**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BASİT AKARSU MODELİ(SİSMOD) KULLANILARAK AKARSULARDA EKOLOJİK İHTİYAÇ DEBİSİ BELİRLENMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tuncer İlkay AK**
**(501091758)**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

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

**EYLÜL 2015**

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091758 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Tuncer İlkay AK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"BASİT AKARSU MODELİ(SİSMOD) KULLANILARAK AKARSULARDA EKOLOJİK İHTİYAÇ DEBİSİ BELİRLENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

| | | |
|---|---|---|
| **Tez Danışmanı :** | **Doç. Dr. Alpaslan EKDAL**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyeleri :** | **Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Doç. Dr. Nusret KARAKAYA**<br>Abant İzzet Baysal Üniversitesi | ..... |

**Teslim Tarihi : 03 Eylül 2015**
**Savunma Tarihi : 17 Eylül 2015**

***Anneme ve babama,***

## ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yetiştirmemde emeği geçen ve benden maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında aramızda mesafeler olmasına rağmen bilgi ve birikimi ile bana destek olan, tezin çeşitli aşamalarındaki yardımları ile tezimin oluşturulmasına katkı sağlayan Doç. Dr. Alpaslan Ekdal'a, teşekkür ederim.

Çalışmalarımın not için değil, öğrenmek için olduğunu idrak ettiren çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli tecrübelerinden ve bilgilerinden faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. Ali Ertürk' e, teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül 2015

Tuncer İlkay AK
(Çevre Mühendisi)

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**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 ..... 2
**2. EKOLOJİK İHTİYAÇ DEBİSİ** ..... **3**
2.1 Ekolojik İhtiyaç Debisi Nedir? ..... 3
2.2 Ekolojik İhtiyaç Debisinin Önemi ..... 4
2.3 Ekolojik İhtiyaç Debisi İle İlgili Ülkemizdeki Yönetmelik ve Yasalar ..... 6
2.4 Ekolojik İhtiyaç Debisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler ..... 6
2.4.1 Hidrolojik yöntemler ..... 6
2.4.2 Hidrolik yöntemler ..... 9
2.4.3 Habitat benzeşimini esas alan yöntemler ..... 10
2.4.4 Bütünleşik yöntem ..... 13
**3. ARAÇLAR VE YÖNTEM** ..... **15**
3.1 Su Kalitesi ..... 15
3.1.1 Sıcaklık ..... 15
3.1.2 Çözünmüş oksijen ..... 16
3.1.3 pH ..... 17
3.1.4 Amonyak, amonyum ve türevleri ..... 18
3.2 Hidrolik Veriler ..... 19
3.3 Mikrohabitat ..... 20
**4. MODEL KULLANIMI VE YAPISI** ..... **23**
4.1 Model Ağı ..... 23
4.1.1 Akarsu başlangıç bölümü ..... 24
4.1.2 Memba bölümü ..... 24
4.1.3 Mansap bölümü ..... 24
4.1.4 Noktasal yükler ..... 24
4.1.5 Debili yayılı yükler ..... 25
4.1.6 Debisiz yayılı yükler ..... 25
4.2 Hidrolik Hesaplar ..... 25
4.3 Su Kalitesi Hesapları ..... 26
4.3.1 Çözünmüş oksijen ..... 26
4.3.1.1 Aerobik koşullar ..... 26

4.3.1.2 Anaerobik koşullar ..... 31
4.3.2 Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı ..... 31
4.3.2.1 Aerobik koşullar ..... 31
4.3.2.2 Anaerobik koşullar ..... 32
4.3.3 Organik azot ..... 33
4.3.4 Amonyum azotu ..... 33
4.3.4.1 Aerobik koşullar ..... 33
4.3.4.2 Anaerobik koşullar ..... 34
4.3.5 Nitrat azotu ..... 34
4.3.5.1 Aerobik koşullar ..... 34
4.3.5.2 Anaerobik koşullar ..... 35
4.3.6 Organik fosfor ..... 36
4.3.7 Fosfat fosforu ..... 36
4.3.7.1 Aerobik koşullar ..... 36
4.3.7.2 Anaerobik koşullar ..... 37
**5. UYGULAMA ÖRNEĞİ ..... 39**
5.1 Hidrolik Açıdan Değerlendirmede SİSMOD Modelinin Kullanılması ..... 39
5.1.1 Akarsu sisteminin oluşturulması ..... 40
5.1.2 Model ağının oluşturulması ..... 40
5.1.3 Akarsu enkesiti ve yatağı ile ilgili bilgilerin oluşturulması ..... 40
5.1.4 Model girdi dosyasının oluşturulması ve modelin çalıştırılması ..... 44
5.1.5 Model sonuçlarının sucul canlılar açısından değerlendirilmesi ..... 53
5.2 Su Kalitesi Açısından Değerlendirmede SİSMOD Modelinin Kullanılması ... 54
5.2.1 Model ağının oluşturulması ..... 55
5.2.2 Akarsu enkesiti ve yatağı ile ilgili bilgilerin oluşturulması ..... 55
5.2.3 Akarsu başlangıcı ve deşarjlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması .. 56
5.2.4 Debisiz yayılı yükler ile ilgili model girdilerinin oluşturulması ..... 56
5.2.5 Yayılı yan akımlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması ..... 57
5.2.6 Akarsu bölümleri ile ilgili model girdilerinin oluşturulması ..... 57
5.2.7 Yayılı yan akımlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması ..... 58
5.2.7.1 Havalandırma hızı katsayısı ..... 58
5.2.7.2 Sediment oksijen ihtiyacı katsayısı ..... 59
5.2.8 Modelin çalıştırılması ..... 60
5.2.9 Model sonuçlarının su kalitesi ve sucul canlılar açısından değerlendirilmesi ..... 64
5.3 SİSMOD Model Sonuçlarının Farklı Metot ve Yaklaşımlar ile Kıyaslanması ..... 72
**6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 77**
**KAYNAKLAR ..... 79**
**EKLER ..... 83**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 93**

## KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| **ABF** | **:** Aquatic Base Flow |
| **BOİ$_5$** | **:** Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı |
| **Ç.O** | **:** Çözünmüş Oksijen |
| **DSİ** | **:** Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü |
| **EPA** | **:** Environmental Protection Agency |
| **EİD** | **:** Ekolojik İhtiyaç Debisi |
| **HES** | **:** Hidroelektrik Santral |
| **IFIM** | **:** Instream Flow Incremental Methodology |
| **SİSMOD** | **:** Basit Akarsu Modeli |
| **SKKY** | **:** Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği |
| **TÜBİTAK** | **:** Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu |

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1:** Sucul ekosistem ve mesire maksatlı kullanım için Tennant Metodu'na göre akarsu debileri (Tennant, 1975). ..... 7
**Çizelge 2.2:** İhtiyaç debisinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması..... 13
**Çizelge 5.1:** Akarsu bölümleri ile ilgili model girdileri ..... 40
**Çizelge 5.2:** Akarsu düzensiz enkesiti ..... 41
**Çizelge 5.3:** 1340 nolu istasyon koordinatları ..... 42
**Çizelge 5.4:** Akarsu kollarındaki debiler ..... 43
**Çizelge 5.5:** 1340 nolu istasyona ait eşel en kesiti parametreleri ..... 46
**Çizelge 5.6:** Farklı n Değerleri İçin Modeldeki Derinlik($h_m$) Değer Tablosu ..... 47
**Çizelge 5.7:** Farklı n değerleri için modeldeki hız ($V_m$) değer tablosu ..... 50
**Çizelge 5.8:** Proje alanında tespit edilen balık türlerinin yaşayabildiği minimum su derinliği ve akıntı hızı (Karakaya, 2006)..... 53
**Çizelge 5.9:** Model sonucu elde edilen su derinliği ve hız değerleri..... 54
**Çizelge 5.10:** Su derinliği ve su hızı açısından bulunması gereken debi miktarları.. 54
**Çizelge 5.11:** Akarsu bölümleri ile ilgili model girdileri ..... 55
**Çizelge 5.12:** Akarsu düzensiz enkesiti girdileri ..... 56
**Çizelge 5.13:** Akarsu enkesiti ile ilgili model girdileri ..... 56
**Çizelge 5.14:** Akarsu için akarsu başlangıcı ile ilgili model girdileri ..... 56
**Çizelge 5.15:** Debisiz yayılı yükler ile ilgili model girdileri ..... 57
**Çizelge 5.16:** Akarsu bölümlerindeki sıcaklık, tuzluluk, rakım ve uzunluk değerleri..... 57
**Çizelge 5.17:** $K_A$ değeri hesaplanmasında kullanılan formüllerin derinlik ve hız aralıkları..... 59
**Çizelge 5.18:** Model sonucu hız ve derinlik değerleri ..... 59
**Çizelge 5.19:** Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği su kalite parametreleri..... 66
**Çizelge 5.20:** Farklı debi değerleri için $K_A$ değerleri ..... 68
**Çizelge 5.21:** Evsel atık su arıtma tesislerinin çıkış suyu alıcı ortama deşarj standartları..... 71
**Çizelge 5.22:** Kritik enkesitte yer alan istasyona ait aylık ortalama debi değerleri ($m^3/s$)..... 73
**Çizelge 5.23:** Tennant Metodu'na göre debi değerleri($m^3/s$) ..... 74

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1:** Akarsu ağı ve havzası ..... 3
**Şekil 2.2:** Islak çevre( IC/ICmaks) ve debi (Q/Qmaks) grafiği ..... 9
**Şekil 2.3:** Bütünleşik Yöntem ..... 13
**Şekil 4.1:** Akarsu bölümleri ..... 24
**Şekil 4.2:** Çözünmüş oksijen ve karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı için su kalitesi alt modeli ..... 26
**Şekil 5.1:** Akarsu Model Ağı ..... 40
**Şekil 5.2:** 1340 nolu istasyonun enkesiti ..... 41
**Şekil 5.3:** 1340 nolu istasyon konumu ..... 42
**Şekil 5.4:** Akarsu Yatak Eğimi ..... 43
**Şekil 5.5:** Birincil Veri Sayfası ..... 44
**Şekil 5.6:** Akarsu Bölümleri Sayısı ..... 44
**Şekil 5.7:** Enkesit Sayfası ..... 45
**Şekil 5.8:** Akarsu Başlangıçları Sayfası ..... 45
**Şekil 5.9:** Sonuçlar dosyası akarsular bölümü ..... 46
**Şekil 5.10:** Farklı n Değerlerine Göre Akarsu Derinliği ..... 47
**Şekil 5.11:** Pürüzlülük Katsayısı 0,01 ve 0,02 için Model Sonucu Hesaplanan Derinlik ile Ölçülen Derinlik Arasındaki Korelasyon ..... 48
**Şekil 5.12:** Pürüzlülük Katsayısı 0,03 ve 0,04 için Model Sonucu Hesaplanan Derinlik ile Ölçülen Derinlik Arasındaki Korelasyon ..... 48
**Şekil 5.13:** Pürüzlülük Katsayısı 0,05 ve 0,06 için Model Sonucu Hesaplanan Derinlik ile Ölçülen Derinlik Arasındaki Korelasyon ..... 49
**Şekil 5.14:** Pürüzlülük Katsayısı 0,07 ve 0,08 için Model Sonucu Hesaplanan Derinlik ile Ölçülen Derinlik Arasındaki Korelasyon ..... 49
**Şekil 5.15:** Farklı n Değerlerine Göre Modeldeki Akarsu Hızları ..... 50
**Şekil 5.16:** Pürüzlülük Katsayısı 0,01 ve 0,02 için Model Sonucu Hesaplanan Hız ile Ölçülen Hız Arasındaki Korelasyon ..... 51
**Şekil 5.17:** Pürüzlülük Katsayısı 0,03 ve 0,04 için Model Sonucu Hesaplanan Hız ile Ölçülen Hız Arasındaki Korelasyon ..... 51
**Şekil 5.18:** Pürüzlülük Katsayısı 0,05 ve 0,06 için Model Sonucu Hesaplanan Hız ile Ölçülen Hız Arasındaki Korelasyon ..... 52
**Şekil 5.19 :**Pürüzlülük Katsayısı 0,07 ve 0,08 için Model Sonucu Hesaplanan Hız ile Ölçülen Hız Arasındaki Korelasyon ..... 52
**Şekil 5.20:** Akarsu Model Ağı ..... 55
**Şekil 5.21:** Birincil veri sayfası ..... 60
**Şekil 5.22:** Akarsu Bölümleri Sayısı ..... 60
**Şekil 5.23:** Enkesit Sayfası ..... 61
**Şekil 5.24:** Akarsu başlangıçları ve su kalitesi değerleri sayfaları ..... 61
**Şekil 5.25:** Noktasal kaynaklar veri giriş sayfası ..... 62

**Şekil 5.26:** Debisiz yayılı yükler veri giriş sayfası ..... 62
**Şekil 5.27:** Akarsu bölümü özellikleri veri giriş sayfası ..... 63
**Şekil 5.28:**Kinetik katsayılar veri giriş sayfası ..... 63
**Şekil 5.29:** Sonuçlar dosyası akarsular bölümü ..... 64
**Şekil 5.30:** $EİD_h$ göre Ç.O konsantrasyonu ..... 65
**Şekil 5.31:** $EİD_h$ göre Nitrat Azotu konsantrasyonu ..... 66
**Şekil 5.32:** $EİD_h$ göre Toplam Fosfor konsantrasyonu ..... 67
**Şekil 5.33:** $EİD_h$ göre $BOİ_5$ konsantrasyonu ..... 67
**Şekil 5.34:** Debiye göre $BOİ_5$ konsantrasyonları ..... 69
**Şekil 5:35:** Debiye göre Ç.O konsantrasyonu ..... 69
**Şekil 5.36:** Debiye göre Toplam Fosfor konsantrsayonu ..... 70
**Şekil 5.37:** Debiye göre Nitrat Azotu konsantrasyonu ..... 71
**Şekil 5.38:** Aylık debi eklenik ihtimal grafiği(Tüm aylar birlikte) ..... 75
**Şekil 5.39:** Farklı yöntemlerle hesaplanmış ekolojik ihtiyaç debileri ..... 76

**BASİT AKARSU MODELİ(SİSMOD) KULLANILARAK AKARSULARDA EKOLOJİK İHTİYAÇ DEBİSİNİN BELİRLENMESİ**

## ÖZET

Akarsular, ekosistemlerin önemli bir parçasını meydana getiren, birçok bitki ve hayvan türü için yaşam alanı oluşturan, tarım, içme suyu, sulama, turizm, ulaşım, balıkçılık ve enerji alanlarındaki ihtiyaçları karşılayan tatlı su kaynaklarıdır. Ülkemizdeki akarsuların fiziksel yapılarının farklı olduğu ve akıttığı su miktarlarının mevsimlere göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle her akarsuyun hizmet açısından potansiyel kullanım yapısı, bulunduğu bölgeye, su kalitesine, su miktarına bağlı olarak seçilmeli ve ekosistemle birlikte değerlendirilmelidir. Bu şekilde, akarsu üzerinde minimum akım debisi olan ekolojik debi belirlenerek akarsu ve havza ekosisteminin sürdürebilirliği sağlanmış olacaktır.

İşlevsel olarak çok yönlü bir hizmet sunan akarsular üzerinde insan eliyle yapılan çalışmaların ve projelerin uzun periyotlarda planlanması gerekirken kısa vadede çabuk sonuç almayı hedeflemesi, mevcut çalışmaların ekosistemle entegre bir biçimde ele alınmaması, çevresel ve sosyal açılardan olumsuz sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

Akarsuyun enerji veya başka bir alanda kullanımı sırasında ortaya çıkacak en önemli problemlerden biri de suyun alındığı akarsuda ekosistemin tamamen veya kısmen tahrip olmasıdır. Bu nedenle suyun kullanımı nedeniyle ortaya çıkabilecek bu tahribatın önlenebilmesi amacıyla çevresel faktörlerin dikkate alınarak geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, akarsularda, ekosistemin tahribatının önlenmesi ve devamlılığı için bırakılması gereken su miktarı ile ilgili dünya ölçeğinde kullanılan başlıca yöntem ve yaklaşımlar özetlenmiş, akarsular için ekolojik ihtiyaç debisinin hesaplanmasında SİSMOD modeli kullanılarak hipotetik bir akarsu yapısına uygulanmıştır.

Modelin, daha önceden yapılan çalışmalarda su kalitesi açısından güvenilir sonuçlar vermesi, hızlı bir değerlendirme imkanı sunması, karmaşık olmayan basit bir yaklaşım içermesi, ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmesinde alternatif bir değerlendirme metodu olarak ele alınmasını sağlamıştır.

Her akarsu havzası için akarsuda bulunması gereken minimum debi miktarı farklı olacaktır. SİSMOD modeli kullanılarak, akarsuda bulunması gereken debi miktarı, ilk aşamada hidrolik veriler ele alınarak, suda yaşayan balık türlerinin fiziksel aktivitelerini sağlıklı bir şekilde sürdürdüğü su hızı ve su derinliğine göre hesaplanmıştır. İkinci aşamada, hidrolik açıdan uygun bulunan ekolojik ihtiyaç debisinin su kalitesi açısından birçok parametreye göre uygunluğu kontrol edilmiş ve hipotetik akarsuyun, ekolojik ihtiyaç debisi su kalitesi açısından belirlenmiştir.

.

**DETERMINATION OF ECOLOGICAL FLOW RATE IN STREAMS USING SIMPLE RIVER MODEL (SISMOD)**

## SUMMARY

Water is an indispensable natural resource for all alives. Despite big percentage of earth covered by water, only %3 of this percentage can be used as available-fresh water. Streams are only %0,6 of percent of the world total freshwater reserves. Use of streams has been changing dramatically by the increase of population and water demand in the world. As well as increase of population in the world in the last decades, climate change also affected the streams. Thus identification, protection and sustainable management of stream have become crucial.

As is the case in all over the world, the fact that both the quality and the quantity of stream water have been increasingly degrading in Turkey has leveraged concerns and led to more efforts in the area. Within this scope, the water management understanding in Turkey has been oriented towards two areas of concern; namely, the increased usable water potential on one hand and on the other hand, river basin-based organization and prevention of water pollution.

Streams are fresh water resources which are a crucial part of ecosystem provide habitats to many animals, plants and meeting the needs in agriculture, drinking water, tourism, transportation, fishing, irrigation and energy. Streams in Turkey differ in their structure and the amount of water circulated changes according to the seasons.

Thus, each resource should be evaluated based on the region, quality and quantity of water within the ecosystem. In this way, the ecological flow rate, the minimum flow rate, will be determined and the sustainability of the river basin ecosystem will be realized.

Streams tend to adjust and reconstruct themselves with their self healing capacity and if necessary, a healthy stream ecosystem must mimic the most natural condition as much as possible. Overdesigning or enlarging the channel cross section can create a conflict in the large woody debris balance and may give rise to the thrash accumulation and eventually a slow death of a functioning river. For a sustainable river ecosytems, selection of river cross-section is vital since it has a great influence on determining the magnitude of flood for a given discharge; defining fishes characteristics and transport process mechanism and thoroughly understanding the stream ecosystem.

Within the last years due to the demand for more energy many new projects have been developed. Projects are on rivers, have effects on water amount, water quality and consequently on water ecosystem. In this reason, determination of required environmental flow to protect water ecosystem in river mouth constitutes a significant problem. Maintenance of river ecosystems' health depends on environmental flow (required ecological flow rate) calculations.

An analysis of the required ecological flow rate of a stream, a tributary of the original

to maintain the ecological status of the current regime downstream of a particular water structure itself, could be expressed as what proportion of the flood protection will be to reveal.

EFR analysis, typically present the development of water resources organized or planned streaming systems with flow of activities linked with the streams restoration carried out to support the decision-making process. As a result of this type of work with the recommended EFR flow rate for a single-year or for different seasons with different flow rate of streams for targeted protection of ecological status could be accomplished.

Especially in our country while determining the policy and practice of the project guidelines for hydroelectric plants people and the views of non-governmental organizations and the people living in the region are not taken into consideration. Without clarifying the needs of flora and fauna properly and targeting results in a shorter period of time instead of handling all projects in a longer period of time and not integrating into the existing ecosystem, brings up a set of serious environmental and social issues. Besides, significant economic loss occurs because of various planning mistakes.

The last ten years average stream flow rates required for many projects which are related to ecological flow needs to be allocated in rivers and ensuring the continuity of the ecosystem are defined as at least 10% of the work. It is impossible to have the same rate for each river basin. For each basin a rate should be determined to sustain the natural balance of the rivers and guaranteeing other water rights. On the other hand a series of legislation include provisions that virtually make protection of natural ecosystems impossible.

Streams ecosystems are among the areas containing many species. Therefore, while assessing the required flow rate for the ecosystem water quality and biodiversity should be taken into consideration. In case of absence of biodiversity and inadequate water quality parameters, this data should be handled carefully and evaluated clearly.

Stream perform a variety of biogeochemical functions, including sediment deposition, nitrogen and phosphorus removal, and transformation of inorganic nutrients to organic forms. Because of this important functions and values streams play very important roles in water quality.

Previous watershed studies prove that SISMOD model could give reliable results in simulating water quality, has quick evaluation capability, and utilizes an uncomplicated simple approach. thus, it can be accepted as an alternative method for the determination of required ecological flow rate.

In this study, the main methods and approaches used worldwide on the amount of water should be allocated for the prevention and sustainability of the ecosystem have been summarized. On the basis of mathematical equations involving fluid is capable and accountable in terms of water quality, SİSMOD model was introduced and applied to a hypothetical stream structure for the determination of required ecological flow rate in terms of hydraulic characteristics and water quality.

The minimum amount that must be present in stream flow for each river basin will be different. In the model the hypothetical structure of a river is discussed, it is assumed that there are different types of fish in this river continuing their vital activities.

By using SİSMOD model, river flow rates were evaluated by using hydraulic data in the first stage. The most critical cross-section of the set is the slope of the river stream, length, by taking the bed width, the minimum flow rate required has been determined by the healthy physical activities of the fish species that live in the water according to the velocity of the water and water depth.

In the second stage, water quality parameters were checked whether they comply with the standards for the designated water quality when the ecological flow rate calculated in the first stage flows through the hypothetical stream system... When water quality is not suitable for the designated water quality class the flow rate was increased, and the minimum stream flow rate that ensures the designated water quality was identified as the ecological flow rate.

Ecological flow rates determined with the model results were evaluated according to current regulations and limits. Ecological flow requirement for the hypothetical river structure was also determined by considering different methods used forrivers in literature, and were compared with the ecological flow rates calculated with SİSMOD model.

According to the model results it can be concluded that only hydraulic data could not give ultimate results for the determination of ecological flow rate of rivers. The needs of aquatic species living in the ecosystem and and water quality had to be assessed in the study. The model used in the study determines the ecological flow rate, and offers solutions on different scenarios that may occur in streams. It can propose alternative solutions for effective and efficient decision making.

The method proposed in this study could be used for the determination of ecological flow rate in rivers; thus, it can be accepted as an alternative method for calculating the minimum amount of water that should be released into river in Hydroelectric Power Plant Projects.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Önemi

Dünyanın gelişen koşullarına ve artmakta olan nüfusuna bağlı olarak yeryüzünde bulunan su kaynaklarının farklı amaçlar için kullanımına yönelik talepler de bu değişimlere paralel olarak çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durumun yanı sıra son on beş yıllık sürede etkisini daha belirgin bir şekilde gösteren iklim değişikliğinin de su kaynaklarını önemli ölçüde etkilemesi beklenmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının gelecekteki durumlarının analiz edilmesi, korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi oldukça önem kazanmıştır.

Akarsular, yeryüzünün en zengin ve en üretken ekosistemlerinden bir tanesini oluşturmaktadır. Bu alanlar insanlara ve ülkenin geneline hizmet veren biyolojik çeşitliliğe sahip sistemlerdir. Sürdürülebilir bir akarsu ekosistemi, fiziksel (ışık, debi, habitat, eğim, sıcaklık, toprak, yatak morfolojisi, kıyı stabilitesi, yeraltı suyu girişi vb), kimyasal (çözünmüş oksijen, sertlik, organik madde girişi, pH, yeraltı suyu kalitesi, sediment, alkalinite, bulanıklık, besleyici elementler vb) ve biyolojik (canlı varlıkların yapı ve işlevi) birliktelik ile sağlanan ekolojik bir bütünlükten oluşan ve ekosistemin sürekliliğini sağlayan dinamik sistemlerdir (EPA, 2002).

Sürekli gelişen teknoloji, insanların hayatta kalmaları ve gelişmeleri için kritik öneme sahip olan akarsuların değerinin gözardı edilmesine, öneminin unutulmasına sebep olmaktadır. Sürdürülebilir olmayan ve plansız bir şekilde yapılan alan kullanımlarından dolayı yaşanan çevre felaketleri (seller, toprak kaymaları, akarsu canlıları ölümleri vb.) akarsu ekosisteminin önemini hatırlatmaktadır (URL-1). Sürdürülebilirliğin sağlanması açısından akarsuda bulunması gereken debi miktarının bilimsel bir yaklaşımla değerlendirilmesi ve tüm ekosistemle ele alınması gereklidir.

Ekosistemin devamlılığı göz önünde bulundurularak gerekli olan ekolojik debi miktarının hesaplanmasında birçok yöntem bulunmaktadır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda bundan 40 yıl önceki yöntemlerde akım ve su kalitesi değerleri üzerinde

durulan istatistiksel yaklaşımlar benimsenirken son yıllarda ekosistemi bütünü ile değerlendiren yöntemlere geçiş olduğu görülmektedir. Bu kapsamda bilimsel veriler ve araştırmalar ışığında sağlıklı bir akarsu ekosisteminde yer alan tüm bileşenlerin incelenip değerlendirilmesinden sonra belirlenecek olan ekolojik debi, olumsuz çevre koşullarını minimize ederek, çevre ve kazanç optimizasyonunu da sağlamış olacaktır.

Bu çalışmada, akarsularda bulunması gereken ekolojik ihtiyaç debisi hidrolik ve su kalitesi açısından değerlendirilmiş, Basit Akarsu Modeli (SİSMOD) kullanılarak hipotetik bir akarsu yapısı için uygulanmıştır.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Türkiye'deki akarsularda olması gereken çevresel akış miktarı yüksek oranda hidrolik ve istatistiksel yöntemlerle belirlenmektedir. Akarsu ekosistemlerindeki her canlı türü belli akım koşullarına bağımlı olarak yaşamaktadır. Bu çalışma yardımıyla gerekli ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesi için akarsu ekosisteminde yer alan canlılar ve su kalite parametreleri de dikkate alınmıştır.

Çalışmanın amacı SİSMOD modeli kullanılarak hidrolik ve su kalitesi açısından ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmesidir. Çalışma kapsamında, SİSMOD modeli hipotetik bir akarsu yapısına uygulanmış ve bu kapsam çerçevesinde aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

- Değişik ülkelerde ve Türkiye'de ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler incelenmiştir.
- Temelinde matematiksel denklemlerin yer aldığı hidrolik ve su kalitesi hesapları yapabilen SİSMOD modeli tanıtılmış, hipotetik bir akarsu yapısı için ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır.
- Model sonucu belirlenen ekolojik ihtiyaç debisi mevcut yönetmelik ve bilimsel araştırmalar sonucu belirlenen sınır değerlere göre değerlendirilmiştir.
- Uygulanan bu yöntemin akarsularda ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmesinde alternatif bir yöntem olabileceği önerilmiştir.

.

## 2. EKOLOJİK İHTİYAÇ DEBİSİ

### 2.1 Ekolojik İhtiyaç Debisi Nedir?

Ekosistem içinde bulunan ve belirli işlevleri olan her öğe kendi içinde ve diğer öğelerle karşılıklı uyum içindedir. Bu nedenle çevre üzerinde insan eli ile gerçekleştirilecek her türlü çalışma bulunduğu havza ile ele alınıp bir bütün olarak değerlendirilmelidir.

