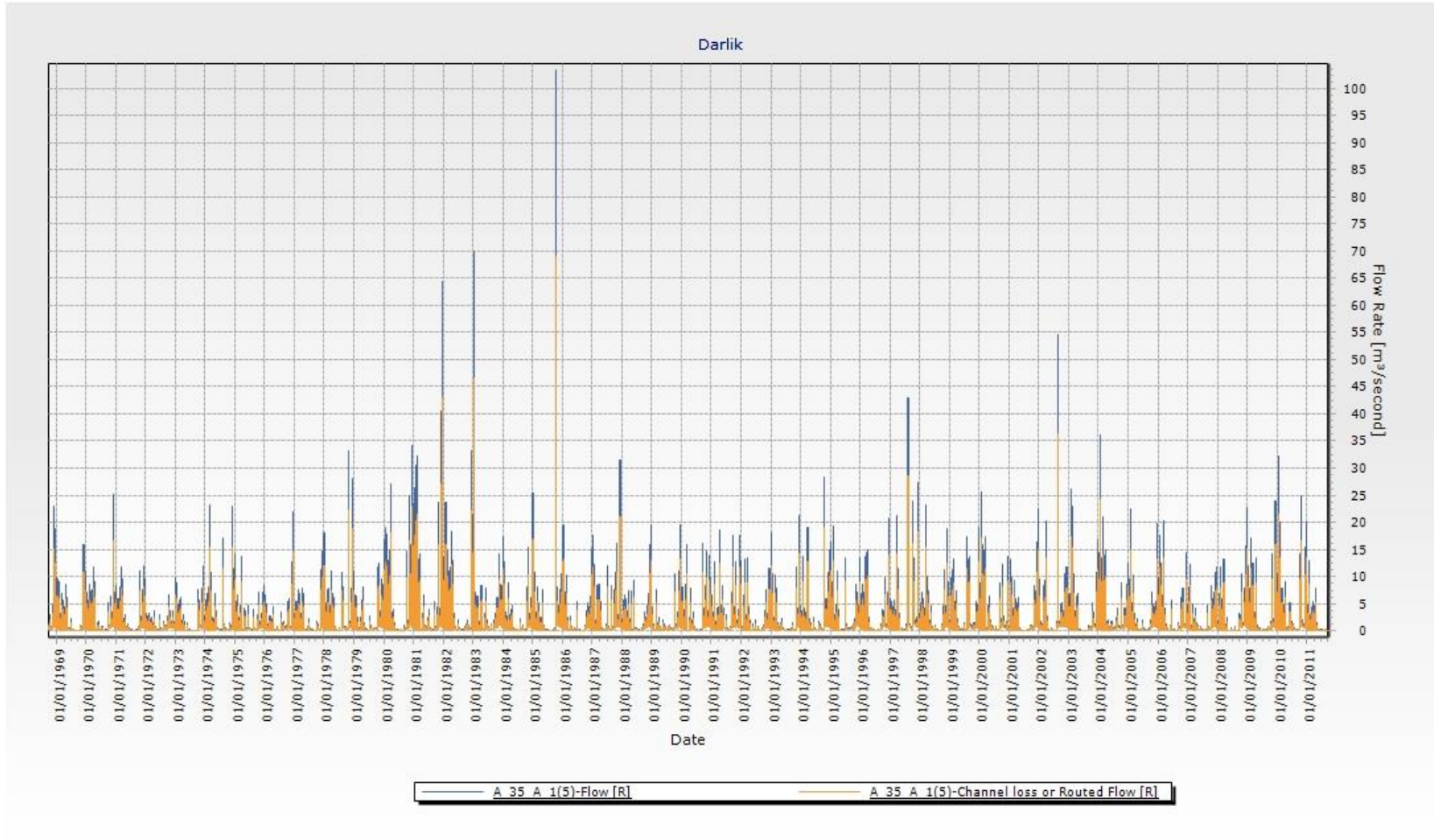
Şekil B.31: 32 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