Havza içerisinde bulunan nehirler, göller su ihtiyaçlarını sağlayan yüzeysel su kaynaklarıdır (Şekil 2.1). Akarsular, güneş nedeni ile oluşan buharlaşmanın neticesinde yüksek dağlara yaklaşan su buharının yoğunlaşması ile yağışa geçen, yağış nedeni ile suyun bir araya gelip akışa geçtiği, akışı boyunca aktığı zemini aşındıran, aşındırırken aktığı zeminin yapısına ve aşınım süresine bağlı olarak çeşitli vadileri oluşturan, oluşturduğu çukurluğun içinde akışına devam ederken tüm ekosistemlere etkilerde bulunan, su çağlayanlarının yeniden okyanusa, denize ve göllere ulaşmasını sağlayan, böylece su döngüsünün oluşturduğu ve bu döngünün milyonlarca yıldır sürdürülmesine hizmet eden yapı ve kendi başına da ayrı bir ekosistemdir (URL-2).

**Şekil 2.1 :**Akarsu ağı ve havzası

Her akarsu, bütün kollarıyla birlikte, belirli bir bölgenin sularını toplar. Akarsuyun sularını topladığı alana, o akarsuyun su toplama alanı ya da havzası denir. Aynı deniz ya da göle dökülen akarsular o göl ya da denizin havzasını oluşturur (Marmara Havzası, Van Gölü Havzası gibi). Sularını deniz ve göle taşıyamayan akarsuların oluşturduğu yeraltı sularını oluşturan besleyen alanlara da kapalı havza denir.

Ülkemizdeki su ve enerji talebindeki artış nedeniyle işlevsel açıdan çok önemli olan akarsuların plansız ve bilimsel açıdan yoksun bir şekilde kullanılması akarsu ekosisteminin bozulmasına neden olmaktadır. Bu bozulmanın önüne geçmek ve su kaynağının, bulunduğu havza içerisindeki akarsu ekosisteminin sürdürülebilirliğini sağlamak için gerekli olan su miktarına akarsudaki ekolojik ihtiyaç debisi denir.

## 2.2 Ekolojik İhtiyaç Debisinin Önemi

Ekosistem içerisinde yer alan nehirlerin ve akarsuların akım rejimleri o bölge içerisindeki abiotik ve biotik faktörleri doğrudan etkilemektedir. Nehir akımı, su kenarlarında bulunan canlılar için önemlidir. Yatağa bırakılması gereken su miktarı canlı yaşamının yanında nehrin kendi kendini toksik maddelerden temizleyebilmesini sağlamaktadır. Canlı yaşamı için çok önemli olan ince kumların dere yatağına depolanmasını engelleyip balık ve diğer canlı habitatların korunmasına ve üremesine en büyük yardımcıdır. Akan suyun sıcaklığı, nehirde meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik gelişmeyi idare eden çok önemli bir faktördür. Su içerisindeki balıkların yumurtlamasını, göç etmesini ve gelişimini kontrol eder. Sıcaklığın yüksek olduğu durumda sudaki çözünmüş oksijen miktarı az olacak bu da canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmelerini zorlaştıracaktır.

Nehirdeki akan su miktarındaki fazla artış ve azalmalar ekosistemin sürdürülebilirliğini etkilemekte olup, ekolojik debinin belirlenmesinde çok yönlü ve detaylı bir çalışma gereksinimini gözler önüne sermektedir.

Nehirlerdeki ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesi için yurtdışında ve ülkemizde kullanılan bazı yöntem ve yaklaşımlar bulunmakta olup, bu yaklaşımların, nehrin bulunduğu bölgedeki ekosistem ve nehrin su kalitesi ile birlikte ele alınarak değerlendirilmesi ve uygulanması daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar ortaya koyacaktır.

## 2.3 Ekolojik İhtiyaç Debisi İle İlgili Ülkemizdeki Yönetmelik ve Yasalar

Türkiye'de akarsu yapıları ve restorasyon projelerinde mansaba bırakılması gereken su miktarı ile ilgili yasal çerçeve DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 21 Şubat 2015 tarih ve 29274 sayılı Resmi Gazete'de yayınlatılarak yürürlüğe konan "Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik ile belirlenmiştir. Bu yönetmeliğin 14. Maddesi'nde akarsular üzerinde yapımı planlanan nehir tipi santraller (küçük HES) ile diğer su yapılarından (baraj, regülatör, su alma yapı ve sistemleri) mansaba bırakılacak su miktarı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır: "Doğal hayat için dere yatağına bırakılacak suyun miktar ve zamanlaması, kurulacak hidroelektrik enerji üretim tesisleri ile ilgili şirket tarafından hazırlanarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan onay alınacak olan ÇED raporu, Proje Tanıtım Dosyası'nda belirlenir. Ancak, doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı projeye esas alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u olması zorunludur. ÇED raporu sürecinde ekolojik ihtiyaçlar göz önüne alındığında bu miktarın yeterli olmayacağının belirlenmesi durumunda miktar arttırılır. Belirlenen bu miktara mansaptaki diğer teessüs etmiş su hakları ayrıca ilave edilecek ve kesin proje çalışmaları belirlenen toplam bu miktar dikkate alınarak yapılır. Nehirde son on yıllık ortalama akımın %10'undan daha az akım olması halinde suyun tamamı doğal hayatın devamı için mansaba bırakılır."

Mevcut yönetmeliğe göre, Ekolojik İhtiyaç Debisi'nin (mansapta daha önce tesis edilmiş su hakları hariç olmak üzere) asgari, akarsu üzerindeki su yapısının yer aldığı kesitteki son 10 yıllık günlük akımlar ortalamasının %10'undan daha az olamayacağı (Tennant Metodu asgari ekolojik statü durumu karşılığı) hükmü getirilmiştir.

Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, her bir alanın kendine özgü şartlarını göz önünde bulundurarak, nehirde yaşayan sucul canlıların koruma statüleri, projenin özellikleri kapsamında değerlendirme yapmakta ve her nehrin kendi akış rejimi çerçevesinde kurak ve yağışlı periyotları belirlemekte; Tennant Metodu'nu baz alarak belirli bir yüzde oranında suyun bırakılmasını öngörmektedir.

## 2.4 Ekolojik İhtiyaç Debisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Bir akarsu için ekolojik debi analizi, ekolojik durumu sürdürebilmek üzere akarsuyun normal akım rejiminin belli bir su yapısı mansabında akarsuyun kendisi ve taşkın yatağında ne oranda muhafaza edileceğinin ortaya konması olarak ifade edilebilir (TÜBİTAK MAM, 2010). Herhangi bir yüzeysel su kaynağının ekolojik debisinin belirlenmesinde kullanılan 200'den fazla yöntem bulunmaktadır (Tharme, 2003). Dünya genelinde ekolojik debinin belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler;

- Hidrolojik Yöntemler (Tennant ve İstatistiksel Bazlı Hesap Yöntemleri)
- Hidrolik Yöntem (Islak Çevre Yöntemi)
- Habitat Benzeşimini Esas Alan Yöntemler (IFIM)
- Bütünleşik Yöntemler
- Diğer Yöntemler

### 2.4.1 Hidrolojik yöntemler

Ekolojik ihtiyaç debisi analizinde en yaygın olarak kullanılan Hidrolojik Yöntem Tennant veya Montana Yöntemi'dir. Tennant Yöntemi, Tennant tarafından Montana Bölgesi'ndeki nehirlerin akım ve ekolojik verileri esas alınarak geliştirilen ve "Montana Yöntemi" olarak da anılan bir ekolojik ihtiyaç debisi hesap tekniğidir. Tennant, Montana, Nebraska ve Wyoming'deki 11 akarsu üzerinde seçilen 58 istasyonda (enkesit) elde edilen akım ve sucul ekosistem gözlem sonuçlarından hareketle geliştirilen ekosistemin devamının sağlanması için gerekli olan debinin, yıllık ortalama debinin yüzdesine bağlı kalarak hesaplayan yöntemdir. Söz konusu akarsu enkesitlerinden derlenen detaylı verilerle özellikle balık yaşamının özellikleri karakterize edilmiştir. Bu kapsamda akarsu yatak genişliği, su derinliği, hızı ve sıcaklığı, yatak örtüsü, balık göçleri, balıkçılık, estetik ve doğal güzellikler vb. hususlar incelenmiştir. Tennant bu gözlem ve incelemeleri sonunda akarsudaki akım (debi) ile balık, yaban hayatı ve mesire/dinlenme bileşenleri arasında bir ilişki tespit etmiştir (Mann, 2006). Tennant tarafından bulunan bu ilişki oldukça sınırlı sayıda veri ile akarsulardaki sucul ekosistemin durumunu anlamaya ve test etmeye imkân veren standart bir yöntem halini almıştır. Bu yöntemde sadece akarsuyun ortalama debisi esas alınır ve ortalama debinin yüzdesi cinsinden ifade edilen debilere bağlı olarak

Ocak- Mart ve Nisan-Eylül dönemlerinde akarsuyun doğal ekosistem kalitesi Çizelge 2.1'e göre tanımlanır. Bu suretle atık su deşarjları ile kirletilmemiş temiz bir akarsuda su kalitesi analizi yapan kişiler, sadece mevcut debinin yıllık ortalama yüzdesi olarak miktarı ve içinde bulunulan ayı dikkate alarak sucul ekosistem kalitesi ile ilgili hızlı, kolay ve isabetli bir değerlendirme yapabilmektedirler.

**Çizelge 2.1:** Sucul ekosistem ve mesire maksatlı kullanım için Tennant Metodu'na göre akarsu debileri (Tennant, 1975).

| **Nehir Ekosistemi İçin Kalite Sınıfı** | **Yıllık Ortalama Akımın Yüzdesi Olarak Akarsu Debisi** | |
|---|---|---|
| | **Ekim-Mart** | **Nisan-Eylül** |
| Mükemmel | 40 | 60 |
| Çok İyi | 30 | 50 |
| İyi | 20 | 40 |
| Orta | 10 | 30 |
| Kötü veya asgari | 10 | 10 |
| Çok kötü | 0-10 | 0-10 |

Tennant Yöntemi, ekolojik ihtiyaç debisine göre ekosistem kalitesinin garanti edilip, izlendiği standart bir metottur. Kullanımı ve takibi çok basit olup, fazla emek, zaman ve mali yatırım gereksinimine ihtiyaç duyulmamaktadır. Kullanımı basit olan bu yöntemin bölgesel şartlara göre revize edilmeden doğrudan kullanılması önerilmemektedir. Tennant tarafından önerilen iki dönem, akarsu havzasının yer aldığı iklim ve coğrafi şartlara göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin Oklahoma Nehri Havzası'nda yapılan araştırmalar (Orth ve Maughan, 1981), Tennant Yöntemi'ndeki dönemlerin Temmuz-Aralık ve Ocak-Haziran olarak ayrılmasının sucul ekosistem kalitesinin izlenmesi bakımından daha anlamlı olduğunu tespit etmişlerdir (URL-3). Ayrıca, akarsuyun kalitesi açısından izlenmesi ve kontrolü amacıyla üzerinde değerlendirmeye imkan tanımayan tek bir ekolojik ihtiyaç debisi tanımlayan Tennant

Yöntemi'nin uygulanmasının çok da kolay ve uygun olmadığı özellikle eğimi %1'den büyük akarsular içinde ancak koruma maksatlı olarak ve ihtiyatla kullanılabileceği belirtilmektedir (Mann, 2006).

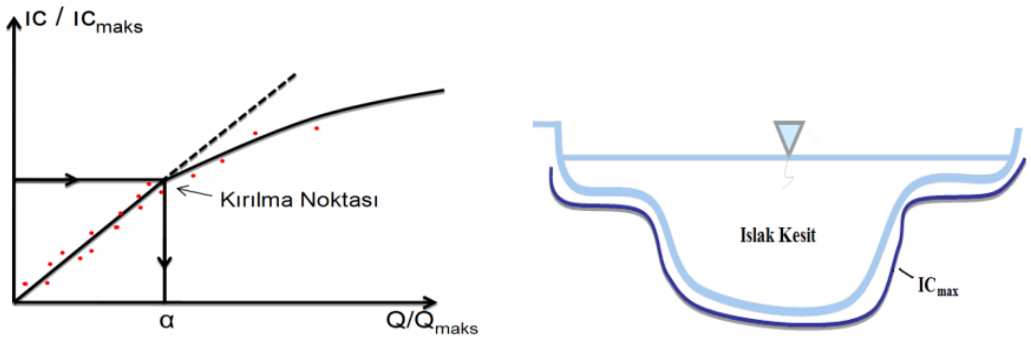
Ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir yaklaşım ise günlük akımların debi süreklilik çizgisine bağlı olarak belli bir aşılma ihtimaline karşı gelen günlük akım değerinin ekolojik ihtiyaç debisi olarak esas alınmasıdır. İngiltere ve Avustralya'nın da bulunduğu bazı ülkelerde aşılma ihtimali %5 olan veya zamanın %95'inde akarsuda mevcut olan debi (Q95); Brezilya, Kanada ve İngiltere (bazı havzalar) zamanın %90'ında akarsuda mevcut günlük debi (Q90) ve çoğu Avrupa ülkesinde ise zamanın %99'unda akarsuda mevcut günlük debi (Q99) ekolojik ihtiyaç debisi olarak esas alınmaktadır. Aşılma ihtimali %10 olan yedi günlük minimum debi de (7Q10), Brezilya ve bazı ülkelerde EİD olarak kullanılmaktadır (TÜBİTAK MAM, 2010).

Tennant Yöntemi dışında kullanımı kolay olup, güvenilirliği az olan ABF Metodu'nda (Aquatic Base Flow Metodu) ise önce aylık ortalama debi değerleri bulunur. Daha sonra aylık ortalama debisi minimum olan ay belirlenir. Bu aya ait aylık ortalama debi ABF Metodu'na göre minimum ekolojik ihtiyaç debisi olarak tanımlanır. Bu yöntemde balıkların yumurtlama ve kuluçka devri süresince ilave suya ihtiyaç duymayacakları varsayılmaktadır (King ve diğ., 1999).

Türkiye'de bulunan akarsuların mevsimlik debileri çok geniş aralıklarda değişim göstermekte olup eğimleri %1'in üzerindedir. Bu nedenle, koruma maksatlı dahi olsa akarsuyun bulunduğu havza, iklim, ekosistem, su kalitesi, sosyo ekonomik yapı vb. faktörler ışığında değerlendirilmeden akarsu için birebir Tennant Yöntemi'nin uygulanmasının doğru olmadığı bilinmektedir. DSİ tarafından 2009 yılında çıkarılan yönetmelikte, Türkiye'deki küçük hidroelektrik santrali projelerinde son on yılın günlük akımları üzerinden hesaplanan yıllık ortalama akımın en az %10'unun ekolojik ihtiyaç debisi olarak mansaba bırakılması öngörülmektedir. Bazı projelerde mevsimsel değişiklik göz önüne alınmamış olup, Aralık ve Ağustos aylarındaki EİD'nin aynı olacağı kabul edilmiştir.

### 2.4.2 Hidrolik yöntemler

Ekolojik ihtiyaç debisi hesaplanmasında hidrolik yöntemler arasında en fazla kullanılan yöntem ıslak çevre yöntemidir. Bu yöntemde, nehir yatağının genişleyerek su hızının ve derinliğinin düştüğü noktalardaki kritik kesitlerden yararlanılarak debi ile ilişki kurulur (Şekil 2.2). EİD, kritik kesit için üretilen boyutsuz Islak Çevre (IC/ICmaks) ve debi (Q/Qmaks) grafiğindeki doğrusallıktan sapma noktasına karşı gelen kritik debi olarak tanımlanır (Gönenç ve Karakaya, 2006).




**Şekil 2.2:** Islak çevre( IC/ICmaks) ve debi (Q/Qmaks) grafiği (Karakaya, 2006)

Islak çevre yöntemi, canlıların yaşam alanını temsil eden önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemin, çok kapsamlı bir alan çalışmasını gerektirmemesi, kullanımının kolay olması ve hızlı bir hesaplama yapmaya olanak sağlaması gibi avantajları vardır. Bununla birlikte metot ile sadece minimum çevresel su ihtiyacı hesaplanabilmektedir. Nehirden su çekilmesi durumunda ekosistemin nasıl etkileneceği ve bu etkinin şiddeti ve büyüklüğü belirlenememektedir. Belirlenen EİD'nin akarsu ekosistemindeki canlıların ihtiyacını karşılayıp karşılayamayacağını görmek için ikinci bir aşamada kontrol ve değerlendirme yapılması önerilir. Akarsu ekosisteminde yer alan önemli ve korunması gereken türdeki canlıların gerekli yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için akarsu hızı ve derinliği baz alınarak bir değerlendirme yapılmalıdır. Ender türlerin ve önemli canlıların belirlenmesi aşamasında literatür taramasından yararlanılabilinir. Canlılarla ilgili herhangi bir literatür çalışması yok ise tür tespiti için gerekli arazi ve izleme çalışması yapılmalıdır. Akarsu ekosisteminde yer alan korunması gereken canlı türleri belirlendikten sonra bu canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebileceği su derinlikleri ve su hızları belirlenir. Daha sonra ıslak çevre metodu ile hesaplanan EİD'ye karşılık gelen su hızı ve su

derinliği o kesite ait anahtar eğrisinden yararlanılarak hesaplanır (Karakaya, 2006). Elde edilen sonuçlar akarsu ekosisteminde yer alan canlıların gereksinimleri ile karşılaştırılır ve buna göre aylık veya mevsimsel olarak EİD belirlenir.

### 2.4.3 Habitat benzeşimini esas alan yöntemler

Habitat benzeşimini esas alan yöntemler içerisinde en yaygın kullanılan yöntem IFIM metodudur. Bu yöntem nehirlerdeki su seviye değişikliklerinin ekosistem üzerindeki etkilerini gösteren ve su kaynaklarının yönetilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Nehirdeki suyu basamak basamak arttırıp ve azaltıp, nehir havzasının değişik yerlerinde gözlenebilen habitat koşullarının, istenilen balık ve diğer organizmaların yaşamlarının sürekliliği için yeterli olup olmadığını saptamak amacıyla yapılan bir modellemedir. Bu modelde su kaynağının bulunduğu alan üç ana bölümde ele alınır. Bunlar, Makrohabitat (Nehrin bulunduğu havza, yeşil bitkiler, su kalitesi), Mesohabitat (Nehrin yapısı, eğimi, kanal ve baraj olup olmadığı) ve Mikrohabitattır (Nehrin içerisindeki su seviyesi, yosunlar, kumlar, taşlar, balıklar).

İnsan etkileri sonucu nehir ekosisteminde beş ana konuda değişiklikler gözlenmektedir (EPA, 2012). Bunlar debi, su kalitesi, nehrin yapısı, besin kaynağı ve nehir içerisindeki ekosistemdir.

- **Debi**

Nehrin bulunduğu yerdeki kuraklık, nehirdeki su hızı ve derinliği, nehre olan deşarjlar, taşkın sıklığı ve büyüklüğü gibi durumlarda nehrin debisi değişkenlik gösterecektir. Örneğin, nehirlerdeki suyun derinliği, hızı, suyun sıcaklığı sudaki çözünmüş oksijen miktarı ve suyun temizliği uygun ise balıkların çoğunluğu yumurtalarını deredeki göllerin aşağısındaki dalgalı, pürüzlü yerlerde depo ederler. Su hızının herhangi bir şekilde düşmesi toprak ve katı madde sedimantasyonunun artmasına bu da nehir içerisinde yaşayan balıkların yumurta alanlarının kaplanmasına sebep olup beslendiği habitatı yaşanmaz hale getirir (Stalnaker ve diğ., 1995).

- **Habitat (Yaşam Alanı)**

Canlıların yaşamını sürdürdüğü, beslendiği, büyüdüğü ve uyum sağladığı alana yaşam alanı denir. Canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için bulunduğu ortama uyum sağlarlar. Bu nedenle her canlı türünün habitatı aynı değildir. Nehrin yapısı da yaşam alanını

oluşturan temel yapılardan biridir. Örneğin bir nehirde eğim fazla ve çağlayanlar var ise biyolojik çeşitlilik ve balık çeşitliliği az olur, bol miktarda alüvyal malzeme taşınır (kum, silt). Eğimin az olduğu menderes tarzı nehirlerde ise balık çeşitleri artar ve kıvrım bölgelerinde planktonlara rastlanır. Nehirlere bağlanan küçük kollardaki su azalmaları nehirde yaşayan canlı türlerinin azalmasındaki en büyük sebeptir (EPA, 2012).

- **Su kalitesi**

Suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimler su kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. İnsan müdahalesi sonucu su seviyelerindeki azalışlar suyun sıcaklığının artmasına kil, kum gibi malzemelerin taşınamamasına bunun sonucunda da çözünmüş oksijenin azalmasına neden olacaktır. Sudaki çözünmüş oksijen balıklar için hava gibidir. Dolayısıyla ana akış veya minimum su akışı deredeki suyun kalitesi nehir ekosisteminin devamlılığının sağlanabilmesi için çok önemlidir (Stalnaker ve diğ., 1995).

- **Besin zinciri**

Su içerisindeki balıklar için organik madde, karasal ve sucul omurgasızlar önemli besin kaynağıdır. Bu omurgasız canlılar (böcekler, kabuklular, solucanlar) farklı nehir yapıları ve su hızlarında çeşitlilik göstermektedir.

- **Biyolojik çeşitlilik ve etkileşim**

Nehir ekosisteminde bölgenin şartlarına göre çeşitli flora ve fauna bulunmaktadır. Su seviyesindeki değişmeler havza içerisindeki ender türlerin yaşam şartlarının değişmesine neden olacaktır. Örneğin; bir leylek balıkla besleneceğinden su seviyesindeki azalmanın balıkların yaşam şartlarını bozması o alan içerisinde ender bir tür olan leyleklerin yaşamlarını sağlıklı devam ettirmelerine engel olacaktır.

Ekosistemin değişikliğinin birçok etkene bağlı olması bu metot için 4 çeşit modelin kullanılmasına (habitat, hidrolojik, biyolojik ve su kalitesi modeli) ve bu modeller arasındaki ilişkilerin ne şekilde değiştiğinin incelenmesini zorunlu kılmıştır (Stalnaker ve diğ., 1995).

Hidrolik modelde balık habitatı için çok önemli olan değişkenler olan suyun derinliği ve suyun hızı, balık için düşmanlarına karşı korunma yerleri ve de su ile kaplı kalan

dere yatağının özellikleri, değişik akışlar için değişik dere yan kesitlerinde ölçülür ve gözetlenir.

Biyolojik model, balık cinslerini derenin çeşitli yerlerinde gözlemekle geliştirilmiştir. Ne çeşit bir derinlik, suyun hızı, hangi balıklar için ve de diğer canlılar için ne gibi saklanma yerlerinin mevcut olduğunu ve derenin sulu kalan yatağını oluşturan kum ve diğer maddelerin yani sedimantasyonun hangi cinslere ne kadar uygun olduğunu inceler.

Hidrolik model ile biyolojik model habitat metodunu oluşturur. Derinlik, hız, sulu dere yatağı ve saklanma yerleri olarak özetlenen habitatın değişik su akışları sonucunda her çeşit cinslere ve onların değişik zamanlardaki hayat yaşamlarına (yumurta halinde, iki aylık, bir senelik ve yetişkin cinslere) etkisi gözlemlenir.

Su kalitesi canlılar açısından çok önemlidir. Her canlının su kalitesinin değişikliklerine belirli toleransları mevcuttur. Su kalitesi modelinde, akarsuya gelen yan kol bağlantıları, bu bağlantılara yapılan deşarjlar, akarsuyun su temini amacı ile kullanılıp kullanılmadığı vb. faktörler dikkate alınarak akarsuyun kalitesi izlenir. Su kalitesi ekosistemi kısa sürede tahribata uğratabilir. Örneğin, suyun sıcaklık ve pH değeri yükseldiğinde çözünmüş oksijen oranı ve amonyağın içerisindeki amonyum iyonu azalacaktır. Bunun sonucunda da çözünmüş amonyak gazı oranı artacaktır. Amonyak gazı, bazı sucul organizmalar için zehirlidir. Bu durumda, gün içinde sıcaklık artması ve pH yükselmesi, canlılar için amonyak açısından olumsuz koşullar doğuracaktır (Ertürk, 2013).

Bu 4 model birbiri içerisinde ilişkilendirilip gerekli olan EİD belirlenir. IFIM metodunun verimli bir şekilde uygulanması için teknik altyapının bulunması ve çalışma süresinin 2-5 yıl arası olması gerekmektedir. Metodun dezavantajları bütünsel bir akarsu ekosistemi üzerinde odaklanma gerçekleştirmeyip ender ve belirli türler açısından değerlendirme yapmakta ve gelişmiş teknik altyapıya ihtiyaç duymaktadır. Ülkemizde böyle bir uygulama ve çalışma şu ana kadar yapılmamıştır.

### 2.4.4 Bütünleşik yöntem

Ekolojik ihtiyaç debisinin hesaplanmasında nehir ekosisteminin devamlılığının sağlanması için belirli türlerdeki canlılar açısından değerlendirmenin yapılması yerine bütünsel bir ekosistem yaklaşımının daha iyi olacağı belirtilmiştir (URL-4).

Bütünleşik yöntem, ekosistem bileşenleri, nehir kıyı ekosistemi (kurbağalar, sürüngenler, kuşlar, memeliler) jeomorfoloji, hidrolik habitat, su kalitesi, nehir kıyısı ve sucul bitki örtüsü, makroomurgasızlar, balık ve diğer omurgalıları içerir (Şekil 2.3). Bu bileşenler saha ve masaüstü yaklaşımlarla farklı uzmanlar tarafından değerlendirildikten sonra olması gereken akış gereksinimi EİD olarak belirlenir. Değerlendirme yapılırken farklı senaryolar üzerinden bileşenlerin ne şekilde etkileneceği ortaya konur. Akarsu debisinin değişken akımlarında taban malzemesi taşınımının ne şekilde olacağı, farklı ıslak kesit değişiminde canlı türlerinin yaşamsal faaliyetlerinin ne şekilde değişeceğinin değerlendirilmesi basit senaryolardır.

**Şekil 2.3:** Bütünleşik Yöntem

**Çizelge 2.2:** İhtiyaç debisinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

| Hidrolojik Yöntem | Hidrolik Yöntem | Habitat Benzeşimini Esas Alan Yöntem | Bütünleşik Yöntem |
|---|---|---|---|
| *Basit, hızlı, ucuz ve fazla saha çalışması gerektirmez.<br>*Düşük veri ihtiyacı vardır. Akım değerleri yeterlidir.<br>*Su kaynaklarının planlamasının yapılması için uygundur.<br>*Düşük tartışma gerektiren, ekosistem ve etki alanı açısından düşük seviyelerde olan farklı nehir ekotipleri için uygundur. | *Basit, hızlı, ucuz ve fazla saha çalışması gerektirmez.<br>*Düşük veri ihtiyacı vardır. Akım değerleri yeterlidir.<br>*Islanmış çevre ele alındığından ekosistem ve canlılar açısından sınırlıdır.<br>*Düşük tartışma gerektiren, ekosistem ve etki alanı açısından düşük seviyelerde olan farklı nehir ekotipleri için kullanılabilir. | *Farklı türler için alternatif akış senaryoları oluşturulabilinir.<br>*Gelişmiş teknik ve altyapı gerektirir.<br>*Tüm ekosistem değerlendirilmez, hedef türlere odaklanılır.<br>*Bazı ekosistem bileşenleri için geçerli değildir.<br>*Uzun zaman alır ve saha çalışması gerektirir. | *Değişik ekolojik ve sosyal koşullara göre alternatif çevresel akış senaryoları oluşturulur.<br>*Mali açıdan yüksek kaynak ihtiyacı gerektirir.<br>*Tüm ekosistem değerlendirilir.<br>*Farklı uzman görüşlerine dayanır. Takım çalışmasıdır.<br>*Uzun zaman alır ve saha çalışmasını gerektirir. |

# 3. ARAÇLAR VE YÖNTEM

Bir akarsudaki su kalitesi ile hidrolik ve hidrolojik özellikler arasında çok yakın bir ilişki vardır. Akarsu debisi bu ortamlara verilen kirleticilerin seyreltilmesi ve taşınmasını sağlayarak, ortamlarda meydana gelecek kirletici birikimlerini birinci derecede etkilerler (Akve diğ., 2008). Bu nedenle akarsularda ekolojik debi belirlenirken, su kalitesi, canlılık için önemli olan mikrohabitatlar ve hidrolik veriler dikkate alınmalıdır.

## 3.1 Su Kalitesi

Su kalitesi canlılar açısından çok önemli olup su kalitesinin bozulmasının hem anlık hem de uzun dönemli etkileri vardır. Dolayısıyla su kalitesinin hem mevsimsel gidişatı hem de gün içindeki değişimleri önemlidir (Ertürk, 2013).

Akarsulardaki suyun kalitesi suda bulunan toksik maddeleri ve diğer kirletici maddelerin etkilerini ortadan kaldıracak veya asgariye indirebilecek miktarda olmalıdır. Akarsularda iyi bir minimum su miktarı akıyorsa; havuzlarda bulunan toksik maddeler kendini temizleyebilir veya bu maddelerin etkileri asgari düzeye indirilebilir.

Biyolojik çeşitliliğin fazla olması nedeniyle havuzlarda su kalitesi kritiktir. Günlük su kalitesi salınımlarının canlı türlerinin tolere edebilecekleri durumda olması için gerekli minimum debi belirlenmelidir (Ertürk, 2013).

### 3.1.1 Sıcaklık

Suyun sıcaklığı, akarsuda meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik gelişmeleri yöneten çok önemli bir faktördür. Akarsu için gerekli EİD'nin yeteri kadar olmaması su sıcaklığını arttıracaktır. Bu durumda sıcak sulara karışan kirletici maddelerin parçalanması, soğuk sulara göre daha hızlı olacak, ortamdaki oksijen miktarının da daha hızlı tüketimine neden olacaktır. Ortamdaki oksijen miktarının azalması, besin maddesi birikimi devamında ötröfikasyona giden olumsuz koşulları doğuracaktır. Su

debisinin az olduğu durumlarda meydana gelen ötrofikasyon fazla miktarda oksijene ve temiz sulara ihtiyaç gösteren balıkları ve planktonları olumsuz etkilemekte, planktonların nicel ve nitel yapısı değişebilmekte, sonuçta akarsu ekosistemi olumsuz etkilenebilmektedir (Kurdoğlu ve Özalp, 2010).

Sıcaklığın arttığı dönemlerde buharlaşma artacağından dolayı o dönemde akım değerlerinde de düşmeler oluşacaktır. Su sıcaklığının gün içinde salınım göstermesi, sistemin debisi ve herhangi bir parçasındaki akımın düşmesi, gece ve gündüz arasındaki hava sıcaklığı farkından dolayı sıcaklık salınımının genliği artacaktır. Başka bir söylemle akarsuyun su sıcaklığını "tamponlama" kapasitesi düşecektir (Ertürk, 2013).

Suda yaşayan bazı balık türleri belirli sıcaklıklarda yumurta verirler. Su sıcaklığının artması bazı balık türlerinin üreme faaliyetlerini de etkileyecektir.

### 3.1.2 Çözünmüş oksijen

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, su içerisinde gerçekleşen biyolojik faaliyetlerde ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılmasıyla değişmektedir. Atmosferde varolan oksijenin suya yeniden kazandırılma işlemi havalandırma olarak ifade edilmektedir. Meydana gelen çeşitli nedenlerle akarsularda oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliği ekosistemi tehdit etmektedir. Bu tehdidin ortadan kaldırılması ve ekolojik dengenin korunabilmesi için akarsularda gerekli olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu sağlanmalıdır. Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması gerekmektedir. Hava kabarcıklarının geniş yüzey alanı kütle transferinin önemli miktarda artmasına yol açmaktadır. Bu sayede suya transfer edilecek oksijen miktarı da artış gösterecektir. Havalandırma işlemi, suyun çözünmüş oksijen miktarının hızlı bir şekilde arttırılmasında önemli yer tutmaktadır. Akarsularda, çözünmüş oksijen miktarının ekosistemin devamlılığı için gerekli olan düzeyde bulunması akış hızının mevsimsel ve aylık değerlerde belirlenmesine bağlıdır. Akış hızı ve akarsuda oluşan türbülansa bağlı olarak çözünmüş oksijen kazanma hızı artacaktır.

Özellikle fitoplanktonların yoğun olduğu akarsu sistemlerinde, gündüz fotosentez solunuma göre daha baskın olmaktadır. Gece ise bu durumun tersi geçerlidir. Buna göre, gündüz sistemdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu yükselecektir. Fotosentez

nedeniyle sistemden karbondioksit de çekileceği için pH'da yükselecektir. Gece ise solunum nedeniyle sisteme karbondioksit verileceği için çözünmüş oksijen ve pH'nın düşmesi beklenmektedir (Ertürk, 2013). Çözünmüş oksijen miktarı günün 24 saatlik döneminde değişme gösterir. Sabah güneş doğuşunda en az olan oksijen miktarı, öğleden sonra en fazla olup tedricen sabaha kadar azalır. Oksijen miktarındaki dalgalanmalar plankton gelişimi yoğun debili ve daha derin akarsularda daha barizdir. Fotosentez olayı ile havuz derinliği arasında ters bir ilişki bulunur. Derinlik arttıkça fotosentez olayı yavaşlar ve oksijen üretimi azalır.

Akarsularda organizmalar tarafından tüketilen oksijenden fazla oksijen gelmez veya fitoplanktonlar tarafından üretilmez ise oksijen yetersizliği ortaya çıkar. Bu durumda su kalitesinde ve akarsu sisteminde dengesiz koşullar ortaya çıkar. Çözünmüş oksijen miktarının düşük olması, balıkları öldürmese bile onların parazitlere ve hastalıklara dayanma gücünü azaltır. Bütün balıklar 5 mg/L ve üzerinde çözünmüş oksijen derişimine ihtiyaç duyarlar (Pulatsü, 2010).

Çözünmüş oksijen düzeyi düşük olan sularda karbondioksit derişiminin yüksek olması da oksijenin kullanımını sınırlandırır. Akarsularda karbondioksit miktarı sudaki solunum ve fotosentez olaylarıyla yakından ilgilidir. Genellikle, karbondioksit derişimi geceleri artar ve gündüzleri azalır. Havuzlardaki fitoplanktonların ani ölmeleri, ısı tabakalarının bozulması ve bulutlu havaların uzun sürmesi halinde sularda karbondioksit miktarı ani olarak artar ve oksijen düşer.

Akarsuların deşarj noktası olarak kullanıldığı bazı su kaynaklarında atıksuların yüksek BOİ içermesi de ortamdaki çözünmüş oksijenin tüketilmesine neden olacakır. Bu nedenle akarsuların kirlilik yükleri dikkate alınarak gerekli olan EİD'nin belirlenmesi çok büyük önem arz etmektedir.

### 3.1.3 pH

Sularda hidrojen iyonu derişiminin ölçüsü olan pH, suyun asidik veya bazik olup olmadığını göstermektedir. Sularda pH 0-14 arasında değişir. Suların pH'sı karbondioksit ve asidik maddelerden büyük ölçüde etkilenir. Fitoplankton ile sudaki diğer bitkiler fotosentez sırasında sudaki karbondioksidi kullandıklarından suların pH değerleri gündüzleri yükselir geceleri ise düşer.

Su kalitesi sınıflandırmasına göre kaliteli sularda pH değerinin 6,5-8,5 arasında olması

gerektiği öngörülmektedir. Bu açıdan akarsulardaki pH değerleri, zaman zaman içme ve kullanma suları kriterlerindeki kritik değer olan 8,5'un üzerine çıkmaktadır. Kirlenmiş tatlı suların pH'ı geniş ölçüde değişiklik gösterir. Bir suyun pH'sı suda çözünmüş olarak bulunan karbonat, bikarbonat ve serbest $CO_2$ derişimine bağlıdır. Bu maddeler doğal suların başlıca tampon maddeleridir. Sulardaki bazların toplam derişimi, kalsiyum karbonat değeri olarak (mg/L) toplam alkaliliği ifade eder. Doğal sulardaki başlıca bazlar, karbonat ve bikarbonatlardır. Toplam alkalinitesi 20-150 mg/L arasındaki sular fitoplankton gelişmesine yeterli yararlanabilir karbondioksit ihtiva ederler. Alkalinitesi düşük suların pH değişimlerine karşı aktiviteleri zayıftır ve karbondioksidin sudan uzaklaşması hızla pH'nın yükselmesine sebep olur. pH doğal sularda kimyasal ve biyolojik sistemler için en önemli faktördür. pH değişiklikleri ile zayıf asit ve bazlar ayrışabilir. Bu ayrışma etkisi birçok bileşiğin zehirliliğini etkiler. Hidrojen siyanür örneğinde olduğu gibi pH düştüğü zaman siyanitin balığa zehirliliği artar, hidrojen sülfürde de benzeri etki gösterir. pH'daki hızlı artışlar $NH_3$ zehirlilik etkisini artırabilir. Örneğin, amonyak, pH, 8.0'de 10 kat daha zehirlidir (Pulatsü, 2010).

Su kütlesinde pH seviyesi, yalnızca mevsimlere göre değil, aynı zamanda günün ve gecenin değişik zamanları süresince de değişir. Çoğu balık ve fitoplankton 5.0 ile 9.0 arasında pH derecelerine tolerans gösterebilir. Daha düşük ve yüksek pH'larda yaşamsal faaliyetleri tehlikeye girer (Pulatsü, 2010).

### 3.1.4 Amonyak, amonyum ve türevleri

Amonyak doğal sularda genellikle amonyum azotu ($NH_4^+$) halinde bulunur ki buna serbest veya tuz halindeki amonyak da denir. Sularda amonyak, kimyasal, fiziksel olaylar veya mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oluşur. Mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oluşan amonyak organik madde kaynaklı olma ihtimali bakımından tehlikelidir.

Sulara, balıkların metabolizma ürünü olarak ve organik maddelerin parçalanması sonunda giren amonyak azotu sularda iyonize olmuş veya iyonize olmamış formlarında bulunur. Suda amonyak türevleri amonyum iyonu ve çözünmüş amonyak gazının toplamıdır. Sıcaklık ve pH yükseldikçe toplam amonyağın içindeki amonyum iyonu azalmakta ve çözünmüş amonyak gazı oranı artmaktadır. Amonyak gazı, bazı

sucul organizmalar için zehirlidir. Bu durumda, gün içinde sıcaklık artıp pH da yükselince canlılar için amonyak açısından olumsuz koşullar gelişebilmektedir. Akarsu debisinin azaldığı durumlarda bu etki daha fazla artmaktadır (Ertürk 2013).

Nitrit ($NO_2^-$), nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonlarında ara ürün olduğundan sularda amonyak ve nitrata göre daha düşük oranlarda bulunur. Nitrit kirlenmesi endüstriyel sanayi atıksularıyla ve gübrelerle gelen amonyağın nitrifikasyonu sonucunda da meydana gelebilir. Nitrit balıklarda hemoglobini kahverengi methemoglobine dönüştürerek oksijen transferini engeller ve balıkların zehirlenmesine sebep olabilir. Nitrit zehirlenmesi ortamın klor, pH ve kalsiyum derişimlerine bağlı olarak da değişmektedir.

Amonyumun çözünmüş oksijen ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkan nitratlar ($NO_3^-$) suya topraktan veya endüstriyel atıksulardan geçmiş olabilir. Fakat sudaki nitratlar amonyak ve nitritten kaynaklıysa tedbir alınmalıdır. Çünkü atıksulardan kaynaklı nitritlerin mevcudiyeti suda kirlenmeyi ifade eder. Nitritler yüksek miktarda organik madde ile bulunursa daha büyük bir kirlenme söz konusudur.

Bu azot türleri alıcı ortama aşırı miktarlarda verildiklerinde organizmalar tarafından kullanılırlar. Bu alıcı ortam içerisinde ötrofikasyona (alg patlaması sonucu oksijen azlığı) sebep olur. Biriktirme haznelerinde alg patlamasını önlemek için hazneye giren N, P, C konsantrasyonlarını azaltmak ve ışığı kontrol etmek gerekmektedir (URL-5).

### 3.2 Hidrolik Veriler

Akarsu akış hızı ve fiziksel özellikleri biyoçeşitliliği ve oluşacak akarsu ekosistemini şekillendirmektedir. Akarsuyun eğimi, akış hızı, akarsu enkesiti ve uzunluğu birçok bitki ve hayvan türünün yaşam alanını oluşturmada etkilidir. Akış hızının azaldığı noktalarda akarsuda birikmeye başlayan sedimentler, balık ve diğer canlılar için önemli olan yaşama ve üreme bölgelerinin ortadan kalkmasına sebep olmaktadır. Su hızının yavaş olduğu durumlarda ince toprak sedimantasyonu balık yumurtalarını kaplayarak, balık yumurtalarının oksijen ihtiyacını azaltmakta ve yumurtaları öldürmektedir.

Bir akarsuda eğim kesintileri ve çağlayanlar varsa biyolojiik üretim ve çeşitlilik az olur. Yatak eğiminin fazla olduğu yerlerde bol miktarda alüvyal malzeme taşınacak ve mekanik aşındırma daha fazla olacaktır. Bu durumda akarsuda bulanık bir görünüm

oluşmasına sebep olup, çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltacak ve canlılar için olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Eğimin azaldığı ve akış hızının yavaşladığı yerlerde sediment konsantrasyonu daha fazla olacak olup plankton popülasyonu da artacaktır.

Akış hızı, akarsu yatağının her bölümünde farklıdır. Çünkü hıza etki eden eğim, bitki örtüsü, yatak genişliği ile birlikte akarsu boyunca sürekli değişmektedir. Akarsuyun akmış olduğu yatağın genişlemesi suların daha geniş bir alana yayılmasına neden olduğu için akarsuyun akış hızında ve su derinliğinde bir azalmaya neden olacaktır. Akış hızının azalmasıyla da sediment hareketleri azalacaktır. Akarsu yatağının enkesiti, aşındırmayı ve dolayısıyla hızı etkileyecektir. Yatak enkesit genişliğinin fazla olduğu noktalarda sediment taşınma hızı, su derinliği ve su hızı azalacaktır. Bu nedenle, ekolojik ihtiyaç debisi ile ilgili gerçekleştirilen hidrolik analizlerde akarsu boyunca en geniş olan enkesit kritik enkesit olarak ele alınıp, çalışmalar bu kesit üzerinde gerçekleştirilir.

### 3.3. Mikrohabitat

Mikrohabitat, farklı bir flora ve faunayı destekleyen çok küçük ve özel yaşam alanıdır, ekosistemin en küçük parçalarından biridir. Örneğin, akarsudaki fitoplankton çeşitliliği, taşlar, kumlar, akarsu kenarları gibi alanlar birer mikrohabitattır.

Akarsular, balıkların ihtiyaç duydukları beslenme, çoğalma ve avcılardan korunmak için gerekli olan çeşitli habitatları sağlamaktadır. Akarsuların, sulama, enerji, balık yetiştiriciliği gibi faaliyetlerde kullanılması sonucunda habitatlar tahrip olmaktadır. Balık popülasyonları da bu habitat kaybına çok duyarlıdırlar. Balık çeşitliliğini ve bolluğunu belirleyen bir mikrohabitat çeşitliliği zamansal ve bölgesel farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, akarsular çevrelerindeki karasal ekosistemlerden de etkilenmektedir. Akarsu balıkları genellikle hayatta kalma ve büyüme oranlarını maksimum hale getirecek karakterlere sahip mikrohabitatları seçmektedir.

Akarsu kenarlarındaki toprak, bitki çeşitliliği ve bazı ağaç türleri su kalitesini etkileyecek hayvan dışkılarını ve kimyasal bazı maddeleri absorbe ederek korudukları gibi yabani hayat için de yiyecek, sığınma ve üreme açısından uygun yerler oluşturmaktadır.

Balıkların akarsudaki bütünlüğü, akarsu ekosistem sağlığını göstermesi açısından önem arz etmektedir. Çünkü bir canlının habitatı onun, varoluşunu, dağılımını, bolluğunu ve diğer organizmalarla olan ilişkilerini etkilemektedir.

Mikrohabitat çalışmalarının yapılması akarsudaki etkileşim ve değişimin anlaşılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, mikrohabitatların özelliklerinin belirlenmesi o bölgenin canlı çeşitliliğinin anlaşılması, yaşam alanlarındaki değişimin daha iyi analiz edebilmesini sağlar. Bu bağlamda mikrohabitatların anlaşılması ve korunması bulunduğu ekosistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından önem arz etmektedir (URL-6).

# 4. MODEL KULLANIMI VE YAPISI

Ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesi amacı ile su kalitesi ve hidrolik denklemlerin çözülmesi çok zaman almaktadır. Ayrıca değerlendirme aşamasında elle yapılan çalışmalar hata payını da arttırmaktadır. Birçok modelleme yazılımının değerlendirme aşamasına kısa sürede ulaşamaması ve analizlerle ilgili kaba sonuçların çabuk elde edilme talebi, SİSMOD modelinin tasarlanıp geliştirilmesini ortaya çıkarmıştır.

Modelde yapılan kabuller ve modelin kararlı durum modeli olması nedeniyle, su kalitesi kinetiği ile ilgili tüm denklemlerin analitik olarak çözülmeleri mümkün olmuş ve böylece temel denklem çözümlerindeki sayısal hatalardan kaçınılmıştır.

Model, bu çalışmadan önce su kalitesi ile ilgili yapılan farklı çalışmalarda da kullanılmıştır. Bu nedenle istatistiksel ve hidrolik yaklaşımların yanında, su kalitesi açısından değerlendirme imkânı sunarak, daha etkin ve daha doğru bir yaklaşım sunmaktadır. Modelde farklı debi değerleri ve kirlilik yükleri için simülasyon yapılarak alternatif çözüm yolları geliştirilebilmektedir.

Modelin kullanımı, model ağının oluşturulması ve içeriği ile ilgili bilgiler, Ertürk (2009) tarafından hazırlanan Basit Akarsu Modeli Kullanım Kılavuzu'ndan yararlanılarak oluşturulmuştur.

## 4.1 Model Ağı

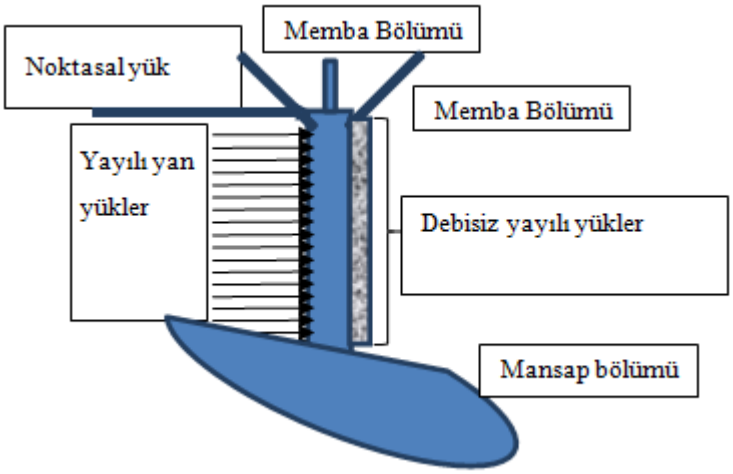
Modelde, bir akarsuyun birçok bölümlerden oluştuğu kabul edilmektedir. Bir akarsu bölümü boyunca,

• Akarsu yatağının enkesiti taban eğimi ve pürüzlülük katsayısı,

• Suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve su yüzeyinin deniz seviyesine göre ortalama kotunun,

• Su kalitesi modeli ile ilgili kinetik özelliklerinin,

değişmedikleri kabul edilmektedir. Bir akarsu bölümünün tüm bileşenleriyle şematik görünümü, Şekil 4.1'de verilmiştir. Model ağında akarsu başlangıç, standart ve akarsu bitiş bölümü olarak üçe ayrılmıştır.




**Şekil 4.1:** Akarsu bölümleri

### 4.1.1 Akarsu başlangıç bölümü

Akarsuyu besleyen kaynakların tanımlandığı bölümlerdir. Başlangıç bölümlerinde debi ve su kalitesi değişkenlerinin tümünün konsantrasyonları tanımlanmalıdır.

### 4.1.2 Memba bölümü

Bir akarsu kesitinde kaynak tarafında kalan akarsu bölümüdür. Akarsu ağında birden fazla memba bölümü bulunabilir.

### 4.1.3 Mansap bölümü

Bir akarsu kesitinin uç kısmında kalan akarsu bölümüdür. Bir akarsu bölümünün sadece bir tane mansap bölümü olabilir.

### 4.1.4 Noktasal yükler

Bir akarsu bölümüne, bölüm başlangıcından giren noktasal yüktür. Noktasal yüklerde, debi ve su kalitesi değişkenlerinin tümünün konsantrasyonları tanımlanmalıdır. Bir akarsu bölümüne yalnızca bir tane noktasal yük kaynağı girebilir ve bu noktasal yük yalnızca akarsu bölümünün başlangıcından bulunur. Bu nedenle akarsu bölümlere ayrılırken noktasal yük girişi olan bölge ayrı bir akarsu bölümü olarak ele alınmalıdır.

### 4.1.5 Debili yayılı yükler

Bir akarsu bölümüne giren yayılı yan girişlerdir. Yayılı yan girişlerde, debi ve simülasyonu yapılan su kalitesi değişkenlerinin tümü tanımlanmalıdır. Yayılı yan girişler, her akarsu bölümü için modele tanımlanmalıdır. Eğer herhangi bir akarsu bölümüne yayılı yan giriş yoksa debisi sıfır olarak tanımlanmalıdır.

### 4.1.6 Debisiz yayılı yükler

Bir akarsu bölümüne giren debisiz yayılı yükler olup $kg.km^{-1}.gün^{-1}$birimindedirler. Debisiz yayılı yükler, her akarsu bölümü için tanımlanmalıdır. Eğer akarsu bölümüne herhangi bir su kalitesi değişkeni ile ilgili debisiz yayılı yük girmiyorsa, bu değişken ile ilgili debisiz yayılı yük sıfır olarak tanımlanmalıdır.

## 4.2 Hidrolik Hesaplar

Su kalitesi parametrelerinin akarsu boyunca değişimlerinin hesaplanabilmeleri için, akım hızı ve derinliklerinin de akarsu boyunca bilinmesi gerekmektedir.

Akım hızları ve derinliklerinin akarsu boyunca ölçülmeleri mümkün olmadığından, hesaplanmaları gerekmektedir. Model kapsamında hız ve su derinliği Denklem 4.1'de verilen Manning formülü kullanılarak hesaplanacaktır. Manning denkleminde V kanaldaki hızı, R ıslak çevre ve J kanal eğimini ifade etmektedir.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Model birçok koldan oluşan akarsu sistemleri üzerinde çalışabilmekte olup,kararlı akımlar için yerel üniform akım kabulüne göre hesap yapan bir hidrolik modül içermektedir.

Model içerisinde akarsu için dört adet kanal geometrisi tanımlanmıştır. Enkesit türü 1 üçgen enkesit, enkesit türü 2 dikdörtgen enkesit, enkesit türü 3 ikizkenar yamuk enkesit, enkesit türü 4 düzensiz enkesittir. Üçgen enkest için kanal şev eğimi metre biriminde Z kolonuna girilmelidir. Dikdörtgen enkesit için, yalnızca taban genişliği metre biriminde B kolonuna girilmelidir. İkizkenar yamuk enkesit için önce kanal

taban genişliği metre biriminde B, arkasından kanal şev eğimi metre biriminde Z kolonuna girilmelidir.

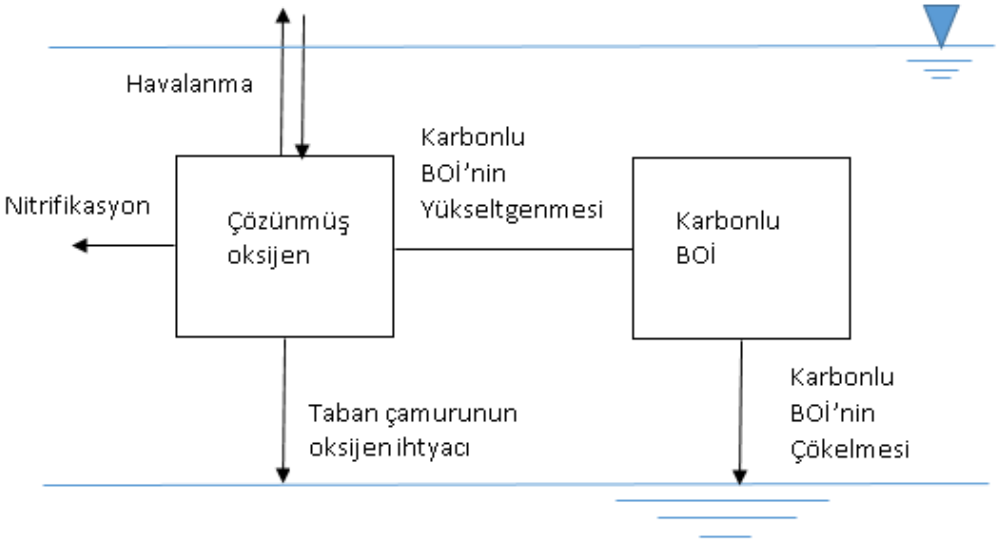
Düzensiz enkesiti oluşturan x,y koordinat çiftlerinin sayısı ve girişlerinin diğer enkesitlerle bir ilgisi yoktur. Modeldeki X ve Y kolonlarına metre cinsinden koordinat değerleri girilir.

### 4.3 Su Kalitesi Hesapları

Model, hem aerobik hem de anaerobik koşullar için çözünmüş oksijen, karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı, organik azot, amonyum azotu, nitrat azotu, organik fosfor ve ortofosfat fosforu değişkenlerinin simülasyonunu yapabilmektedir. Kinetik katsayıların tümünün sıcaklıkla değişimi, Arrhenius denklemi ile ifade edilmekte ve temel sıcaklık olarak 20°C alınmaktadır.

#### 4.3.1 Çözünmüş oksijen

Çözünmüş oksijen ve karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı için kullandığı su kalitesi alt modeli Şekil 4.2'de verilmiştir.