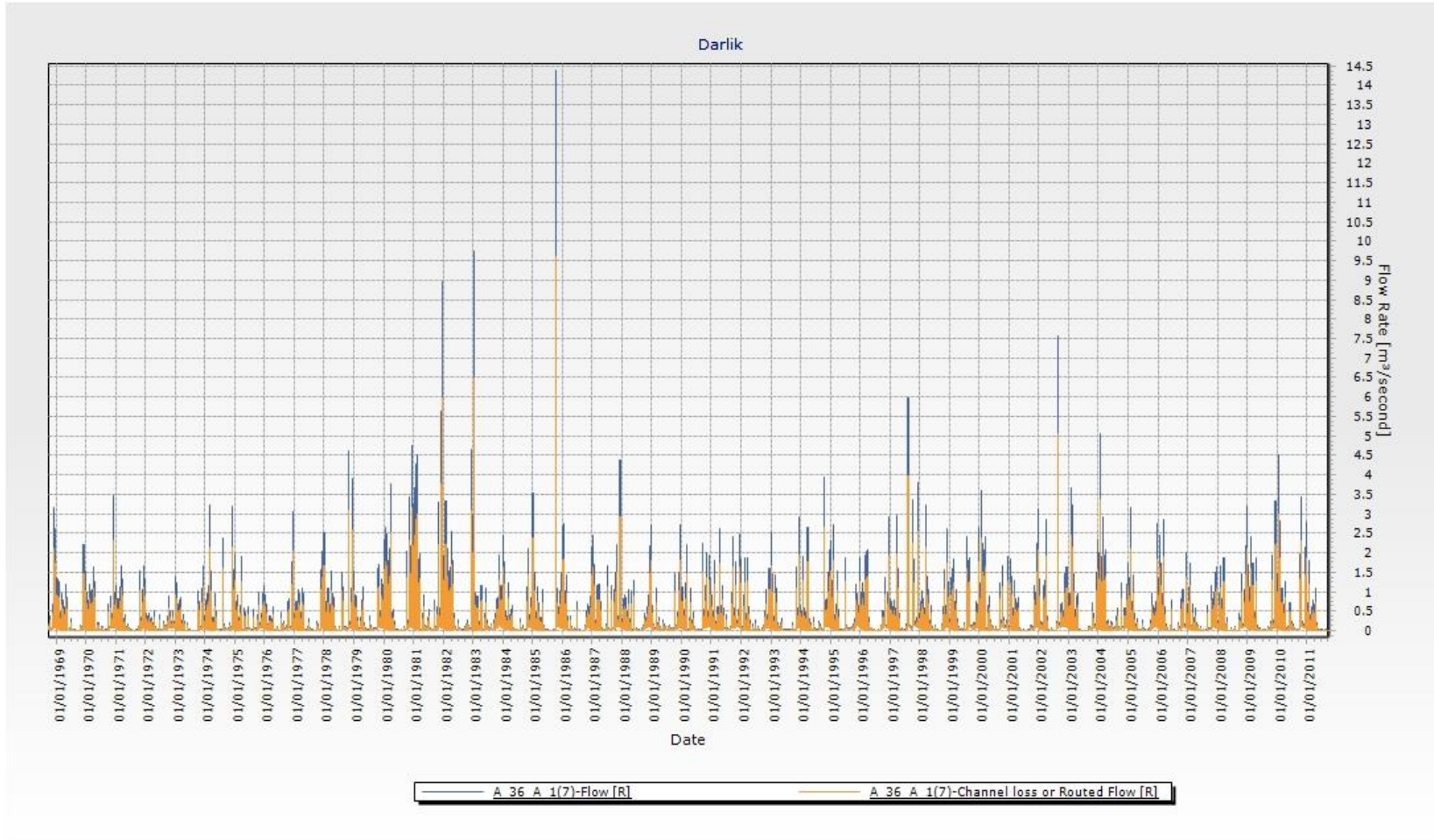
Şekil B.32: 33 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