**Şekil 4.2:** Çözünmüş oksijen ve karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı için su kalitesi alt modeli

##### 4.3.1.1 Aerobik koşullar

Çözünmüş oksijen simülasyonu, su kalitesi hesaplarının çoğunun odaklandığı denklemdir (Denklem 4.2). Bu denklemdeki ana değişken, çözünmüş oksijen

doygunluk konsantrasyonunun akarsudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonundan farkı olan çözünmüş oksijen eksikliğidir (D).

$$D = \underbrace{D_0 exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)}_{\text{Kısım A}} + \underbrace{\left\{\frac{K_d}{K_a - K_r}\left[exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\right\} L_0}_{\text{Kısım B}}$$

$$\underbrace{+4{,}57\left(\frac{nitr_{1,2} nitr_{2,3}}{nitr_{2,2} - nitr_{1,1}}\left\{\left[\frac{1-exp\left(-nitr_{1,1}\frac{x}{U}\right)}{nitr_{1,1}}\right] - \left[\frac{1-exp\left(-nitr_{2,2}\frac{x}{U}\right)}{nitr_{2,2}}\right]\right\} N_{1,0} + \frac{nitr_{2,3}}{nitr_{2,2}}\left[\frac{1-exp\left(-nitr_{1,1}\frac{x}{U}\right)}{nitr_{1,1}}\right]\right)}_{\text{Kısım C}} \quad \textbf{(4.2)}$$

$$\underbrace{+\left(\frac{K_d}{K_a K_r}\left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right] - \left\{\frac{K_d}{(K_a - K_r) K_r}\left[exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\right\}\right) L_{rd}}_{\text{Kısım D}}$$

$$\underbrace{-\left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\frac{P_a}{K_a}}_{\text{Kısım E}} \underbrace{+\left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\frac{R}{K_a}}_{\text{Kısım F}} \underbrace{+\left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\frac{S_B}{K_a}}_{\text{Kısım G}}$$

Bu denklemde;

KISIM A: Akarsu bölümü başlangıcındaki oksijen eksikliğinin ($D_0$) etkisini

KISIM B: Bir noktasal kaynak nedeniyle akarsu bölümüne giren karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacının oksijen eksikliğine etkisini

KISIM C: Bir noktasal kaynak nedeniyle akarsu bölümüne giren amonyum azotunun nitrifikasyona neden olarak oksijen eksikliğine etkisini

KISIM D: Akarsu bölümü boyunca etkin olan debisiz karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı yükünün oksijen eksikliğine etkisini

KISIM E: Akarsu bölümü boyunca etkin olan fotosentezin oksijen eksikliğine etkisini

KISIM F: Akarsu bölümü boyunca etkin olan solunumun oksijen eksikliğine etkisini

KISIM G: Akarsu bölümü boyunca etkin olan taban çamuru oksijen ihtiyacının (sediment oksijen ihtiyacı) oksijen eksikliğine etkisini temsil etmektedir. Bu denklemde,

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$K_a$ : Havalanma hızı ($gün^{-1}$)

$K_d$ : Karbonlu BOİ yükseltgenme hızı ($gün^{-1}$)

$K_r$ : Karbonlu BOİ toplam tükenme hızı (yükseltgenme + çökelme) ($gün^{-1}$)

$P_a$ : Fotosentez hızı ($mg.L^{-1}gün^{-1}$)

$R_a$ : Solunum hızı ($mg.L^{-1}gün^{-1}$)

$S_B$ : Sediment oksijen ihtiyacı ($mg.L^{-1}gün^{-1}$)

$nitr_{1,1}$ : Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{1,2}$ : Organik azotun amonyum azotuna dönüşme hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{2,2}$: Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, (nitrifikasyon) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{2,3}$ : Nitrifikasyon hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{3,3}$: Nitrat azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, (denitrifikasyon) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$L_{rd}$ : Debisiz yayılı karbonlu BOİ yükü ($mg.L^{-1}gün^{-1}$)

$L_0$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki karbonlu BOİ ($mg.L^{-1}$)

$N_{1,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot ($mg.L^{-1}$)

$N_{2,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki amonyum azotu ($mg.L^{-1}$)

D : Çözünmüş oksijen eksikliği ($mg.L^{-1}$)

anlamındadır.

Çözünmüş oksijen eksikliği hesaplandıktan sonra, Denklem 4.3 yardımıyla çözünmüş oksijen konsantrasyonu hesaplanabilmektedir.

$$C = (Cs - D) \quad \textbf{(4.3)}$$

Bu denklemde,

C : Çözünmüş oksijenin konsantrasyonu (mg/L)

Cs : Çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

D : Çözünmüş oksijen eksikliği (mg/L)

anlamındadır. Çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu; akarsuyun sıcaklığı, tuzluluğu ve atmosferdeki çözünmüş oksijenin kısmi basıncının bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

Çözünmüş oksijenin sıcaklığa bağlı doygunluk konsantrasyonu, Denklem 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\ln o_{sf} = -139{,}34411 + \frac{1{,}575701 \times 10^5}{T_a} + \frac{6{,}642308 \times 10^7}{{T_a}^2} + \frac{1{,}243800 \times 10^{10}}{{T_a}^3} - \frac{8{,}621949 \times 10^{11}}{{T_a}^4} \quad \textbf{(4.4)}$$

Bu denklemde

$o_{sf}$ : Tatlı suda ve deniz seviyesindeki 1 atm basınçta çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

$T_a$ : Akarsuyun mutlak sıcaklığı ($^0$K) anlamındadır. Denklem 4.5, tuzluluğun çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonuetkisini hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$\ln o_{ss} = \ln(o_{sf}) - S\left(1{,}7674 \times 10^{-2} - \frac{1{,}0754 \times 10^1}{\mathrm{T_a}} + \frac{2{,}1407 \times 10^3}{{\mathrm{T_a}}^2}\right) \quad \textbf{(4.5)}$$

Bu denklemde;

$o_{ss}$ : Tuzlu suda ve deniz seviyesindeki hava basıncında (1 atm) çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

$T_a$ : Akarsuyun mutlak sıcaklığı ($^0$K)

S : Tuzluluk (ppt) anlamındadır. Çoğu akarsu bölümü su yüzeyi kotu, deniz seviyesinin üzerindedir. Bu durumda atmosfer basıncı 1 atmosferin altına düşmekte ve nedenle Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 geçersiz olabilmektedir. Bu denklemlerle hesaplanan çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu, Denklem 4.6 yardımıyla düzeltilmektedir.

$$o_{sp} = o_{sp,1}\left[\frac{\left(1-\frac{P_{wv}}{p}\right)(1-\theta\rho)}{(1-P_{wv})(1-\theta\rho)}\right] \quad \textbf{(4.6)}$$

Bu denklemde

p : Hava basıncı (atm)

$o_{sp}$ : p atmosfer basınçta çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

$o_{sp,1}$ : 1 atmosfer basınçta iken çözünmüş oksijenin Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile hesaplanmış doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

$p_{wv}$ : Su buharının kısmi basıncı (atm)

θ: Sıcaklığa bağlı bir katsayı anlamındadır. Deniz seviyesinden yüksek kotlardaki hava basıncı, Denklem 4.7 ile hesaplanmaktadır.Bu denklemde;

p : Hava basıncı (atm)

$p_0$ : Deniz seviyesindeki hava basıncı (1 atm)

H : Rakım (m) olarak ifade edilmiştir..

$$p = p_0 - 0{,}875H \quad \textbf{(4.7)}$$

Su buharının kısmi basıncı, sıcaklığa bağlıdır ve Denklem 4.8 ile hesaplanmaktadır.

$$\ln p_{wv} = 11{,}8571 - \frac{3840{,}7}{T_a} - \frac{216961}{{T_a}^2} \quad \textbf{(4.8)}$$

Bu denklemde

$p_{wv}$ : Su buharının kısmi basıncı (atm)

$T_a$ : Akarsuyun mutlak sıcaklığı ($^0$K) anlamındadır. Denklem 4.6' da verilen θ katsayısı aşağıdaki denklem 4.9 ile hesaplanabilmektedir. Bu denklemde T, akarsu bölümünün sıcaklığını ($^0$C) ifade etmektedir.

$$\theta = 0{,}000975 - 1{,}426 \times 10^{-5}T + 6{,}436 \times 10^{-8}T^2 \quad \textbf{(4.9)}$$

#### 4.3.1.2 Anaerobik koşullar

Aerobik koşullarda belirtilen denklem 4.2 anaerobik koşullarda geçersizdir. Oksijensiz koşullarda denklem 4.2 yerine denklem 4.10, denklem 4.3 yerine de C değeri sıfır olarak alınmaktadır. $C_s$, çözünmüş oksijenin doygunluk derişimi (mg/L), D, çözünmüş oksijen eksikliği (mg/L)

$$D = C_s \quad \textbf{(4.10)}$$

Çözünmüş oksijen derişimi 0-0,5 mg/L arasında olursa, nitrifikasyon sürecinin duracağı kabul edilerek denklem 4.2 yerine denklem 4.11 kullanılmıştır. Denklem 4.11'de yer alan formülde bulunan sembollerle ilgili açıklamalar denklem 4.2'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} D = {} & D_0 exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right) + \left\{\frac{K_d}{K_a - K_r}\left[exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\right\} L_0 \\ & + \left(\frac{K_d}{K_a K_r}\left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\right. \\ & \left. - \left\{\frac{K_d}{(K_a - K_r)K_r} \times \left[exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right]\right\}\right) L_{rd} \\ & - \left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right] \frac{P_a}{K_a} \\ & + \left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right] \frac{R}{K_a} + \left[1 - exp\left(-K_a \frac{x}{U}\right)\right] \frac{S_B}{K_a} \end{aligned} \quad \textbf{(4.11)}$$

### 4.3.2 Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı

#### 4.3.2.1 Aerobik koşullar

Aerobik koşullarda karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı, denklem 4.12 ile hesaplanmaktadır.

$$L = L_0\, exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right) + \frac{L_{rd}}{K_r}\left[1 - exp\left(-K_r \frac{x}{U}\right)\right] \quad \textbf{(4.12)}$$

Bu denklemde,

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık(km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$L_0$: Akarsu bölümü başlangıcındaki karbonlu BOİ ($mg.L^{-1}$)

$K_r$: Karbonlu BOİ toplam tükenme hızı (yükseltgenme + çökelme) ($gün^{-1}$)

$L_{rd}$ : Debisiz yayılı karbonlu BOİ yükü ($mg.L^{-1}gün^{-1}$)

L : Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı ($mg.L^{-1}$)

#### 4.3.2.2 Anaerobik koşullar

Anaerobik koşullarda, denklem 4.13 kullanılmaktadır.Bu denklemde;

$$L = L_i - K_a C_s \left(\frac{x - x_i}{U}\right) \quad \textbf{(4.13)}$$

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

$x_i$ : Anaerobik kesimin başladığı konumun akarsu bölümü başlangıcından uzaklığı (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$L_i$ : Anaerobik bölge başlangıcındaki karbonlu BOİ ($mg.L^{-1}$)

$K_a$ : Havalanma hızı ($gün^{-1}$)

L : Karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı ($mg.L^{-1}$)

$C_s$: Çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu ($mg.L^{-1}$)

anlamındadır. Bu denklem kullanılırken özel bir kütle dengesi algoritması ile debisiz yayılı karbonlu BOİ yüklerinin etkisi de hesaba katılmaktadır. Denitrifikasyon sürecinde karbon kaynağı olarak BOİ'nin kullanılması, göz ardı edilmektedir.

### 4.3.3 Organik azot

Organik azot bileşikleri çökelme ve mikrorganizmalar tarafından parçalanarak amonyuma dönüştürülür. Model içerisinde aerobik koşullarda organik azot denklem 4.14 ile hesaplanmaktadır.

$$N_1 = N_{1,0} - exp\left(-nitr_{1,1}\frac{x}{U}\right) \quad \textbf{(4.14)}$$

Bu denklemde;

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$nitr_{1,1}$ : Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$N_{1,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot ($mg.L^{-1}$)

$N_1$ : Organik azot ($mg.L^{-1}$)

Anaeraobik koşullar için de aynı denklem kullanılabilmektedir. Eğer kullanıcı anaerobik koşullarda organik azotun mineralleşmesini sağlayan biyokimyasal süreçler ile ilgili bir değişim olduğunu kabul edecekse, anaerobik koşulların başladığı konumdan hemen sonra yeni bir akarsu bölümü tanımlayabilir ve $nitr_{1,1}$ katsayısını değiştirerek anaerobik koşullarla olabilecek değişiklikleri modele yansıtabilir.

### 4.3.4 Amonyum azotu

Organik azot bileşikleri organizmalar tarafından parçalanarak amonyuma dönüştürülür. Amonyumun bir kısmı organizmalar tarafından asimile edilerek hücresel proteine çevrilirken diğer kısmı da nitrifikasyon bakterileri tarafından önce nitrit ve sonra da nitrata dönüştürülür.

#### 4.3.4.1 Aerobik koşullar

Aerobik koşullarda, amonyum azotu denklem 4.15 ile hesaplanmaktadır. Denklemde;

$$N_2 = \frac{nitr_{1,2}N_{1,0}}{nitr_{2,2}-N_{1,1}}\left[exp\left(-nitr_{1,1}\frac{x}{U}\right) - exp\left(-nitr_{2,2}\frac{x}{U}\right)\right] + N_{2,0}exp\left(-nitr_{2,2}\frac{x}{U}\right) \quad \textbf{(4.15)}$$

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$nitr_{1,1}$ : Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{1,2}$ : Organik azotun, amonyum azotuna dönüşme hızı ($gün^{-1}$)

$nitr_{2,2}$ : Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, nitrifikasyon) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$N_{1,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik azot ($mg.^{L-1}$)

$N_{2,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki amonyum azotu ($mg.^{L-1}$)

$N_2$ : Amonyum azotu ($mg.L^{-1}$) anlamındadır.

#### 4.3.4.2 Anaerobik koşullar

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0,5 $mg.L^{-1}$'den daha düşük olduğunda, hemnitrifikasyonun hem de bitki ve fitoplankton aktivitesinin durduğu kabul edilmekte vemodelde tanımlanmış amonyum azotu tüketen süreçlerden hiç biri çalışmamaktadır. Budurumda, model tarafından çözünmüş oksijen 0,5 $mg.L^{-1}$'in altına düştüğü zaman, Denklem 4.15'de $nitr_{2,2}$ sıfıra eşitlenmektedir.

### 4.3.5 Nitrat azotu

#### 4.3.5.1 Aerobik koşullar

Modelde aerobik koşullarda nitrat azotu denklem 4.16 ile hesaplanmaktadır.

$$N_3 = \frac{nitr_{1,2}nitr_{2,3}}{nitr_{2,2}-nitr_{1,1}}\left[\frac{exp\left(-nitr_{1,1}\frac{x}{U}\right) - exp\left(-nitr_{3,3}\frac{x}{U}\right)}{nitr_{3,3}-nitr_{1,1}} - \frac{exp\left(-nitr_{2,2}\frac{x}{U}\right) - exp\left(-nitr_{3,3}\frac{x}{U}\right)}{nitr_{3,3}-nitr_{2,2}}\right]N_{1,0} + \frac{nitr_{2,3}}{nitr_{3,3}-nitr_{2,2}}\left[exp\left(-nitr_{2,2}\frac{x}{U}\right) - exp\left(-nitr_{3,3}\frac{x}{U}\right)\right]N_{2,0} + \left[exp\left(-nitr_{3,3}\frac{x}{U}\right)\right]N_{3,0} \quad \textbf{(4.16)}$$

Bu denklemde,

$nitr_{1,1}$ : Organik azotun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz ve bakteriler ile amonyuma dönüşme) tüketim hızı (gün$^{-1}$)

$nitr_{1,2}$ : Organik azotun, amonyum azotuna dönüşme hızı (gün$^{-}$1)

$nitr_{2,2}$: Amonyum azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, (nitrifikasyon) tüketim hızı (gün$^{-1}$)

$nitr_{2,3}$ : Nitrifikasyon hızı (gün$^{-1}$)

$nitr_{3,3}$ : Nitrat azotunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, denitrifikasyon) tüketim hızı (gün$^{-1}$)

$N_{1,0}$ : Akarsu bölümünün başlangıcındaki organik azot (mg.L$^{-1}$)

$N_{2,0}$ : Akarsu bölümünün başlangıcındaki amonyum azotu (mg.L$^{-1}$)

$N_{3,0}$ : Akarsu bölümünün başlangıcındaki nitrat azotu (mg.L$^{-1}$)

$N_3$: Nitrat azotu (mg.L$^{-1}$) olarak ifade edilmiştir.

#### 4.3.5.2 Anaerobik koşullar

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0,5 mg.L$^{-1}$'den daha düşük olduğunda, hem nitrifikasyonun hem de bitki ve fitoplankton aktivitesinin durduğu kabul edilmektedir. Bu durumda, nitrat su kalitesi değişkeninin organik azot ve amonyum azotu ile ilişkisi de kesilmektedir. Bu nedenle anaerobik şartlarda Denklem 4.16 yerine Denklem 4.17 geçerlidir.

$$N_3 = N_{3,0} exp\left(-nitr_{3,3}\frac{x}{U}\right) \quad \textbf{(4.17)}$$

### 4.3.6 Organik fosfor

Organik fosforun azalması ve artması ile birlikte planktonların büyüme hızlarının kontrol edilebildiği bilinmektedir. Fosforun çok olduğu yerlerde rahatsız edici ortam şartlarına yol açacak alg patlamaları oluşmaktadır. Fosfor, azot gibi su kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Model içerisinde organik fosfor konsantrasayonu aerobik ve anaerobik şartlarda denklem 4.18 ile hesaplanmaktadır.

$$P_1 = P_{1,0} exp\left(-phos_{1,1}\frac{x}{U}\right) \quad \textbf{(4.18)}$$

Bu denklemde

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$phos_{1,1}$ : Organik fosforun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz, mineralleşme, vb. tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$P_{1,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik fosfor ($mg.L^{-1}$)

$P_1$ : Organik fosfor ($mg.L^{-1}$) anlamındadır.

Eğer kullanıcı anaerobik koşullarda organik fosforun mineralleşmesini sağlayan biyokimyasal süreçler ile ilgili bir değişim olduğunu kabul edecekse, anaerobik koşulların başladığı konumdan hemen sonra yeni bir akarsu bölümü tanımlayabilir ve $phos_{1,1}$ katsayısını değiştirerek anaerobik koşullarla olabilecek değişiklikleri modele yansıtabilir.

### 4.3.7 Fosfat fosforu

#### 4.3.7.1 Aerobik koşullar

Aerobik koşullarda, fosfat fosforu Denklem 4.19 ile hesaplanmaktadır.

$$P_2 = \frac{phos_{1,2}P_{1,0}}{phos_{2,2} - phos_{1,1}}\left[exp\left(-phos_{1,1}\frac{x}{U}\right) - exp\left(-phos_{2,2}\frac{x}{U}\right)\right] + P_{2,0}exp\left(-phos_{2,2}\frac{x}{U}\right) \quad (4.19)$$

Bu denklemde;

x : Akarsu bölümü boyunca uzaklık (km)

U : Akarsu bölümü boyunca hız ($m.s^{-1}$)

$phos_{1,1}$ : Organik fosforun toplam (partiküler kısmın çökelmesi, hidroliz, mineralleşme, vb. tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$phos_{1,2}$ : Organik fosforun, fosfat fosforuna dönüşme hızı ($gün^{-1}$)

$phos_{2,2}$ : Fosfat fosforunun toplam (bitkiler ve fitoplanktonlar tarafından kullanım, vb.) tüketim hızı ($gün^{-1}$)

$P_{1,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki organik fosfor ($mg.L^{-1}$)

$P_{2,0}$ : Akarsu bölümü başlangıcındaki fosfat fosforu ($mg.L^{-1}$)

$P_2$ : Fosfat fosforu ($mg.L^{-1}$) , anlamındadır.

#### 4.3.7.2 Aerobik koşullar

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0,5 $mg.L^{-1}$'den daha düşük olduğunda bitki ve fitoplankton aktivitesinin durduğu kabul edilmekte ve modelde tanımlı fosfat fosforu tüketen süreçlerden hiç biri çalışmamaktadır. Bu durumda, model tarafından çözünmüş oksijen 0,5 $mg.L^{-1}$'in altına düştüğü zaman, Denklem 4.19'da $phos_{2,2}$ sıfıra eşitlenmektedir.

# 5. UYGULAMA ÖRNEĞİ

SİSMOD modeli kullanarak yapılan bu çalışmada, debide meydana gelen değişim ile birlikte su derinliği, su hızı ve su kalitesindeki farklılıklarınne şekilde olacağı ortaya konulmaktadır.

İlk aşamada, hidrolik olarak yapılacak değerlendirmede, suda yaşayan balık türleri için su hızı ve su derinlikleri ele alınarak hedef türlerin fiziksel habitatlarında meydana gelebilecek değişimlerin minimum olacağı debi değeri belirleneceketir. Bu değer hidrolik açıdan akarsuda bulunaması gereken ekolojik ihtiyaç debisi olarak tanımlanacaktır.

İkinci aşamada, akarsudaki su kalitesi ele alınarak, hidrolik olarak bulunan minimum debi değerinin akarsuda yaşayan balık türlerinin yaşamsal faaliyetlerini su kalite parametreleri açısından sağlayıp sağlayamayacağı değerlendirilecektir. Debi değerleri azaltılarak veya arttırılarak su kalitessi parametrelerindeki değişmler gözlenip,su kalitesi açısından minimum bir debi değeri bulunacaktır.

Su kalitesi ve hidrolik değerlendirme sonucu bulunan ve balıkların ihtiyaçlarını karşılayan en yüksek debi değeri minimum ekolojik ihtiyaç debisi olarak kabul edilecektir.

## 5.1 Hidrolik Açıdan Değerlendirmede SİSMOD Modelinin Kullanılması

Modelin kullanımı için basit bir akarsu yapısı oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılacak akarsu yapısı tek ana kol üzerinde iki bölümden meydana gelmektedir. Akarsu en kesiti ana kolda düzensiz enkesit olarak kabul edilmiş ve sadece hidrolik hesaplamalar yapılacağından su kalitesi ile ilgili model girdi verileri oluşturulmamıştır.

Herhangi bir akarsu yapısındaki model girdi verileri literatür ve saha çalışmaları sonucu elde edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılacak veriler, Karakaya ve diğ., (2006) tarafından hazırlanan ‘Havzalar Arası Su Transferine Sistematik

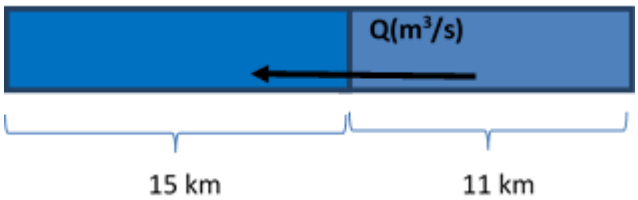
Yaklaşım' başlıklı çalışmada yer alan EİE' ye ait 1340 nolu izleme istasyonunda elde edilen enkesit parametrelerinden alınmıştır.

### 5.1.1 Akarsu sisteminin oluşturulması

Akarsu sistemi kendi içindeki kollarıyla birlikte bir ağ oluşturmaktadır. Herhangi bir akarsuya dışarıdan deşarj olduğu gibi kendisine bağlanan birçok yankol da bulunmaktadır.

### 5.1.2 Model ağının oluşturulması

Akarsu için oluşturulan model ağı Şekil 5.1'de verilmiştir. Akarsuya herhangi bir noktasal deşarj kaynağı bulunmamaktadır. Akarsu iki bölüme ayrılmış olup, akarsu bölümleri için model girdileri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Akarsu başlangıcında giren farklı debiler için derinlik ve hız değerleri hesaplanabilmektedir.




**Şekil 5.1:** Akarsu model ağı

**Çizelge 5.1:**Akarsu bölümleri ile ilgili model girdileri

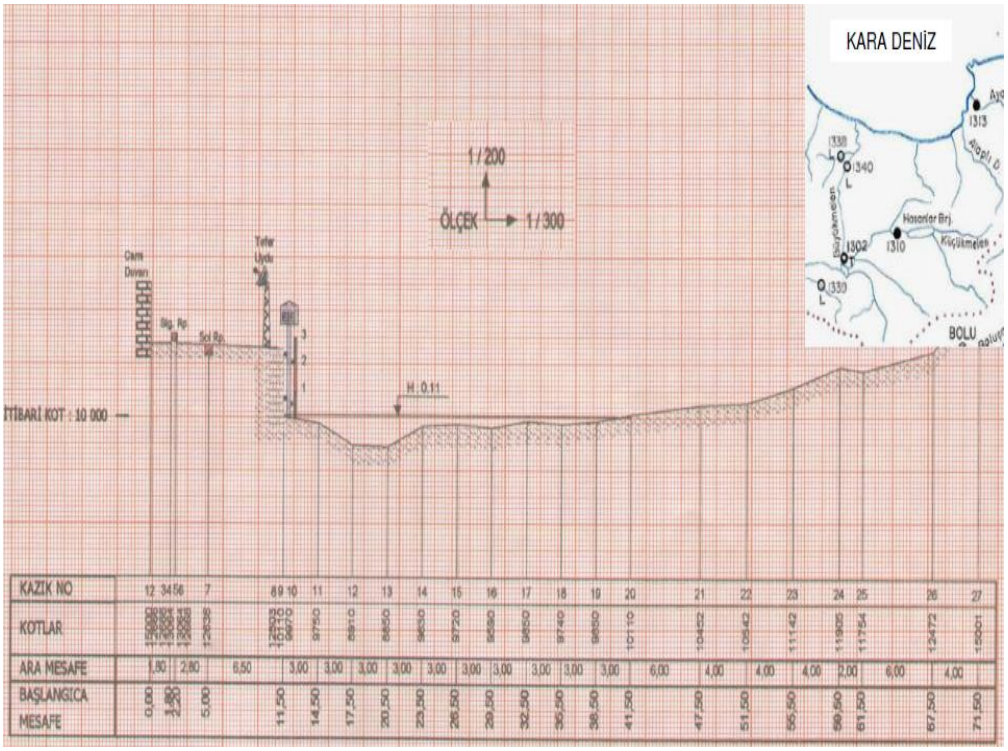
| Akarsu Bölümü | Bölüm no | Tür | Enkesit no | Deşarj no | Mansptaki Akarsu Bölümü | Memba Bölümleri Sayısı | Memba bölümleri | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol 0-11 km | 1 | Akarsu Başlangıcı-1 | 1 | Deşarj yok | 2 | 1 | -1 | | |
| Ana kol 11-26 km | 2 | Akarsuyun sonu-3 | 1 | Deşarj yok | 0 | 1 | 1 | | |

### 5.1.3 Akarsu enkesiti ve yatağı ile ilgili bilgilerin oluşturulması

Akarsu enkesiti ile ilgili model girdileri için Büyük Melen Çayı üzerindeki EİE ve DSİ'ye ait Şekil 5.2'deki 1340 nolu izleme istasyonunun kesitinden ve konumundan yararlanılarak düzensiz olan bu enkesit için koordinatlar Çizelge 5.2'de oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.2:** Akarsu düzensiz enkesiti

| Nokta sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X(m) | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 |
| Y(m) | 1,26 | 0,9 | 0,06 | 0 | 0,78 | 0,87 | 0,74 | 1 | 0,89 | 1 | 1,26 |



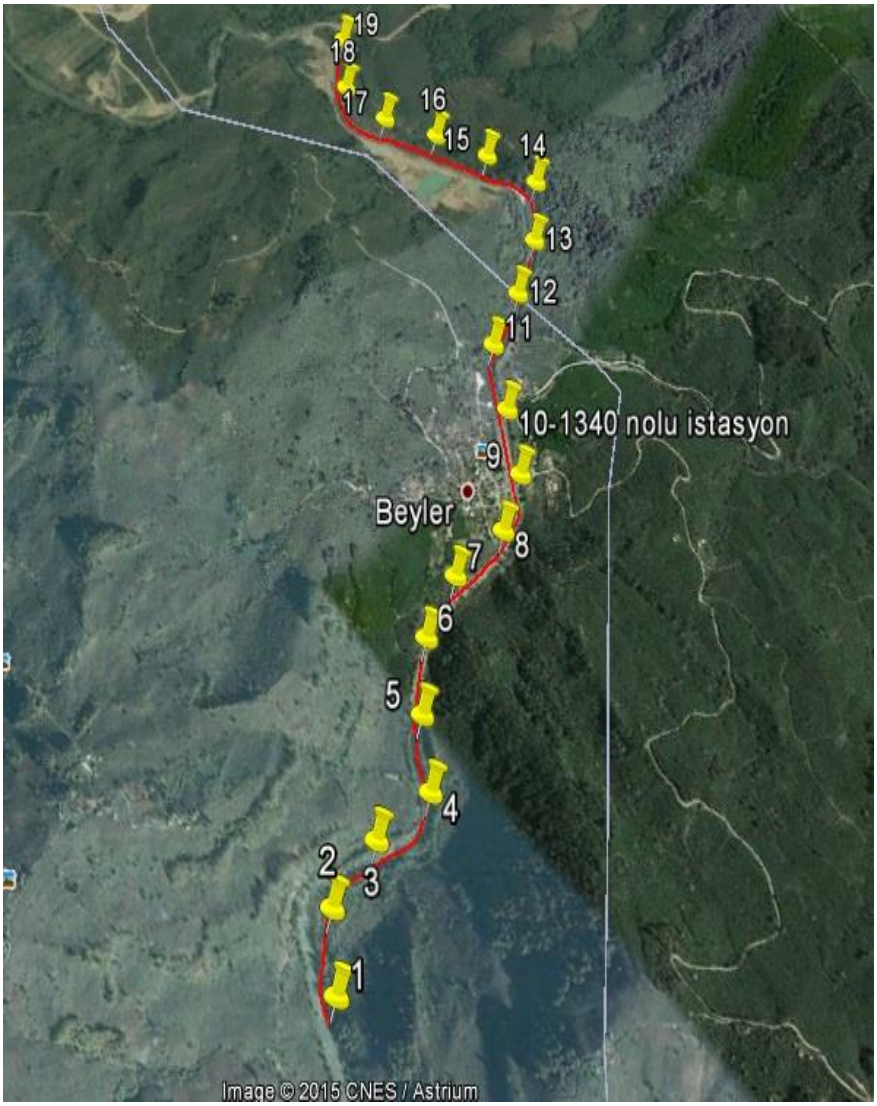

**Şekil 5.2:** 1340 nolu istasyonun enkesiti (Karakaya, 2006)

Akarsularda, yatak uzanım şekline ve seçilen enkesitin geometrisine bağlı olarak n ve j değerleri değişmektedir. Bu değişkenler, akarsu yatağı boyunca bulunan malzemenindağılımına, abiotik ve biotik canlılara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Seçilen akarsu kesiti için kullanılacak modelin j değerinin hesaplanması için Şekil 5.3'te yer alan Google Earth programından yararlanılmıştır. DSİ akım rasatlarından yararlanılarak 1340 nolu istasyonun koordinatları 40º 58' 57 kuzey enlemleri ile 30º 57' 18 doğu boylamları arasında bulunmuştur. Bu koordinatlar baz alınarak 3240 metre boyunca, belirli aralıklarla Çizelge 5.3'de yer alan 19 noktada

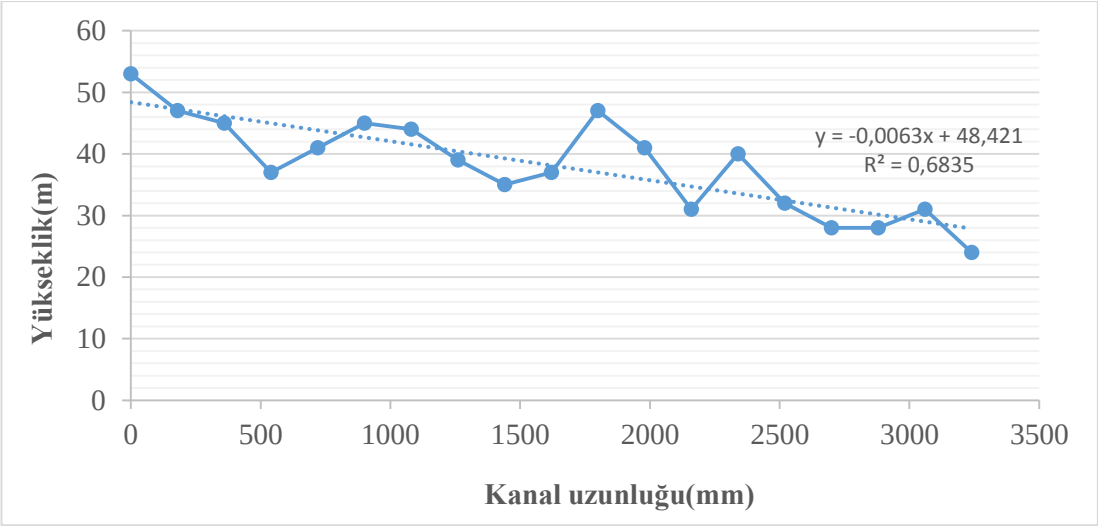
yükseklikler ve uzunluklar belirlenip nehrin eğimi Şekil5.4'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.3:** 1340 nolu istasyon koordinatları

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **X** | 0 | 180 | 360 | 540 | 720 | 900 | 1080 | 1260 | 1440 | 1620 |
| **Y** | 53 | 47 | 45 | 37 | 41 | 45 | 44 | 39 | 35 | 37 |
| **X** | 1800 | 1980 | 2160 | 2340 | 2520 | 2700 | 2880 | 3060 | 3240 | |
| **Y** | 47 | 41 | 31 | 40 | 32 | 28 | 28 | 31 | 24 | |




**Şekil 5.3:** 1340 nolu istasyon konumu




**Şekil 5.4:** Akarsu yatak eğimi

Yapılan uzunluk ve kot ölçümleri ilgili korelasyon ve denklem Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Model boyunca kullanılacak akarsu yatağındaki eğim 0,0063 olarak belirlenmiştir.

Model bir akarsuyu belirli bölümlere ayırarak değerlendirmektedir. Her bölümde akarsu yatağının geometrisinin, suyun sıcaklığının, su yüzeyinin deniz seviyesine göre ortalama kotunun değişmediği kabul edilmektedir.

Modelin kullanımında gerekli olan Manning pürüzlülük katsayısı akarsu şartlarına bağlı olarak gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmelidir. Manning pürüzlülük katsayısı için farklı yüzeylere ait alınabilecek minimum ve maksimum değerler literatürde bulunmaktadır.

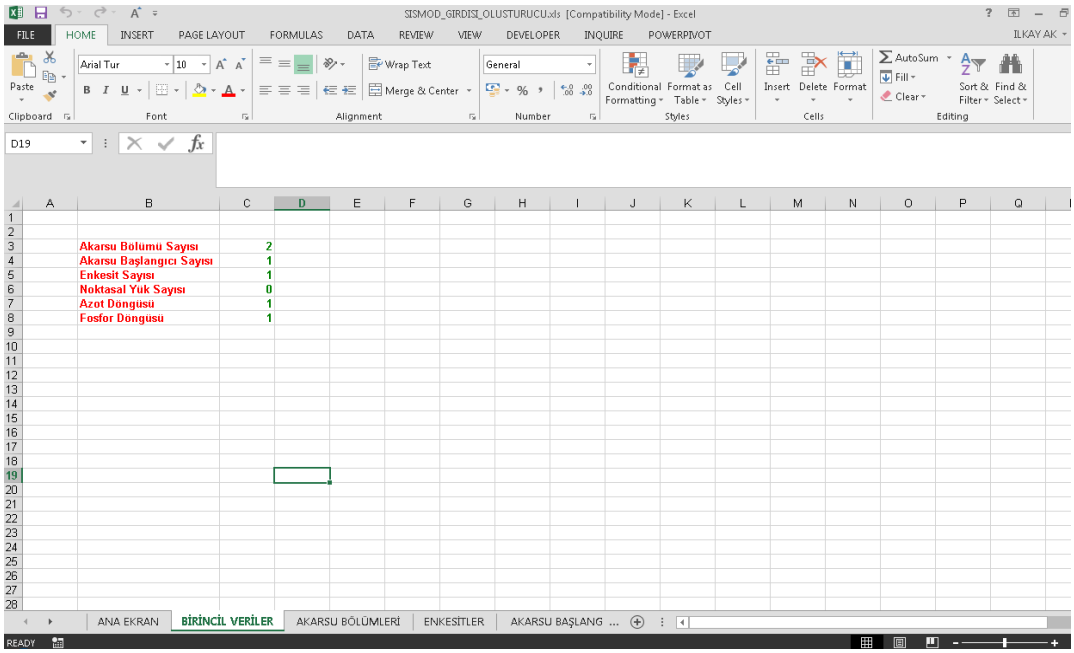
Bu çalışmada, modelde kullanılacak n değeri farklı debi değerleri kullanılarak bulunmuştur. Model girdi dosyası için Çizelge 5.4'de tek bir debi için akarsu kolları debi tablosu oluşturulmuştur. Debi değerleri değiştirilerek, başka bir çalışma ile modelde bulunan hız ve derinlik değerleri arasındaki en yakın ilişki en uygun n değerini verecektir.

**Çizelge 5.4:** Akarsu kollarındaki debiler

| Akarsu Bölümü | Bölüm no | Debi | Tür | Enkesit no | Deşarj no |
|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol 0-11 km | 1 | 2,55 | Akarsu Başlangıcı-1 | 1 | Deşarj yok |
| Ana kol 11-26km | 2 | 2,55 | Akarsu sonu-3 | 1 | Deşarj yok |

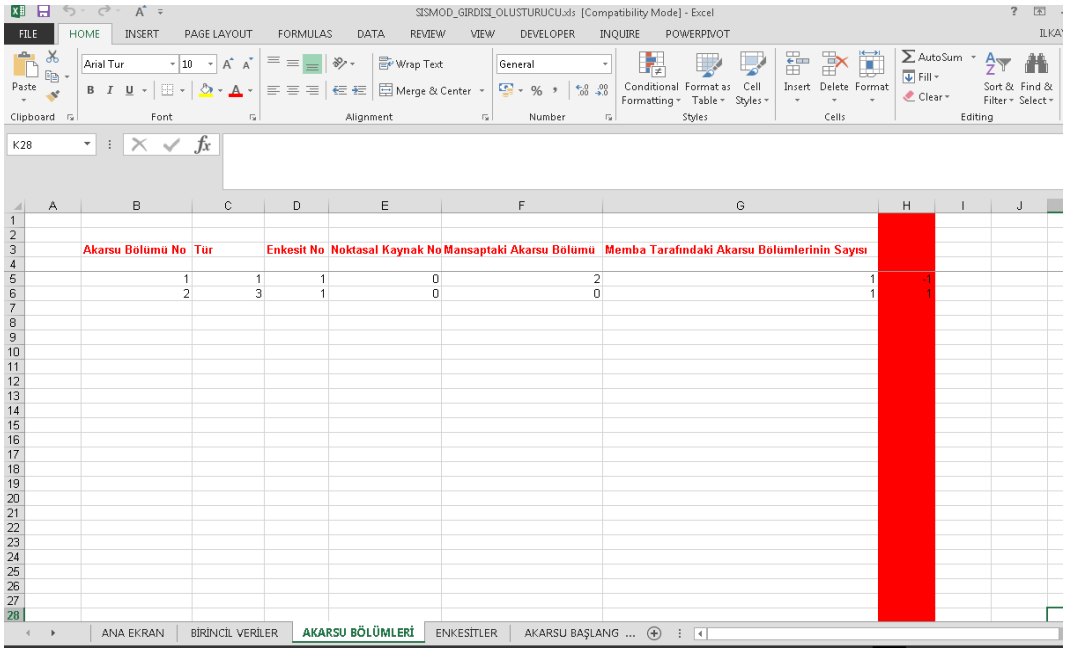
### 5.1.4 Model girdi dosyasının oluşturulması ve modelin çalıştırılması

SİSMOD girdi oluşturucu ekranından birinci veriler sayfasından akarsu bölümü, başlangıç ve enkesit sayıları Şekil 5.5'deki gibi girilir.



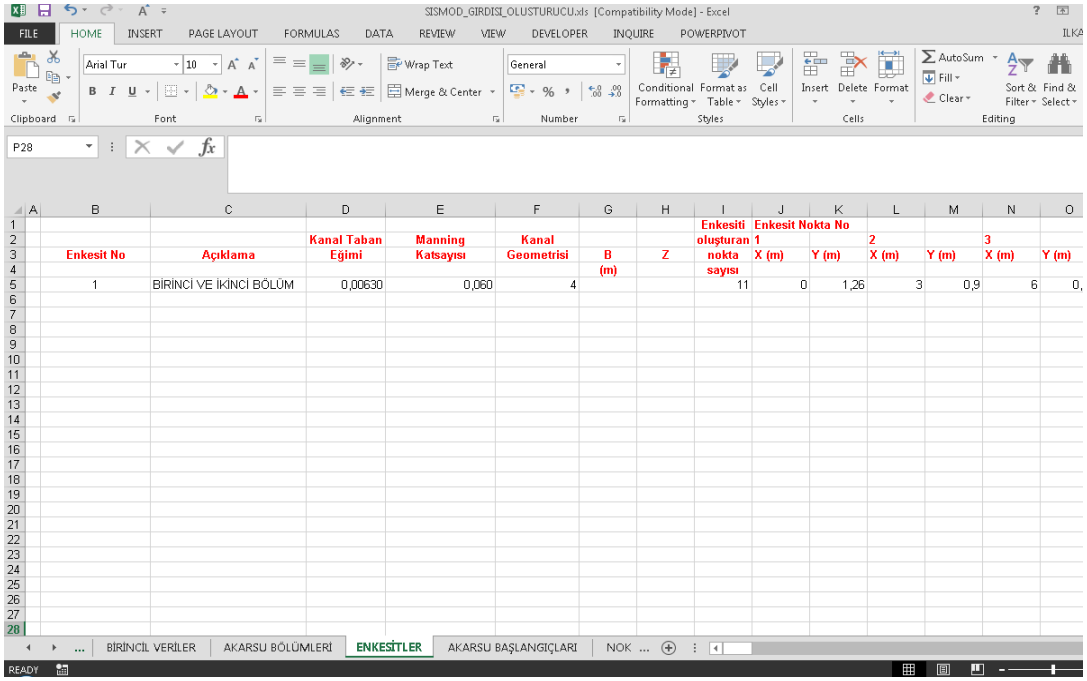

**Şekil 5.5:** Birincil veri sayfası

Akarsu bölümleri sayfasına, daha önceden oluşturulan akarsu bölümlerinin yer aldığı model girdi tablosundaki veriler Şekil 5.6'daki gibi girilir.




**Şekil 5.6:** Akarsu bölümleri sayısı

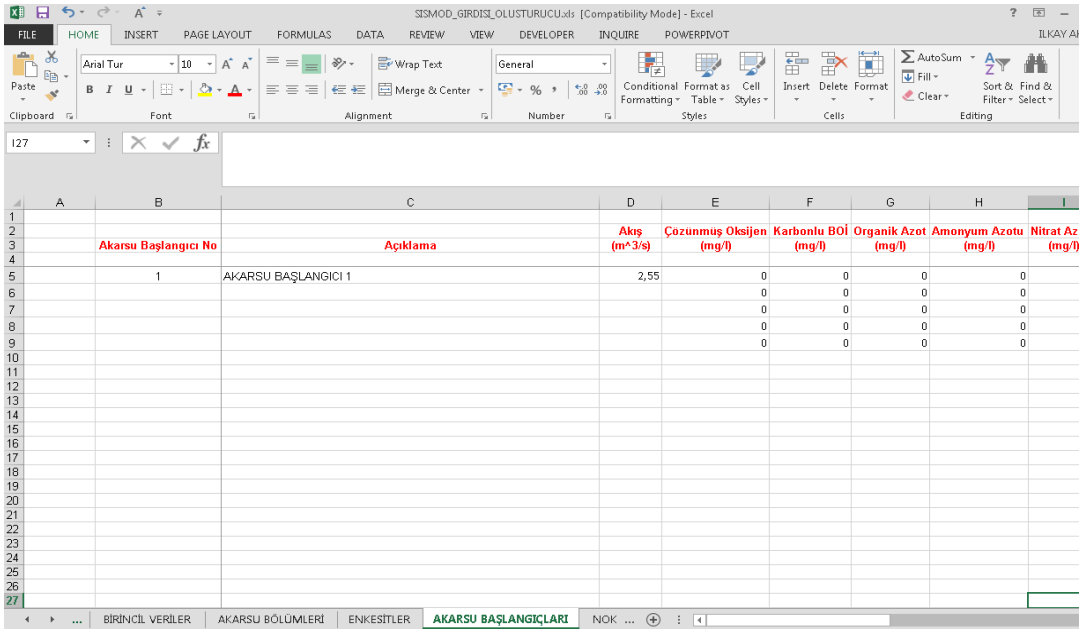
Şekil 5.7'de enkesit sayfasına, kanal yapısını belirten enkesit türü, kanal taban eğimi ve Manning katsayısı yazılır. Kanal geometrisi düzenli enkesit veya düzensiz enkesit olarak ayrılmaktadır. Düzensiz enkesitlerde kanal geometrisi 4 seçilmelidir.



| Enkesit No | Açıklama | Kanal Taban Eğimi | Manning Katsayısı | Kanal Geometrisi | B (m) | Z | Enkesiti oluşturan nokta sayısı | Enkesit Nokta No 1 X (m) | 1 Y (m) | 2 X (m) | 2 Y (m) | 3 X (m) | 3 Y (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BİRİNCİ VE İKİNCİ BÖLÜM | 0,00630 | 0,060 | 4 | | | 11 | 0 | 1,26 | 3 | 0,9 | 6 | 0, |

**Şekil 5.7:** Enkesit sayfası

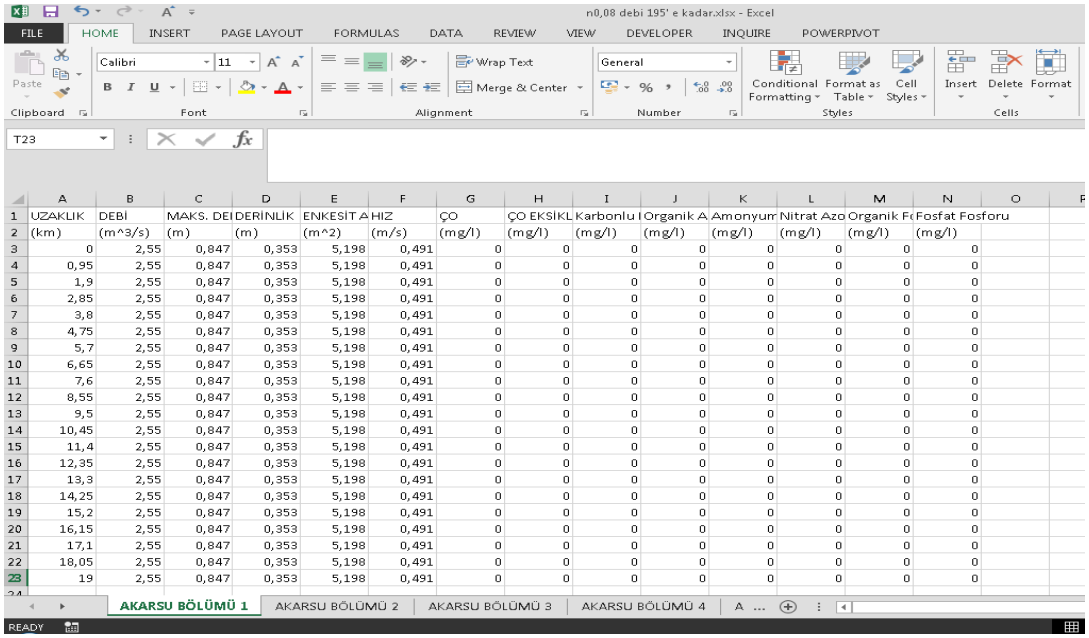
Akarsu başlangıçları sayfasına Şekil5.8'deki gibi akarsu kollarındaki debi miktarları tablosunda yer alan debi miktarları girilir ve ana ekrandan çalıştır butonuna basılır.



| Akarsu Başlangıcı No | Açıklama | Akış (m^3/s) | Çözünmüş Oksijen (mg/l) | Karbonlu BOİ (mg/l) | Organik Azot (mg/l) | Amonyum Azotu (mg/l) | Nitrat Az (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AKARSU BAŞLANGICI 1 | 2,55 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |

**Şekil 5.8:** Akarsu başlangıçları sayfası

Program çalıştıktan sonra her akarsu bölümü için verilen debi değerlerine göre hız ve derinlik hesaplanır. Şekil 5.9'daki gibi akarsu bölümünde herhangi bir deşarj noktası olmadığından dolayı tüm uzunluk boyunca debi aynıdır.



| UZAKLIK | DEBİ | MAKS. DEI | DERİNLİK | ENKESİT A | HIZ | ÇO | ÇO EKSİKL | Karbonlu I | Organik A | Amonyum | Nitrat Azo | Organik F | Fosfat Fosforu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (km) | (m^3/s) | (m) | (m) | (m^2) | (m/s) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| 0 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,95 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,9 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,85 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3,8 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4,75 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5,7 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,65 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7,6 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8,55 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9,5 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10,45 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11,4 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12,35 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13,3 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14,25 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15,2 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16,15 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17,1 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18,05 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 2,55 | 0,847 | 0,353 | 5,198 | 0,491 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Şekil 5.9:** Sonuçlar dosyası akarsular bölümü

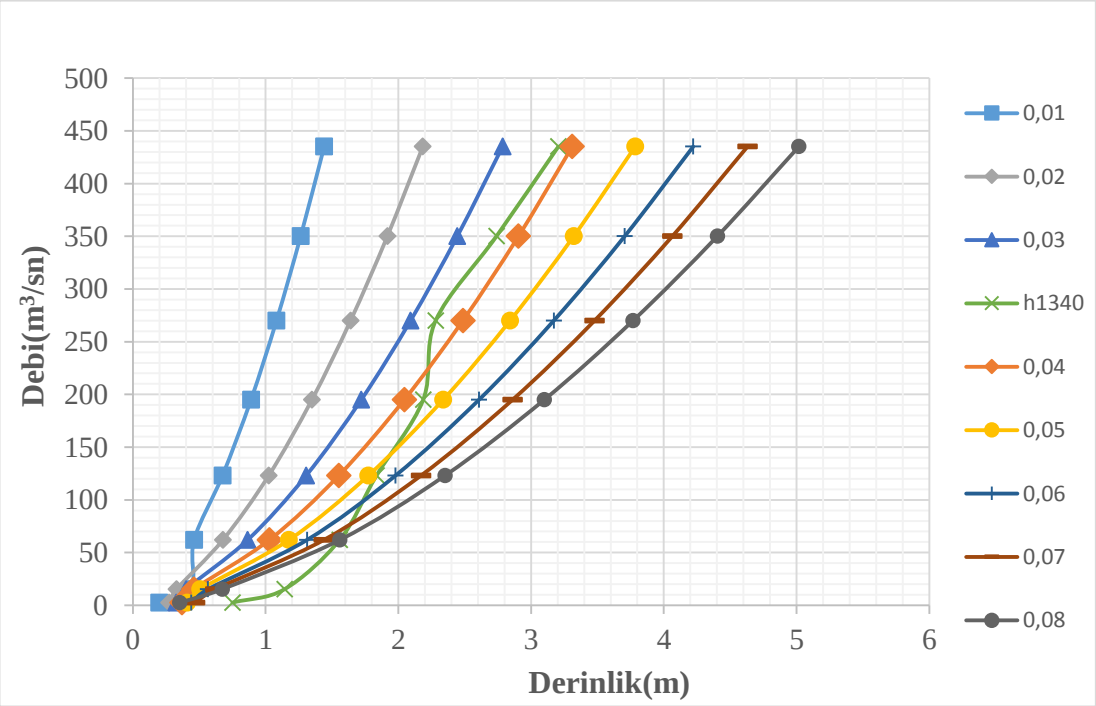
Akarsu kollarındaki debi değerleri ve n değerleri değiştirilerek 1340 Nolu istasyona Ait Eşel En Kesiti Parametreleri tablosundaki debi değerleri için (Karakaya, 2006) modelden elde edilen mevcut hız ve derinlik değerleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

**Çizelge 5.5 :**1340 nolu istasyona ait eşel en kesiti parametreleri (Karakaya, 2006)

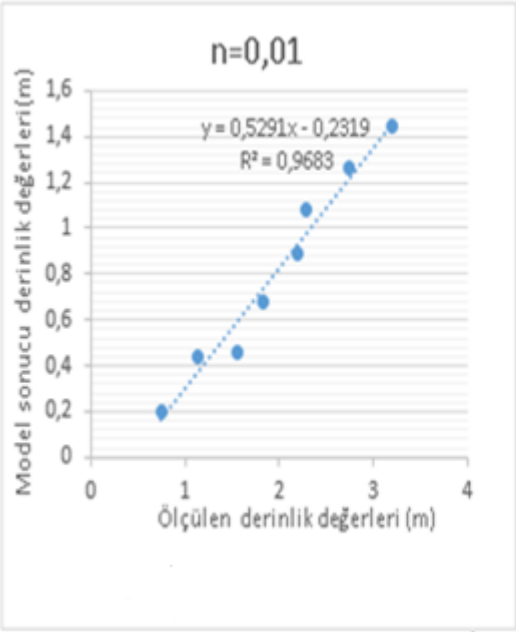
| Q | $A_{1340}$ | $V_{1340}$ | $h_{1340}$ |
|---|---|---|---|
| 2,55 | 28,31 | 0,090 | 0,75 |
| 15,3 | 48,77 | 0,314 | 1,143 |
| 62 | 70,84 | 0,875 | 1,558 |
| 123 | 94,8 | 1,297 | 1,835 |
| 195 | 121,67 | 1,603 | 2,187 |
| 270 | 154,07 | 1,752 | 2,281 |
| 350 | 188,21 | 1,859 | 2,739 |
| 435 | 222,77 | 1,953 | 3,205 |

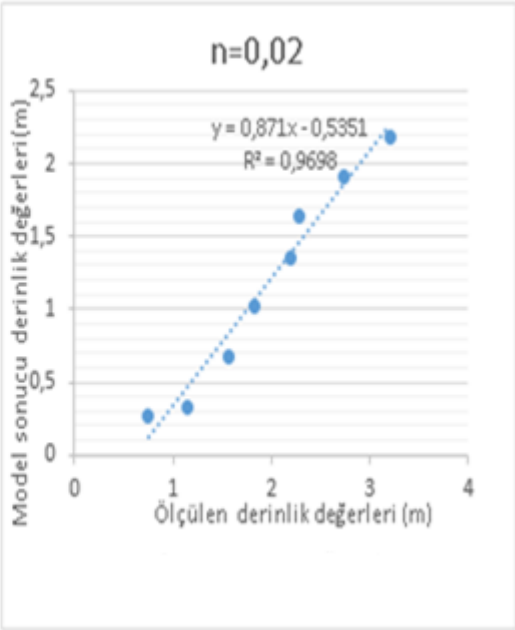
**Çizelge 5.6 :** Farklı n Değerleri İçin Modeldeki Derinlik($h_m$) Değer Tablosu

| Q | $h_{mn0,01}$ (m) | $h_{mn0,02}$ (m) | $h_{mn0,03}$ (m) | $h_{mn0,04}$ (m) | $h_{mn0,05}$ (m) | $h_{mn0,06}$ (m) | $h_{mn0,07}$ (m) | $h_{mn0,08}$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,55 | 0,198 | 0,273 | 0,327 | 0,37 | 0,407 | 0,44 | 0,469 | 0,353 |
| 15,3 | 0,44 | 0,329 | 0,4 | 0,458 | 0,508 | 0,566 | 0,621 | 0,673 |
| 62 | 0,461 | 0,678 | 0,865 | 1,028 | 1,176 | 1,312 | 1,439 | 1,559 |
| 123 | 0,675 | 1,023 | 1,305 | 1,551 | 1,773 | 1,978 | 2,17 | 2,351 |
| 195 | 0,890 | 1,349 | 1,721 | 2,045 | 2,338 | 2,608 | 2,861 | 3,1 |
| 270 | 1,082 | 1,64 | 2,092 | 2,486 | 2,842 | 3,171 | 3,478 | 3,768 |
| 350 | 1,264 | 1,917 | 2,444 | 2,905 | 3,321 | 3,705 | 4,064 | 4,403 |
| 435 | 1,441 | 2,184 | 2,785 | 3,31 | 3,784 | 4,221 | 4,63 | 5,017 |