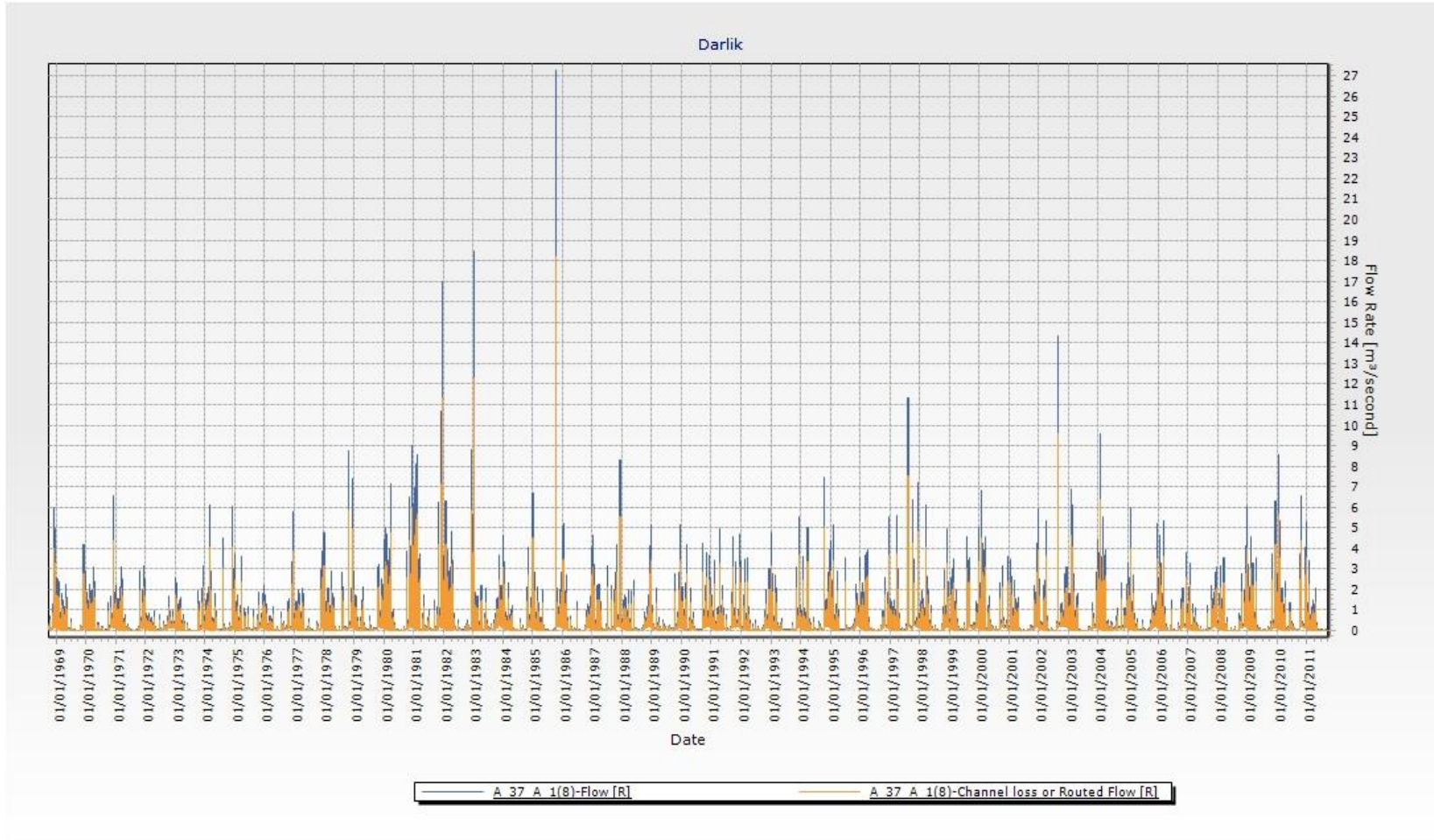
Şekil B.33: 34 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