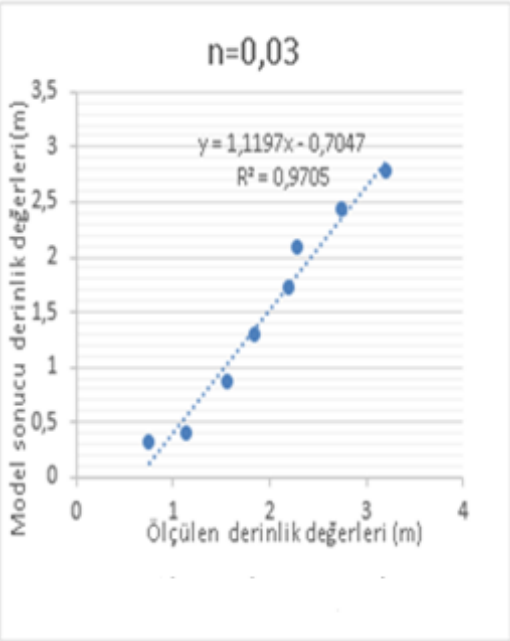


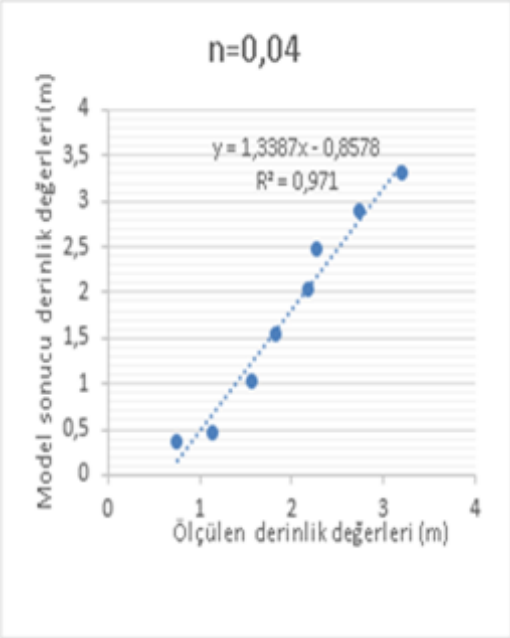

**Şekil 5.10:** Farklı n değerlerine göre akarsu derinliği



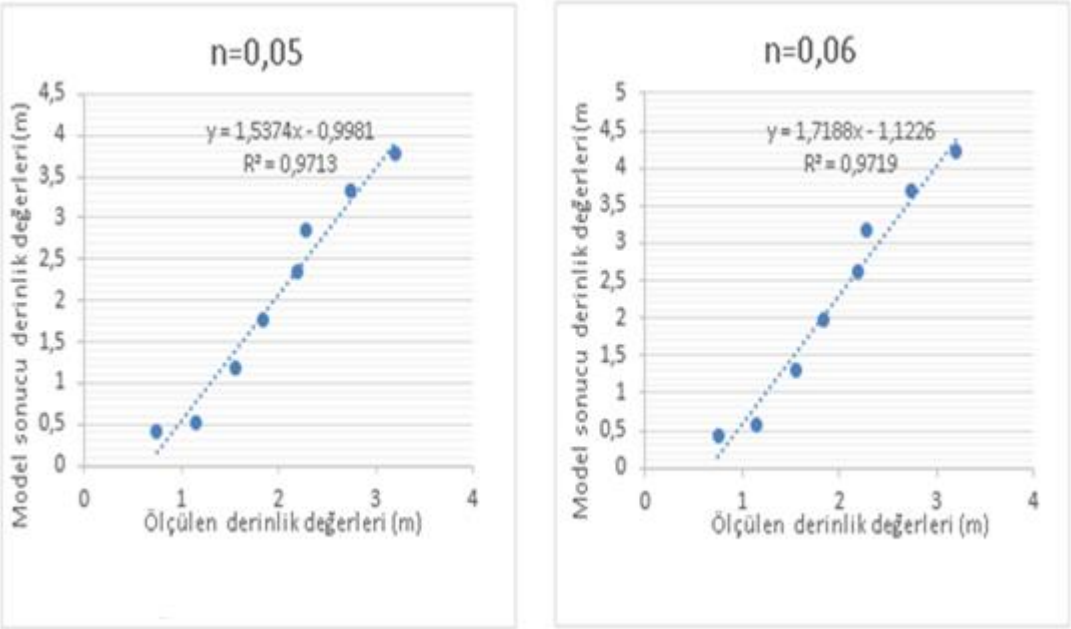




**Şekil 5.11:** Pürüzlülük katsayısı 0,01 ve 0,02 için model sonucu hesaplanan derinlik ile ölçülen derinlik arasındaki korelasyon

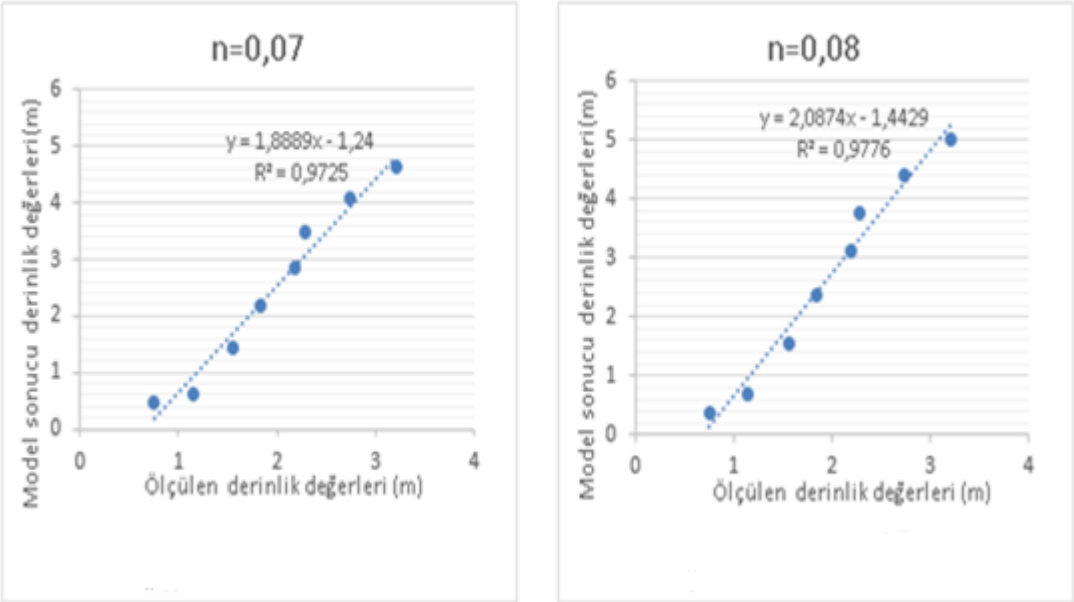



**Şekil 5.12:** Pürüzlülük katsayısı 0,03 ve 0,04 için model sonucu hesaplanan derinlik ile ölçülen derinlik arasındaki korelasyon



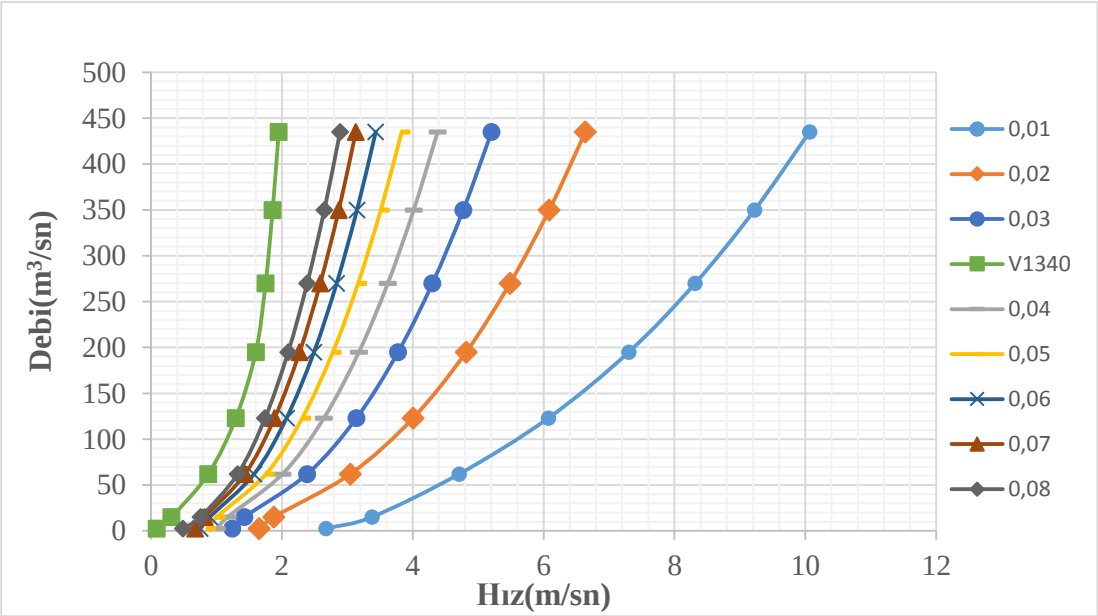

**Şekil 5.13:** Pürüzlülük katsayısı 0,05 ve 0,06 için model sonucu hesaplanan derinlik ile ölçülen derinlik arasındaki korelasyon



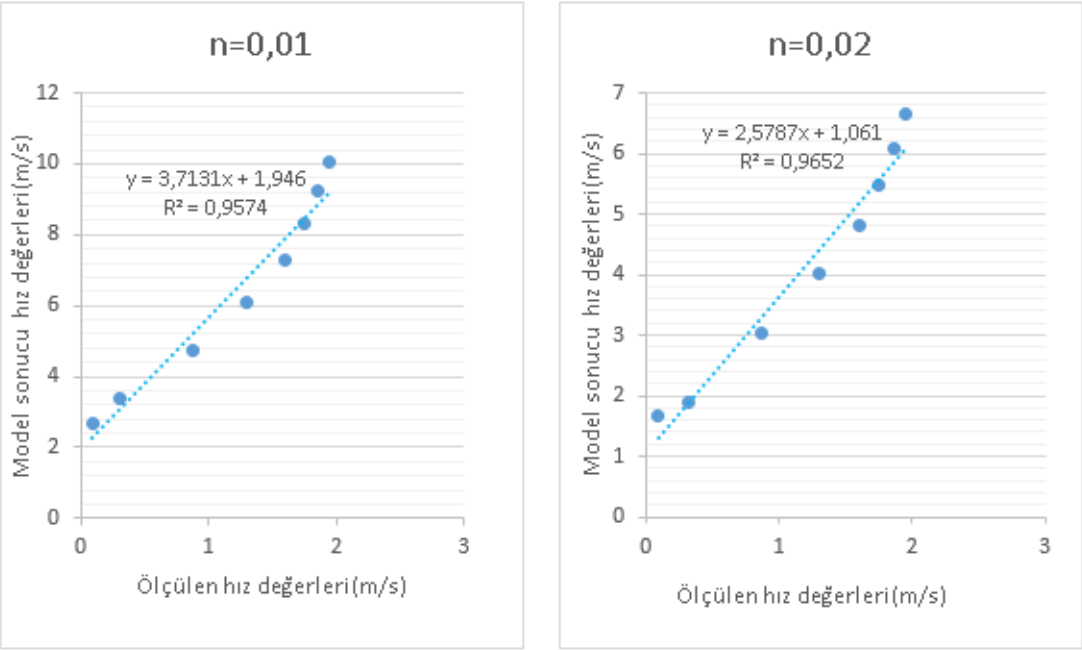

**Şekil 5.14:** Pürüzlülük katsayısı 0,07 ve 0,08 için model sonucu hesaplanan derinlik ile ölçülen derinlik arasındaki korelasyon

**Çizelge 5.7:** Farklı n değerleri için modeldeki hız ($V_m$) değer tablosu

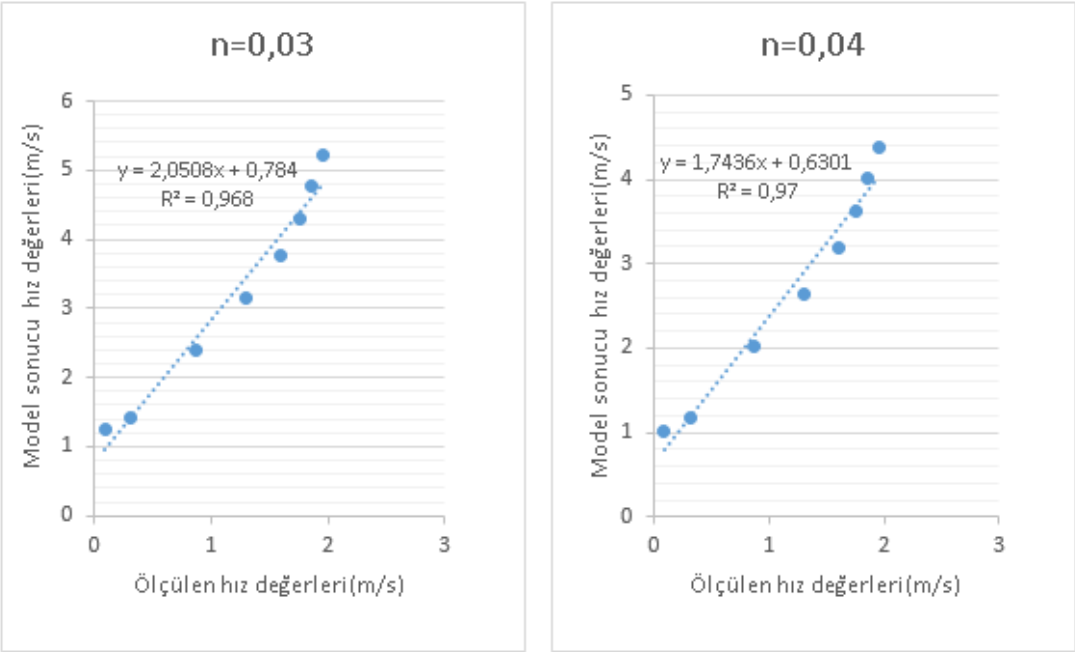
| Q | $V_{mn0,01}$ (m/s) | $V_{mn0,02}$ (m/s) | $V_{mn0,03}$ (m/s) | $V_{mn0,04}$ (m/s) | $V_{mn0,05}$ (m/s) | $V_{mn0,06}$ (m/s) | $V_{mn0,07}$ (m/s) | $V_{mn0,08}$ (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,55 | 2,674 | 1,653 | 1,241 | 1,01 | 0,86 | 0,754 | 0,674 | 0,491 |
| 15,3 | 3,382 | 1,879 | 1,427 | 1,172 | 1,005 | 0,9 | 0,821 | 0,758 |
| 62 | 4,709 | 3,046 | 2,388 | 2,01 | 1,758 | 1,576 | 1,437 | 1,326 |
| 123 | 6,073 | 4,006 | 3,141 | 2,643 | 2,312 | 2,072 | 1,889 | 1,744 |
| 195 | 7,302 | 4,817 | 3,777 | 3,178 | 2,78 | 2,492 | 2,272 | 2,097 |
| 270 | 8,317 | 5,487 | 4,302 | 3,62 | 3,166 | 2,838 | 2,588 | 2,388 |
| 350 | 9,226 | 6,087 | 4,773 | 4,016 | 3,513 | 3,149 | 2,871 | 2,65 |
| 435 | 10,065 | 6,64 | 5,206 | 4,381 | 3,832 | 3,435 | 3,131 | 2,89 |



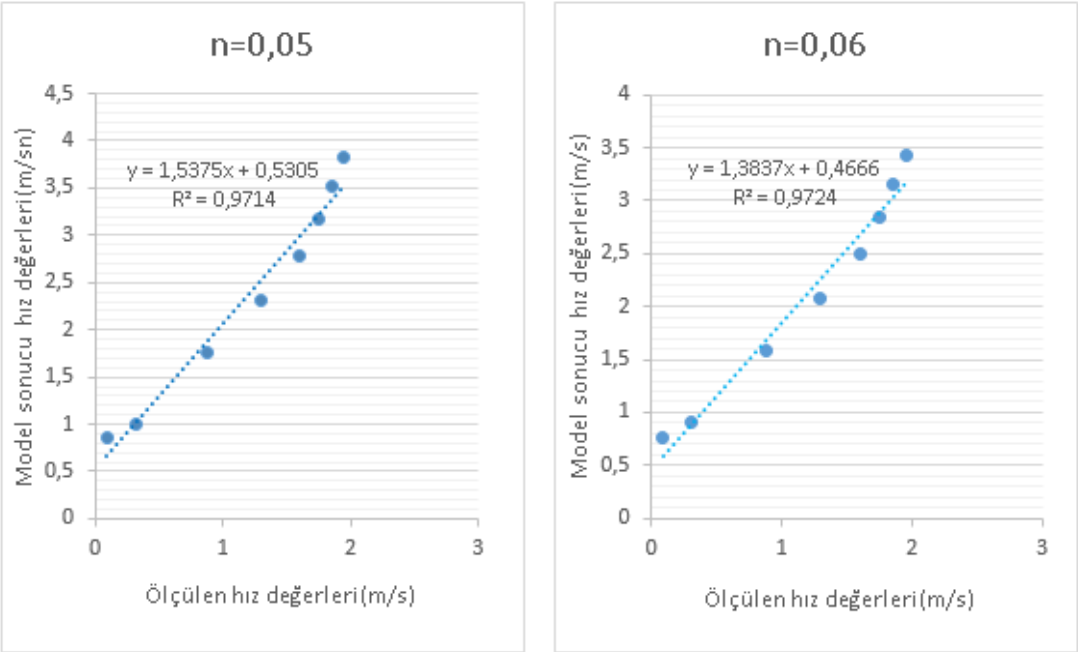

**Şekil 5.15:** Farklı n değerlerine göre modeldeki akarsu hızları



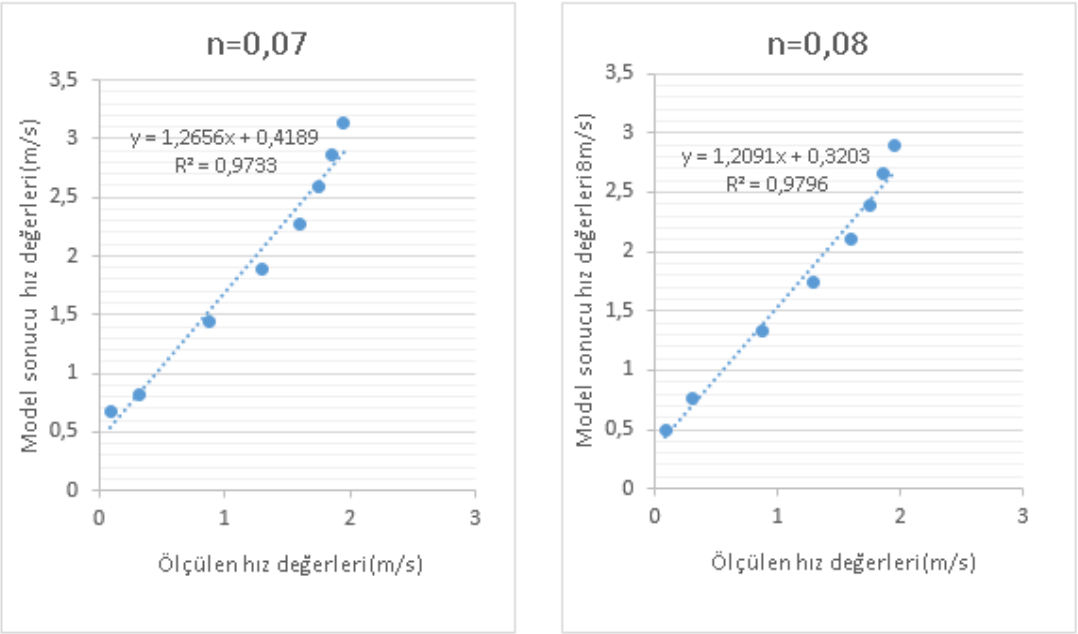

**Şekil 5.16:** Pürüzlülük katsayısı 0,01 ve 0,02 için model sonucu hesaplanan hız ile ölçülen hız arasındaki korelasyon




**Şekil 5.17:** Pürüzlülük katsayısı 0,03 ve 0,04 için model sonucu hesaplanan hız ile ölçülen hız arasındaki korelasyon




**Şekil 5.18:** Pürüzlülük katsayısı 0,05 ve 0,06 için model sonucu hesaplanan hız ile ölçülen hız arasındaki korelasyon




**Şekil 5.19:** Pürüzlülük katsayısı 0,07 ve 0,08 için model sonucu hesaplanan hız ile ölçülen hız arasındaki korelasyon

Farklı n değerlerinde istatiksel analizler yapılmış ve ilgili sonuçlar tablolarda belirtilmiştir.Yapılan regresyon analizi sonucunda bulunmuş olan korelasyon katsayılarına bakıldığında n değerinin 0,08 alınması uygun görülmüştür (Şekil 5.19).

### 5.1.5 Model sonuçlarının sucul canlılar açısından değerlendirilmesi

Modelde kullanılan farklı debi miktarları için akarsu hız ve derinlik değerleri bulunmuştur. Suda yaşayan çeşitli balık türlerinin aktivitelerini normal bir şekilde gerçekleştirebilmesi için akarsudaki minimum su hızının ve derinliğinin sağlanması gerekmektedir. Akarsu ekosisteminde yer aldığı kabul edilen balık türleri için gerekli olan su hızları ve su derinliği Çizelge 5.8'de belirtilmiştir. Minimum su hızı ve su derinliğini sağlayan akarsu debisi hidrolik açıdan gerekli olan ekolojik ihtiyaç debisi olarak kabul edilecektir.

**Çizelge 5.8:** Proje alanında tespit edilen balık türlerinin yaşayabildiği minimum su derinliği ve akıntı hızı (Karakaya, 2006)

| Balık adı | Ortam | Minimum akım hızı(m/s) | Minimum derinlik(m) |
|---|---|---|---|
| Noktalı İnci Balığı | Taşlık ve çakıllı zeminleri tercih eder. Zaman zaman akıntıya karşı yüzerek yaşar. Yumurtalarını suların hareketli olduğu bölgelerdeki çakıllar üzerine bırakır. | 0,05–0,2 | 0,4-0,8 |
| Ak Balık | Yumurtalarını genellikle çakıllı bölgelere bırakır. | <0,05 | 0,4-0,8 |
| Aynalı Sazan | Su hızının düşük olduğu yerleri tercih eder. Yumurtalarını zemini bitki ile kaplı oldukça sakin ve sığ su ortamlarına bırakır. | <0,2 | <0,5 |
| Turna Balığı | Akarsuların Abramis zonunda yaşar. Su hızının düşük olduğu sazlık ve otluk bölgeleri tercih eder. | <0,05 | >0.8 |

Su derinligi-debi ve su hızı-debi arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacı ile Çizelge 5,9' da verilen ve model sonucu elde edilen su derinliği ve hız değerlerinden yararlanılmıştır.

**Çizelge 5.9:** Model sonucu elde edilen su derinliği ve hız değerleri

| Q ($m^3/s$) | V (m/s) | h (m) |
|---|---|---|
| 2,55 | 0,491 | 0,353 |
| 15,3 | 0,758 | 0,673 |
| 17,85 | 0,806 | 0,738 |
| 44,15 | 1,158 | 1,271 |
| 62 | 1,326 | 1,559 |
| 72 | 1,408 | 1,705 |
| 80 | 1,468 | 1,816 |
| 85 | 1,504 | 1,884 |
| 122,55 | 1,741 | 2,346 |
| 123 | 1,744 | 2,351 |
| 147,45 | 1,875 | 2,621 |
| 195 | 2,097 | 3,1 |
| 270 | 2,388 | 3,768 |
| 350 | 2,65 | 4,403 |
| 435 | 2,89 | 5,017 |

Su derinliği-debi ve su hızı-debi arasındaki ilişkiden yararlanılarak su derinliği ve su hızı sırası ile 0,8 m ve 0.2 m/s'ye denk gelen debi değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Hızın 0,2 m/s olduğu durumda su derinliği 0,8 metrenin altında olduğundan, akarsuda bulunması gereken minimum akarsu debisi SİSMOD modeli ile hesaplanarak $EİD_h$ 20,42 m/s bulunmuştur.

**Çizelge 5.10:** Su derinliği ve su hızı açısından bulunması gereken debi miktarları

| Q ($m^3/s$) | V (m/s) | H (m) |
|---|---|---|
| 0,07 | 0,2 | 0,092 |
| 20,42 | 0,85 | 0,8 |

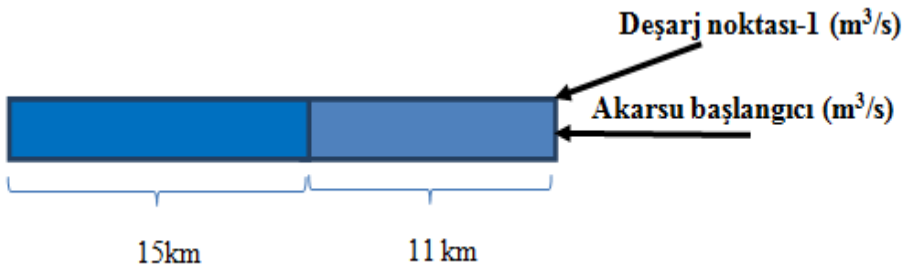
## 5.2 Su Kalitesi Açısından Değerlendirmede SİSMOD Modelinin Kullanılması

Su kalitesi modelleme çalışması sonucu akarsudaki su kalitesi durumu ortaya koyulabilmekte ve su kalitesi yönetimi için çeşitli yönetim alternatiflerinin etkilerinin öngörülebilmesi sağlanmaktadır.

Model; akarsu sistemindeki çözünmüş oksijen, karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı, organik azot, amonyum azotu, nitrat azotu, organik fosfor ve fosfat fosforu konsantrasyonlarını hesaplayabilmektedir.

### 5.2.1 Model ağının oluşturulması

Akarsu için oluşturulan model ağı Şekil 5.20'de verilmiştir. Akarsuya başlangıç noktasında bir deşarj kaynağı bulunmaktadır. Akarsu iki bölüme ayrılmış olup, akarsu bölümleri için model girdileri Çizelge 5.11'de verilmiştir.




**Şekil 5.20:** Akarsu model ağı

**Çizelge 5.11:** Akarsu bölümleri ile ilgili model girdileri

| Akarsu Bölümü | Bölüm no | Tür | Enkesit no | Deşarj no | Mansptaki Akarsu Bölümü | Memba Bölümleri Sayısı | Memba bölümleri | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol 0-11 km | 1 | Akarsu Başlangıcı-1 | 1 | Deşarj var | 2 | 1 | -1 | | |
| Ana kol 11-26 km | 2 | Akarsuyun sonu-3 | 1 | Deşarj yok | 0 | 1 | 1 | | |

### 5.2.2 Akarsu enkesiti ve yatağı ile ilgili bilgilerin oluşturulması

Akarsu enkesiti ile ilgili model girdileri için hidrolik hesaplamalarda kullanılan düzensiz enkesit verileri alınmıştır. Çizelge 5.12'de akarsu düzensiz enkesiti koordinatları verilmiştir.

**Çizelge 5.12:** Akarsu düzensiz enkesiti girdileri

| Nokta sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X(m) | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 |
| Y(m) | 1,26 | 0,9 | 0,06 | 0 | 0,78 | 0,87 | 0,74 | 1 | 0,89 | 1 | 1,26 |

Akarsudaki pürüzlülük katsayısı 0,08 olarak kabul edilmiştir. Akarsu kanal taban eğimi tüm akarsu bölümleri boyunca aynı kabul edilerek 0,0063 alınmıştır. Çizelge 5.13'de akarsu enkesiti ile ilgili model girdileri oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.13:** Akarsu enkesiti ile ilgili model girdileri

| Akarsu Bölümü | Enkesit No | Kanal Taban Eğimi | Manning Katsayısı | Enkesit Türü |
|---|---|---|---|---|
| Ana kol 0-11 km | 1 | 0,0063 | 0,08 | 4 |
| Ana kol 11-26 km | 1 | 0,0063 | 0,08 | 4 |

### 5.2.3 Akarsu başlangıcı ve deşarjlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması

Akarsu başlangıçları ve noktasal kaynaklar ile ilgili model girdileri Çizelge 5.14'de verilmiştir. Akarsu başlangıçlarında ve deşarj noktalarındaki debinin ve modellenen tüm su kalitesi değişkenlerinin konsantrasyonlarının tanımlanmaları gerekmektedir.

**Çizelge 5.14:** Akarsu için akarsu başlangıcı ile ilgili model girdileri

| Akarsu Başlangıcı | Debi ($m^3/s$) | BOİ (mg/L) | Ç.O.(mg/L) | OrgN (mg/L) | $NH_4$-N (mg/L) | $N0^{3-}$ N (mg/L) | Org P (mg/L) | $PO_4^3$-P (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol başlangıcı 0-11 km | 19 | 5 | 8,6 | 1,2 | 0,2 | 1,5 | 0,01 | 0,08 |
| Deşarj | 1,42 | 100 | 2,5 | 8 | 30 | 3,5 | 1 | 1 |

### 5.2.4 Debisiz yayılı yükler ile ilgili model girdilerinin oluşturulması

Bu model girdileri trafik, yakıt tüketimi gibi tüm atmosfer kaynaklı birikim tabanlı yükleri içermektedir. Akarsu bölümüne giren debisiz yayılı yükler kg/km.gün birimindedir. Debisiz yayılı yükler her akarsu bölümü için modele girilmelidir. Akarsu bölümüne herhangi bir su kalitesi değişkeni ile ilgili debisiz yayılı yük girmiyorsa, bu

değişken ile ilgili debisiz yayılı yük 0 girilir. Debisiz yayılı yük ile ilgili model girdileri Çizelge 5.15'de verilmiştir.

**Çizelge 5.15:** Debisiz yayılı yükler ile ilgili model girdileri

| Akarsu Başlangıcı | Bölüm no | BOİ (kg/gün.km) | OrgN (kg/gün.km) | $NH_4$-N (kg/gün.km) | $N0^{3-}$ N (kg/gün.km) | Org P (kg/gün.km) | $PO_4^3$-P (kg/gün. km) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol başlangıcı 0-11 km | 1 | 5 | 1,2 | 0,2 | 1,5 | 0,01 | 0,08 |
| Ana kol 11-26 km | 2 | 55 | 20 | 18 | 30 | 2,5 | 5 |

### 5.2.5 Yayılı yan akımlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması

Yayılı yan girişlerde, debi ve benzetimi yapılan su kalitesi değişkenlerinin tümü tanımlanmalıdır. Herhangi bir akarsu bölümünde yayılı yan giriş yoksa debi sıfır girilmelidir. Akarsu model ağı oluşturulurken havzadan gelen yayılı yan akım olmadığı kabul edilmiştir.

### 5.2.6 Akarsu bölümleri ile ilgili model girdilerinin oluşturulması

Akarsu boyunca tuzluluk 0,2 ppt'dir. Sıcaklık ana kolda iki akarsu bölümünde de 23 $^0$C dir. Ana kolun başlangıç rakımı 53 m'dir. Akarsu bölümlerinin uzunlukları ve ortalama kanal taban eğimleri bilindiğinden her akarsu bölümünün başlangıcındaki ve sonundaki rakımların ortalaması alınarak, karakteristik bir rakım hesaplanabilir. Tüm bu veriler ışığında akarsu bölümlerininin özellikleri ile ilgili model girdileri Çizelge 5.16'da verilmiştir.

**Çizelge 5.16:** Akarsu bölümlerindeki sıcaklık, tuzluluk, rakım ve uzunluk değerleri

| Akarsu Başlangıcı | Bölüm no | Uzunluk (km) | Sıcaklık ($^0$C) | Tuzluluk (ppt) | Rakım (m) | Grafik nokta sayısı | Hesap nokta sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol başlangıcı 0-11 km | 1 | 11 | 23 | 0,2 | 53 | 20 | 200 |
| Ana kol 11-26 km | 2 | 15 | 23 | 0,2 | 24 | 20 | 200 |

### 5.2.7 Yayılı yan akımlarla ilgili model girdilerinin oluşturulması

Kinetik katsayıların tümünün sıcaklıkla değişimi, Arrhenius denklemi ile ifade edilmiş olup, temel sıcaklık olarak 20°C alınmıştır. Modelin bu aşamasında havalanma hızı $K_A$ (gün$^{-1}$) ve $S_B$ (mg.L$^{-1}$.gün$^{-1}$) değerleri dışındaki kinetik katsayılar literatürden, Çilek (2005) ve Ertürk (2009)'dan alınarak kabul edilmiştir.

#### 5.2.7.1 Havalandırma hızı katsayısı

Akarsularda oksijen kazanımını tahmin etmek için birçok formül geliştirilmiştir. Bu formüllerin arasından O'Connorr-Dobbins, Churchill ve Owens-Gibbs en yaygın olarak kullanılan formüllerdir.

Churchill ve diğ., (1962) Tennessee Nehri vadisindeki barajlardan giden suyun oksijenle doymamış olduğunu görmüşlerdir. Bu yüzden, barajların altındaki alanlarda oksijen seviyesini ölçmüşler ve ilgili oksijen kazanım hızını belirleyen Denklem 5.1'i elde etmişlerdir. Bu denklemde V, m/s cinsinden akarsu hızı, h, metre cinsinden derinlik değeri olarak verilmiştir.

$$\mathrm{K}_A = 5{,}026\frac{V}{h^{1{,}67}} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Owens-Gibbs, (1964) Büyük Britanya'da akıntıya sülfit ilave ederek oksijen tüketiminin nasıl olduğunu incelemiş ve Denklem 5.2'yi elde etmiştir.

$$\mathrm{K}_A = 5{,}032\frac{V^{0{,}67}}{h^{1{,}67}} \qquad \textbf{(5.2)}$$

O'Connorr-Dobbins (1956), oksijen kazanım hızını yaptığı çalışmalar sonucu Denklem 5.3'deki gibi tanımlamıştır.

$$\mathrm{K}_A = 3{,}93\frac{V^{0{,}5}}{h^{1{,}5}} \qquad \textbf{(5.3)}$$

Formüller arasında Covar (1976), tarafından yapılan ve Çizelge 5.17'de verilen karşılaştırmada O'Connorr-Dobbins denkleminin orta derecede derin akıntılar için orta hızlardan yavaş hızlara kadar daha iyi sonuç verdiğini, Churchill formülünün daha hızlı akıntılar için uygun olduğunu ve Owens-Gibbs formülünün daha sığ sistemler için kullanılabileceğini öngörmüştür.

**Çizelge 5.17:** $K_A$ değeri hesaplanmasında kullanılan formüllerin derinlik ve hız aralıkları

| Parametre | Churchill | O'Connorr-Dobbins | Owens-Gibbs |
|---|---|---|---|
| Hız(m/s) | 0,55-1,52 | 0,15-0,49 | 0,03-055 |
| Derinlik(m) | 0,61-3,35 | 0,30-9,14 | 0,12-0,73 |

Modeldeki akarsu bölümlerine göre $K_A$ değerini bulmak için hidrolik değerlendirme aşamasında $EİD_h$ olarak kabul edilen 20,42 $m^3$/sn' lik debiye denk gelen hız ve derinlik değerleri alınmıştır (Çizelge 5.18).

**Çizelge 5.18:** Model sonucu hız ve derinlik değerleri

| Uzaklık (km) | Debi ($m^3$/ s) | Maksimum Derinlik (m) | Derinlik (m) | Enkesit alanı ($m^2$) | Hız (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 |

Model sonucu hız ve derinlik değerlerine bakıldığında $K_A$ değerinin hesaplanması için Churchill tarafından bulunan formülün kullanılması öngörülmüştür. Denklem 5.4'ten yararlanılarak V yerine 0,85 m/s ve h yerine de 0,8 m yazılarak $K_A$ değeri 6,2 $gün^{-1}$ olarak bulunur.

$$KA = 5{,}026 \frac{0{,}85}{0{,}8^{1{,}67}} = 6{,}2 \qquad \textbf{(5.5)}$$

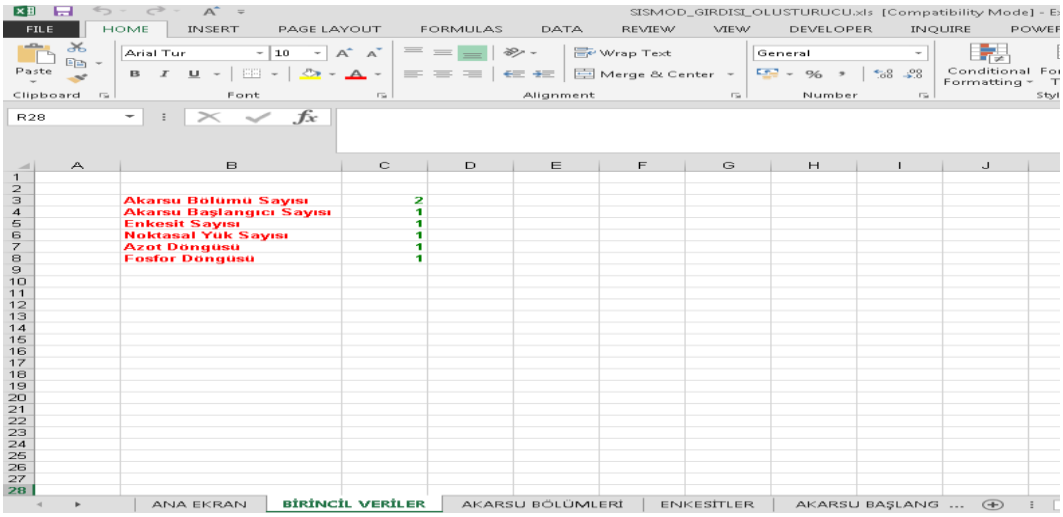
Her debi değişikliğinde havalandırma hızı katsayısı derinlik ve hız değerlerine bakılarak tekrar hesaplanabilmektedir.

### 5.2.7.2 Sediment oksijen ihtiyacı katsayısı

Akarsunun dibine çöken organik maddeler, mikroorganizmalar vasıtasıyla biyolojik olarak ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırma sırasında mikroorganizmalar oksijen ihtiyacı gösterirler. Edward ve Rolley (1965), 8 mg/L'ye kadar olan oksijen konsantrasyonunda, dip çamurunun oksijen ihtiyacının sudaki oksijene bağlı olduğunu belirtmiştir. Whittemore (1984), tarafından yapılan araştırmalarda farklı akarsu tipleri için sediment oksijen ihtiyacı tanımlanmıştır. Modelde kullanılacak sediment oksijen ihtiyacı katsayısı 1,4 $gO_2/m^2$.gün olarak alınmıştır.

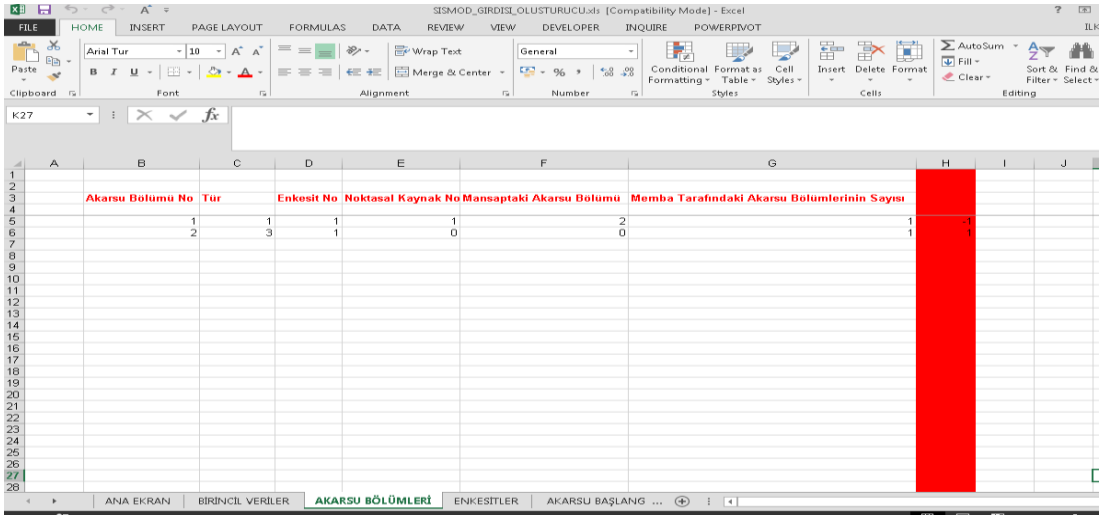
### 5.2.8 Modelin çalıştırılması

SİSMOD girdi oluşturucu ekranından birincil veriler sayfasından akarsu bölümü, başlangıç ve enkesit sayıları Şekil 5.21'deki gibi girilir.



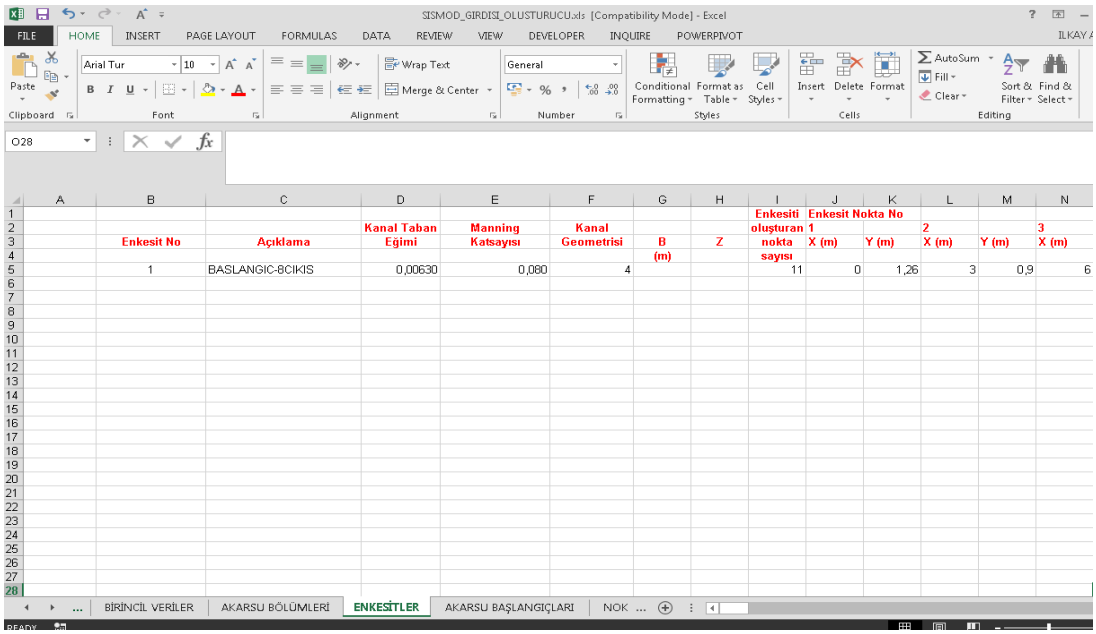

**Şekil 5.21:** Birincil veri sayfası

Akarsu bölümleri sayfasına daha önceden oluşturulan akarsu bölümlerinin yer aldığı model girdi tablosundaki veriler Şekil 5.22'deki gibi girilir.




**Şekil 5.22:** Akarsu bölümleri sayısı

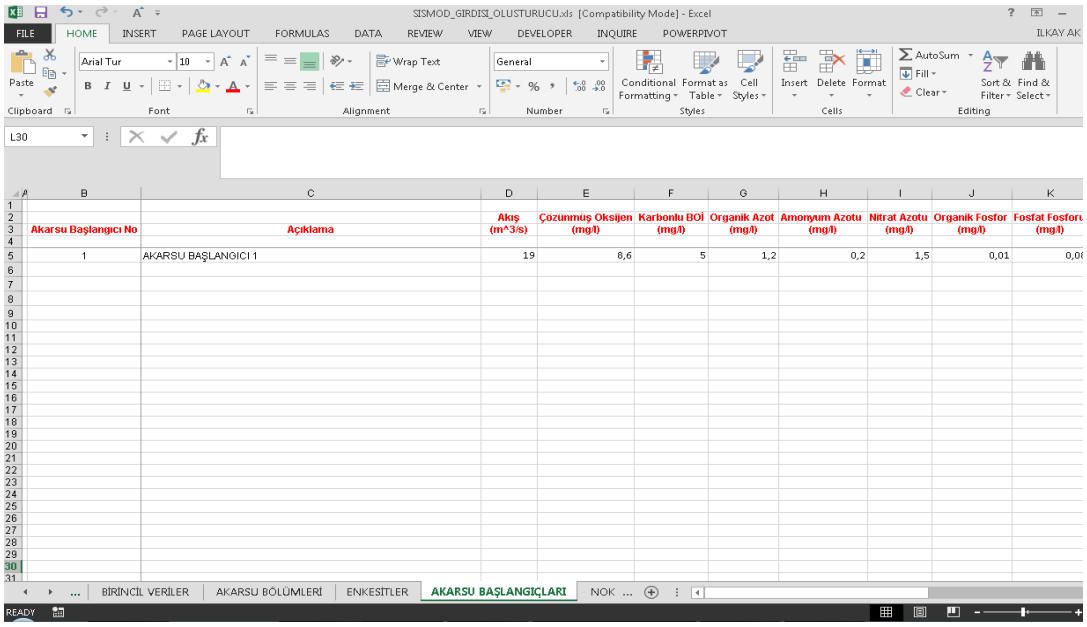
Şekil 5.23'de enkesit sayfasına, kanal yapısını belirten enkesit türü, kanal taban eğimi ve Manning katsayısı yazılır. Kanal geometrisi düzenli enkesit veya düzensiz enkesit olarak ayrılmaktadır.



| Enkesit No | Açıklama | Kanal Taban Eğimi | Manning Katsayısı | Kanal Geometrisi | B (m) | Z | Enkesiti oluşturan nokta sayısı | Enkesit Nokta No 1 X (m) | 1 Y (m) | 2 X (m) | 2 Y (m) | 3 X (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BASLANGIC-8CIKIS | 0,00630 | 0,080 | 4 | | | 11 | 0 | 1,26 | 3 | 0,9 | 6 |

**Şekil 5.23:** Enkesit sayfası

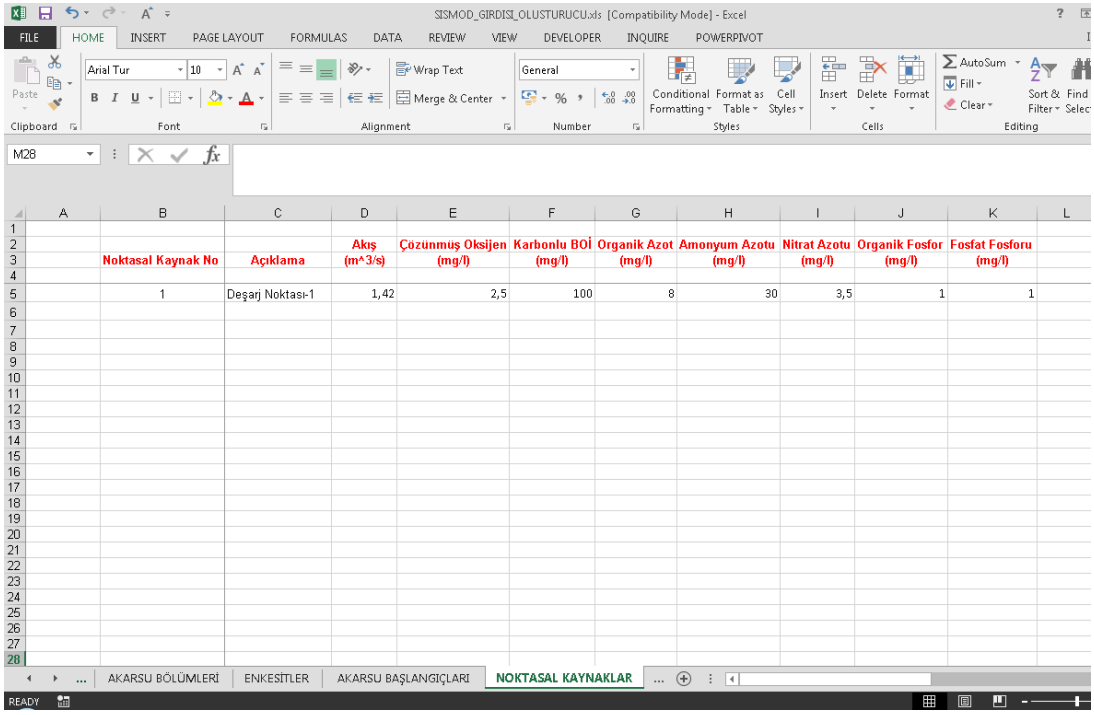
Akarsu başlangıçları sayfasına Şekil5.24'deki gibi akarsu kollarındaki debi miktarı ve akarsu başlangıçındaki su kalitesi ile ilgili tüm parametreler girilir.



| Akarsu Başlangıcı No | Açıklama | Akış (m^3/s) | Çözünmüş Oksijen (mg/l) | Karbonlu BOİ (mg/l) | Organik Azot (mg/l) | Amonyum Azotu (mg/l) | Nitrat Azotu (mg/l) | Organik Fosfor (mg/l) | Fosfat Fosforu (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AKARSU BAŞLANGICI 1 | 19 | 8,6 | 5 | 1,2 | 0,2 | 1,5 | 0,01 | 0,0 |

**Şekil 5.24:** Akarsu başlangıçları ve su kalitesi değerleri sayfaları

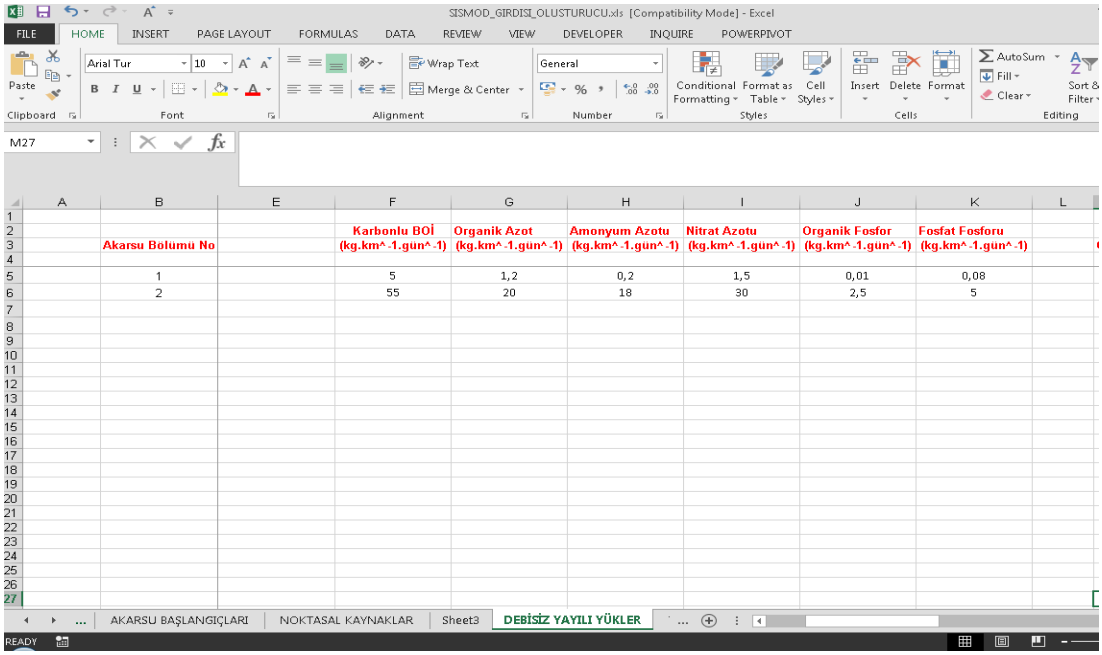
Akarsuya bırakılan noktasal kaynaklarla ilgili debi ve su kalitesi parametreleri Şekil 5. 25'deki gibi girilir.



| Noktasal Kaynak No | Açıklama | Akış (m^3/s) | Çözünmüş Oksijen (mg/l) | Karbonlu BOİ (mg/l) | Organik Azot (mg/l) | Amonyum Azotu (mg/l) | Nitrat Azotu (mg/l) | Organik Fosfor (mg/l) | Fosfat Fosforu (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Deşarj Noktası-1 | 1,42 | 2,5 | 100 | 8 | 30 | 3,5 | 1 | 1 |

**Şekil 5.25:** Noktasal kaynaklar veri giriş sayfası

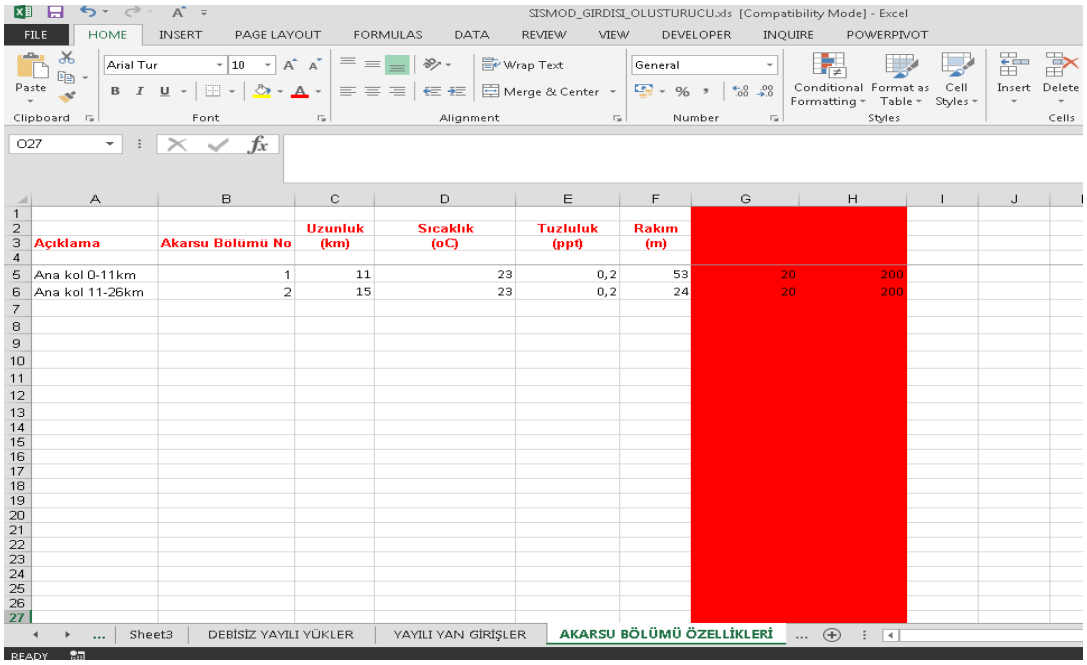
Akarsu havzasındaki debisiz yayılı yükler ve onlara ait su kalitesi parametreleri Şekil 5.26'daki gibi girilir.