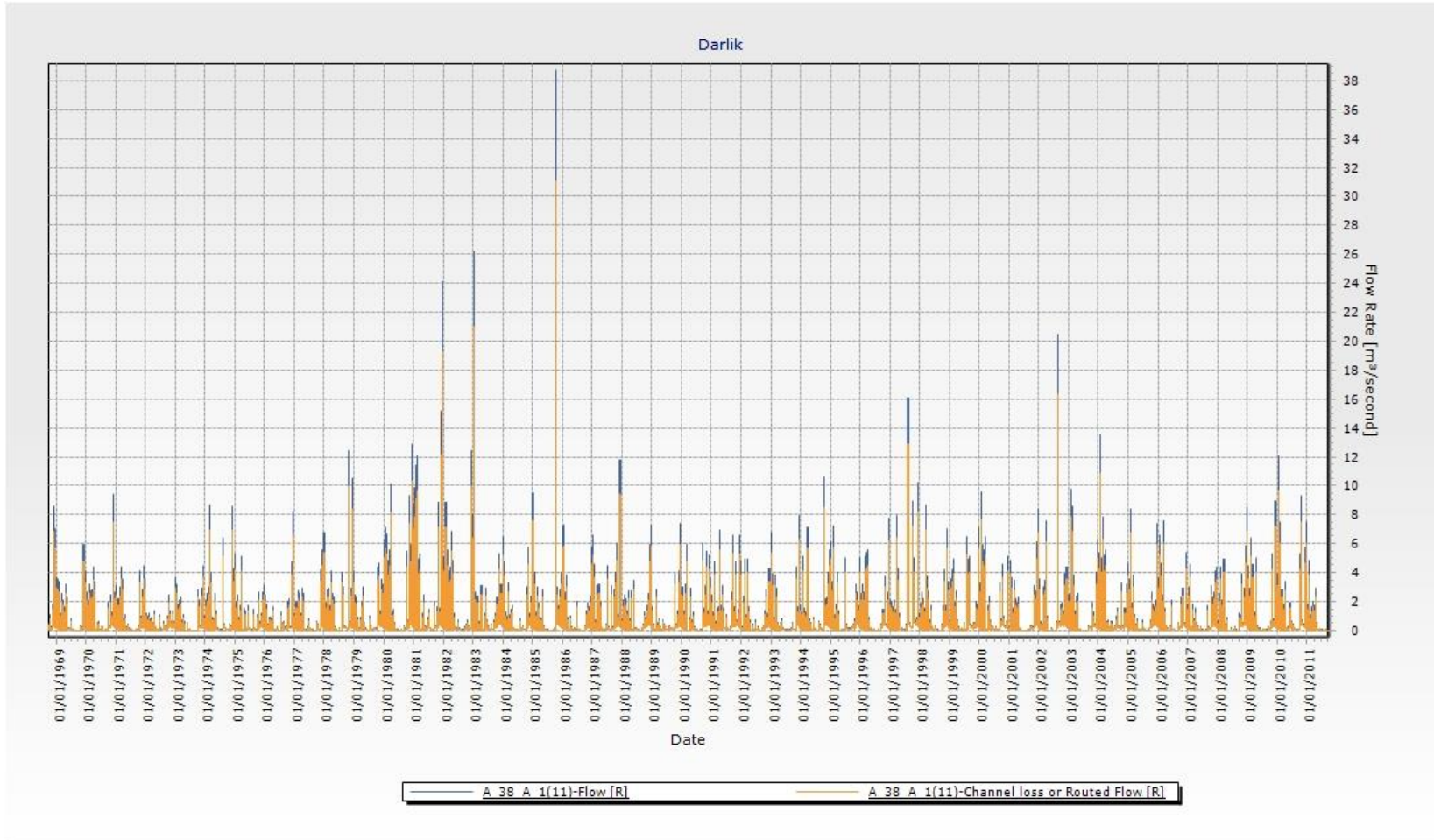
Şekil B.34: 35 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



Şekil B.35: 36 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



Şekil B.36: 37 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.



Şekil B.37: 38 No'lu althavzaya ait MODSIM modeli sonuç grafiği.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Mehmet Kalfazade
Doğum Yeri ve Tarihi : Kadıköy 27.10.1988
Adres : 19 Mayıs Mah. Tüccarbaşı Sk. No:6/1
Erenköy/İstanbul/Türkiye
E-Posta : mehmetkalfazade@gmail.com
Lisans : İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü 2011 Mezunu

Mesleki Deneyim:

- Nisan 2014'ten bu yana İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi'nde proje mühendisi olarak çalışmaktadır.