| Akarsu Bölümü No | Karbonlu BOİ (kg.km^-1.gün^-1) | Organik Azot (kg.km^-1.gün^-1) | Amonyum Azotu (kg.km^-1.gün^-1) | Nitrat Azotu (kg.km^-1.gün^-1) | Organik Fosfor (kg.km^-1.gün^-1) | Fosfat Fosforu (kg.km^-1.gün^-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 1,2 | 0,2 | 1,5 | 0,01 | 0,08 |
| 2 | 55 | 20 | 18 | 30 | 2,5 | 5 |

**Şekil 5.26:** Debisiz yayılı yükler veri giriş sayfası

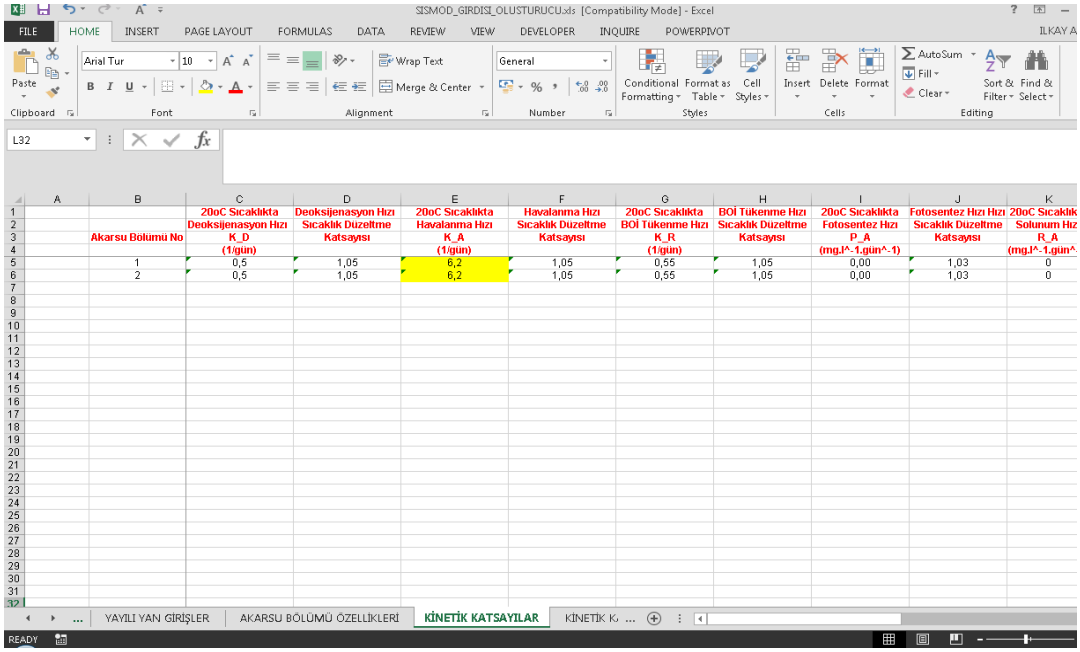
Akarsu bölümlerine ait sıcaklık, uzunluk, tuzluluk ve rakım değerleri akarsu bölümü özelliklerindeki veri giriş sayfasına Şekil 5.27'deki gibi yazılır.



| Açıklama | Akarsu Bölümü No | Uzunluk (km) | Sıcaklık (oC) | Tuzluluk (ppt) | Rakım (m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ana kol 0-11km | 1 | 11 | 23 | 0,2 | 53 | 20 | 200 |
| Ana kol 11-26km | 2 | 15 | 23 | 0,2 | 24 | 20 | 200 |

**Şekil 5.27:** Akarsu bölümü özellikleri veri giriş sayfası

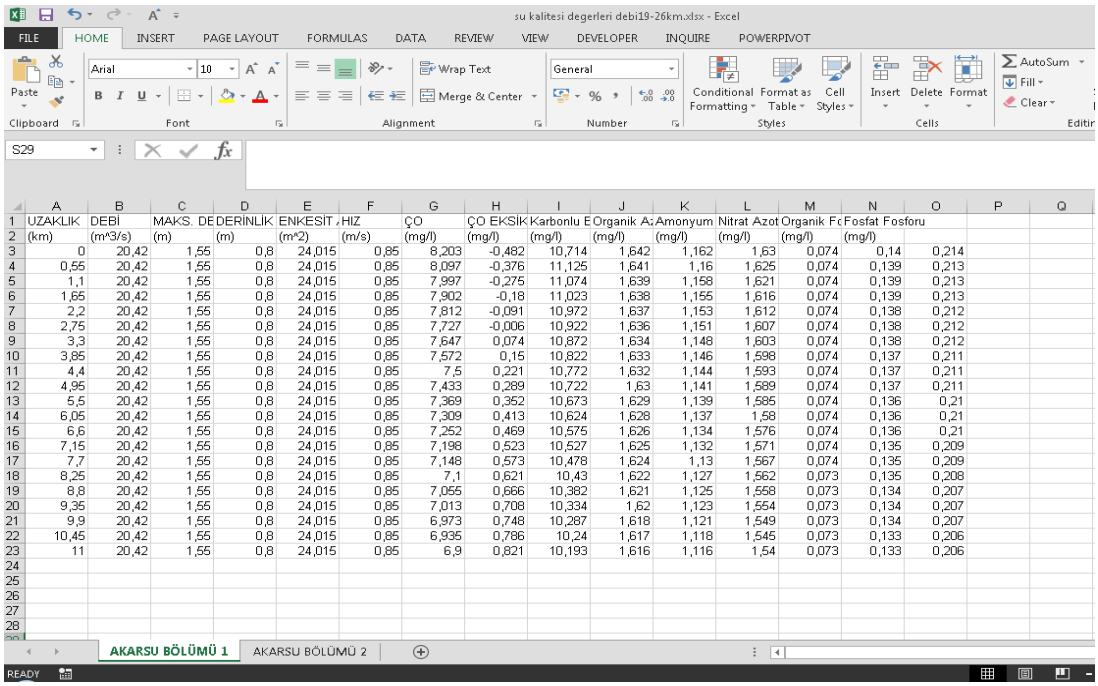
Akarsu su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan formüllerde yer alan kinetik katsayılarla ilgili bilgiler Şekil 5.28'deki gibi kinetik katsayılar veri giriş sayfasına girilir.



| Akarsu Bölümü No | 20oC Sıcaklıkta Deoksijenasyon Hızı K_D (1/gün) | Deoksijenasyon Hızı Sıcaklık Düzeltme Katsayısı | 20oC Sıcaklıkta Havalanma Hızı K_A (1/gün) | Havalanma Hızı Sıcaklık Düzeltme Katsayısı | 20oC Sıcaklıkta BOİ Tükenme Hızı K_R (1/gün) | BOİ Tükenme Hızı Sıcaklık Düzeltme Katsayısı | 20oC Sıcaklıkta Fotosentez Hızı P_A (mg.l^-1.gün^-1) | Fotosentez Hızı Hızı Sıcaklık Düzeltme Katsayısı | 20oC Sıcaklık Solunum Hız R_A (mg.l^-1.gün^- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,5 | 1,05 | 6,2 | 1,05 | 0,55 | 1,05 | 0,00 | 1,03 | 0 |
| 2 | 0,5 | 1,05 | 6,2 | 1,05 | 0,55 | 1,05 | 0,00 | 1,03 | 0 |

**Şekil 5.28:**Kinetik katsayılar veri giriş sayfası

Verilerle ilgili girişler tamamlandıktan sonra daha önce hesaplanan 20,42 $m^3/s$ olan $EİD_h$ için model çalıştırılır.(Şekil 5.29).



| UZAKLIK | DEBİ | MAKS. DE | DERİNLİK | ENKESİT | HIZ | ÇO | ÇO EKSİk | Karbonlu E | Organik A | Amonyum | Nitrat Azot | Organik Fo | Fosfat Fosforu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (km) | (m^3/s) | (m) | (m) | (m^2) | (m/s) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| 0 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 8,203 | -0,482 | 10,714 | 1,642 | 1,162 | 1,63 | 0,074 | 0,14 | 0,214 |
| 0,55 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 8,097 | -0,376 | 11,125 | 1,641 | 1,16 | 1,625 | 0,074 | 0,139 | 0,213 |
| 1,1 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,997 | -0,275 | 11,074 | 1,639 | 1,158 | 1,621 | 0,074 | 0,139 | 0,213 |
| 1,65 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,902 | -0,18 | 11,023 | 1,638 | 1,155 | 1,616 | 0,074 | 0,139 | 0,213 |
| 2,2 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,812 | -0,091 | 10,972 | 1,637 | 1,153 | 1,612 | 0,074 | 0,138 | 0,212 |
| 2,75 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,727 | -0,006 | 10,922 | 1,636 | 1,151 | 1,607 | 0,074 | 0,138 | 0,212 |
| 3,3 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,647 | 0,074 | 10,872 | 1,634 | 1,148 | 1,603 | 0,074 | 0,138 | 0,212 |
| 3,85 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,572 | 0,15 | 10,822 | 1,633 | 1,146 | 1,598 | 0,074 | 0,137 | 0,211 |
| 4,4 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,5 | 0,221 | 10,772 | 1,632 | 1,144 | 1,593 | 0,074 | 0,137 | 0,211 |
| 4,95 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,433 | 0,289 | 10,722 | 1,63 | 1,141 | 1,589 | 0,074 | 0,137 | 0,211 |
| 5,5 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,369 | 0,352 | 10,673 | 1,629 | 1,139 | 1,585 | 0,074 | 0,136 | 0,21 |
| 6,05 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,309 | 0,413 | 10,624 | 1,628 | 1,137 | 1,58 | 0,074 | 0,136 | 0,21 |
| 6,6 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,252 | 0,469 | 10,575 | 1,626 | 1,134 | 1,576 | 0,074 | 0,136 | 0,21 |
| 7,15 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,198 | 0,523 | 10,527 | 1,625 | 1,132 | 1,571 | 0,074 | 0,135 | 0,209 |
| 7,7 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,148 | 0,573 | 10,478 | 1,624 | 1,13 | 1,567 | 0,074 | 0,135 | 0,209 |
| 8,25 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,1 | 0,621 | 10,43 | 1,622 | 1,127 | 1,562 | 0,073 | 0,135 | 0,208 |
| 8,8 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,055 | 0,666 | 10,382 | 1,621 | 1,125 | 1,558 | 0,073 | 0,134 | 0,207 |
| 9,35 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 7,013 | 0,708 | 10,334 | 1,62 | 1,123 | 1,554 | 0,073 | 0,134 | 0,207 |
| 9,9 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 6,973 | 0,748 | 10,287 | 1,618 | 1,121 | 1,549 | 0,073 | 0,134 | 0,207 |
| 10,45 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 6,935 | 0,786 | 10,24 | 1,617 | 1,118 | 1,545 | 0,073 | 0,133 | 0,206 |
| 11 | 20,42 | 1,55 | 0,8 | 24,015 | 0,85 | 6,9 | 0,821 | 10,193 | 1,616 | 1,116 | 1,54 | 0,073 | 0,133 | 0,206 |

**Şekil 5.29:** Sonuçlar dosyası akarsular bölümü

### 5.2.9 Model sonuçlarının su kalitesi ve sucul canlılar açısından değerlendirilmesi

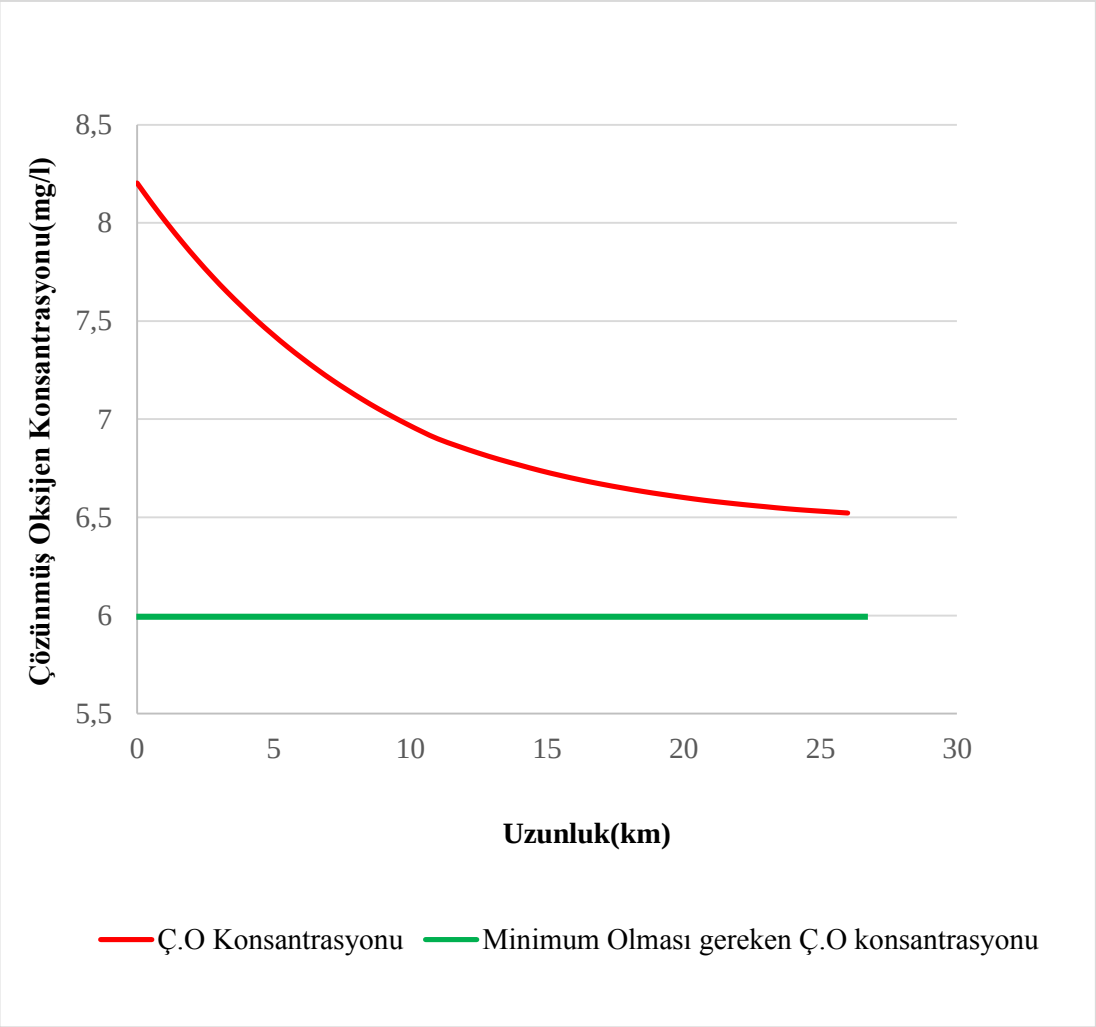
Modelde akarsu akış yönünde uzun bir alandan geçtikten sonra göl, baraj veya denize dökülmektedir. Akan su boyunca su kalitesindeki salınımlar, içinde barındırdığı faunayı da etkilemektedir.Genellikle su kalitesini belirlemek için yapılan klasik çalışmalarda fiziksel ve kimyasal veriler ölçüm yapılan yerin o andaki durumu hakkında bilgi vermektedir. Modelde akarsu boyunca su kalitesini etkileyen parametrelerin sonuçlarına ulaşılması, her noktada değerlendirme yapılma imkanını sunmaktadır.

Akarsularda su kalitesi ile ilgili düzenlemeler ve kısıtlamalar fizikokimyasal veriler kullanılarak, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'nde Kıtaiçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Tablosu'nda gösterilmektedir. Yüzeysel sular çerçevesinde akarsular, yüksek kaliteli, az kirlenmiş, kirli ve çok kirlenmiş sular olmak üzere 4 kalite sınıfı ile tanımlanmıştır (Çizelge 5.19).

Sınıf I'e ait olan yüksek kaliteli sular sadece dezenfeksiyon ile içme suyu temini, rekreasyonel amaçlar, alabalık üretimi hayvan üretimi ve çiftlik suyu ihtiyacı için kullanılabilmektedir. Sınıf II' ye ait olan az kirlenmiş sular ise ileri ve uygun bir arıtma ile içme suyu temini, rekreasyonel amaçlar, bazı balık türlerinin üretimi ve sulama suyu olarak kullanılır. Sınıf III'e ait olan kirlenmiş sular ise uygun bir arıtmadan sonra,

kaliteli su kullanımını gerektirmeyen endüstriyel aktiviteler için kullanılır. Sınıf IV'e ait çok kirlenmiş sular ise düşük kaliteli suları ifade etmekte olup, ileri düzeyde arıtma ile kullanılabilmektedir.

20,42 $m^3/s$ olan $EİD_h$ için su kalitesi parametreleri SKKY'de belirtilen kalite kriterlerine göre değerlendirildiğinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 6,5 ile 8,2 mg/L aralığında değiştiği görülmektedir (Şekil 5.30). Akarsudaki su kalitesinin değişmemesi için minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonu 6 mg/L'nin altına düşmemelidir.

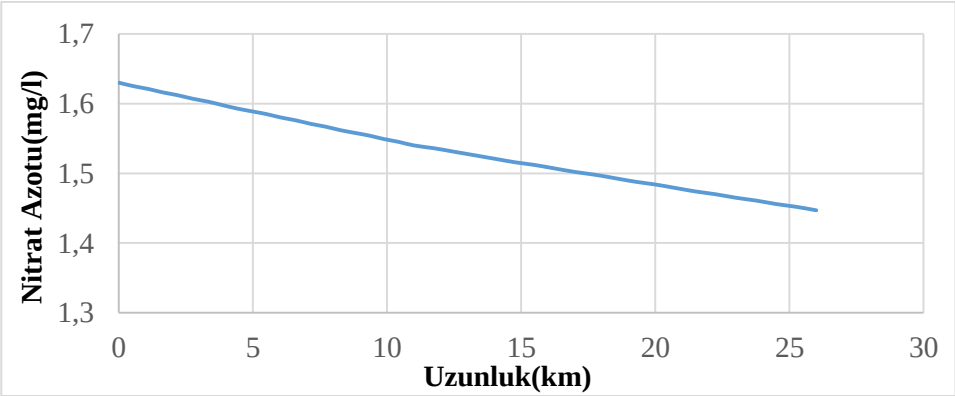



**Şekil 5.30:** $EİD_h$ göre Ç.O konsantrasyonu

**Çizelge 5.19:** Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği su kalite parametreleri

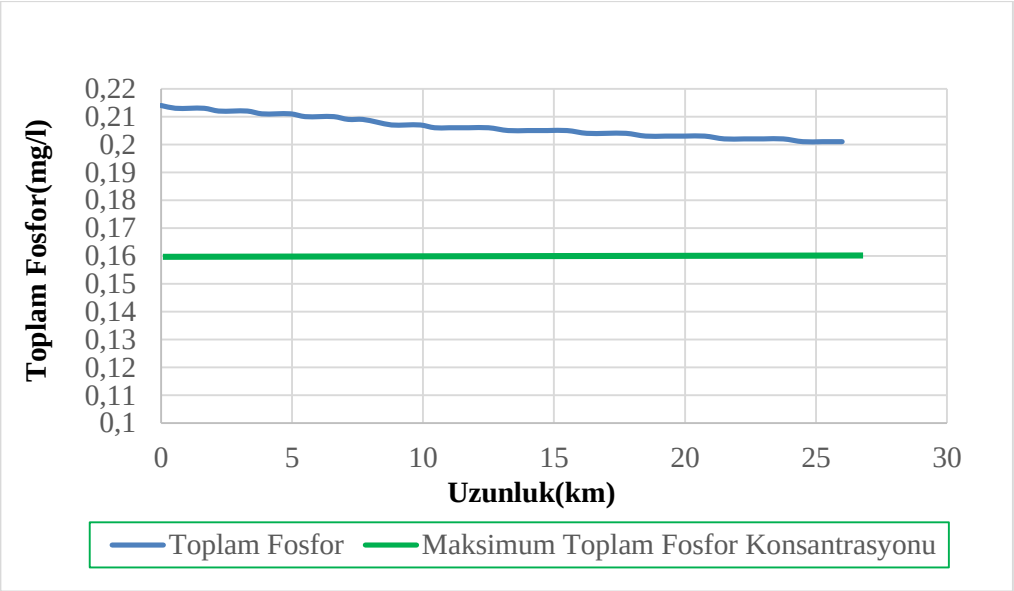
| Su kalite Parametreleri | Kıtaiçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (SKKY, 2012) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV |
| Sıcaklık($^0$C) | ≤ 25 | ≤ 25 | ≤ 30 | > 30 |
| pH | 6-5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,0-9,0 | 9,0 dışında |
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | >8 | 8-6 | 6-3 | <3 |
| (BOİ$_5$) (mg/L) | <4 | 4-8 | 8-20 | >20 |
| Amonyum azotu (mg $NH_4$/L) | <0,2$^b$ | 0,2-1$^b$ | 1-2$^b$ | >2 |
| Nitrit azotu(mg $NO_2^-$N/L) | <0,002 | 0,002-0,01 | 0,01-0,05 | > 0,05 |
| Nitrat Azotu(mg $NO_3^-$N/L) | < 5 | 5-10 | 10-20 | > 20 |
| Toplam Fosfor(mgP/L) | < 0,03 | 0,03-0,16 | 0,16-0,65 | > 0,65 |
| TÇM(mg/L) | 500 | 1500 | 5000 | >5000 |
| Renk(Pt-Co birimi) | 5 | 50 | 300 | >300 |
| Sodyum(mg $Na^+$/L) | 125 | 125 | 250 | >250 |

Şekil 5.31'de Nitrat Azotu konsantrasyonu 1,45 ile 1,63 mg/L arasında değişmektedir. Nitrat Azotu konsantrasyonu'nun akarsudaki su kalite sınıfının korunması açısından 5 mg/L'nin üstünde olması istenmemektedir.

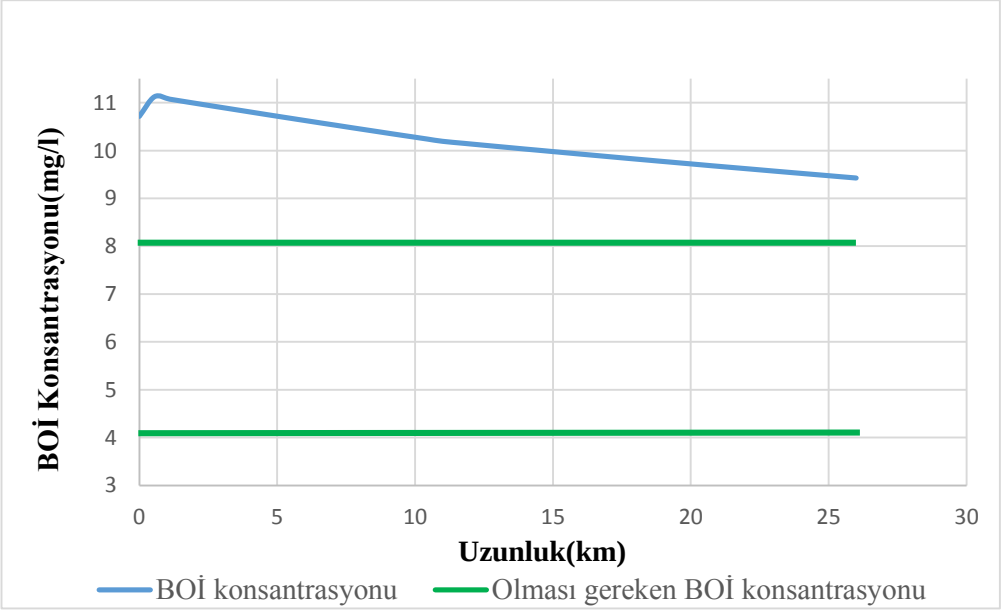



**Şekil 5.31:** EİD$_h$ göre Nitrat Azotu konsantrasyonu

Şekil 5.32'de gösterilen Toplam Fosfor ve Şekil 5.33'de belirtilen $BOİ_5$ konsantrasyonlarının da III. Sınıf yüzeysel su kaynağı sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu iki su kalite parametresindeki yüksek konsantrasyonlar, akarsuya başlangıç noktasından yapılan deşarj kaynağından ve akarsu ikinci bölümünden akarsuya giren yayılı yüklerden kaynaklanmaktadır.




**Şekil 5.32:** $EİD_h$ göre Toplam Fosfor konsantrasyonu



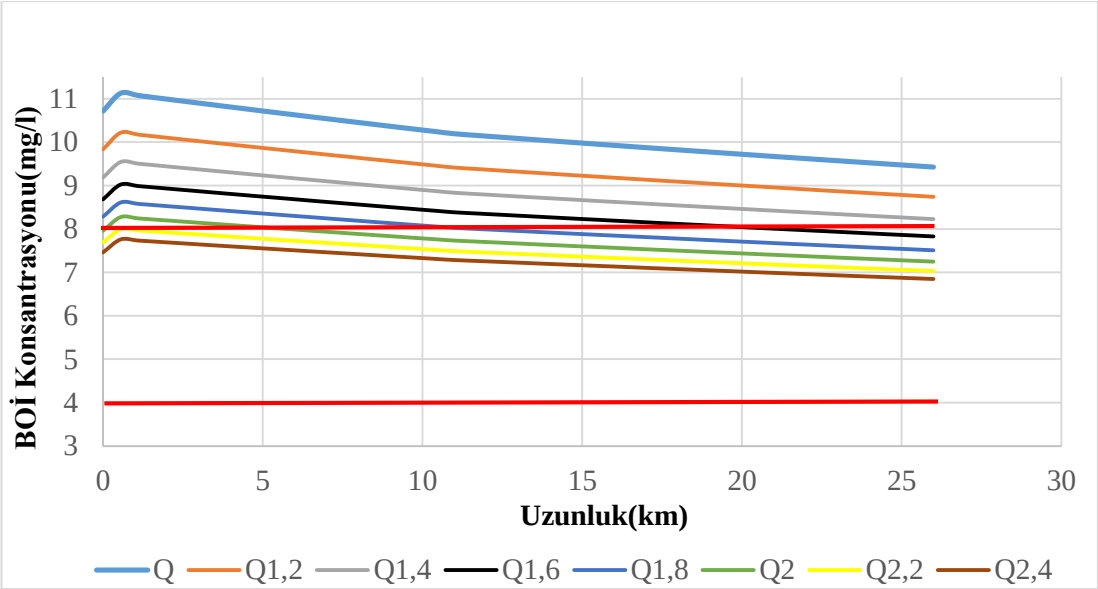

**Şekil 5.33:** $EİD_h$ göre $BOİ_5$ konsantrasyonu

Havalanma hızı katsayısı, girilen debi değeri için bulunan hız ve su derinliklerinden yararlanılarak denklem 5.1 yardımıyla hasaplanmıştır (Çizelge 5.20). Her debi için belirlenen $K_A$ değeri modele havalandırma hızı katsayısı değeri olarak girilmektedir. Model çalıştırıldıktan sonra çıkan sonuçlara göre su kalitesinin akarsuda yaşayan balıkların ihtiyaç ve gereksinimlerini karşıladığı değerlerin II. Sınıf yüzeysel su sınıfına girdiği minimum debi su kalitesi açısından uygun olan ekolojik ihtiyaç debisi olarak tanımlanacaktır.

**Çizelge 5.20:** Farklı debi değerleri için $K_A$ değerleri

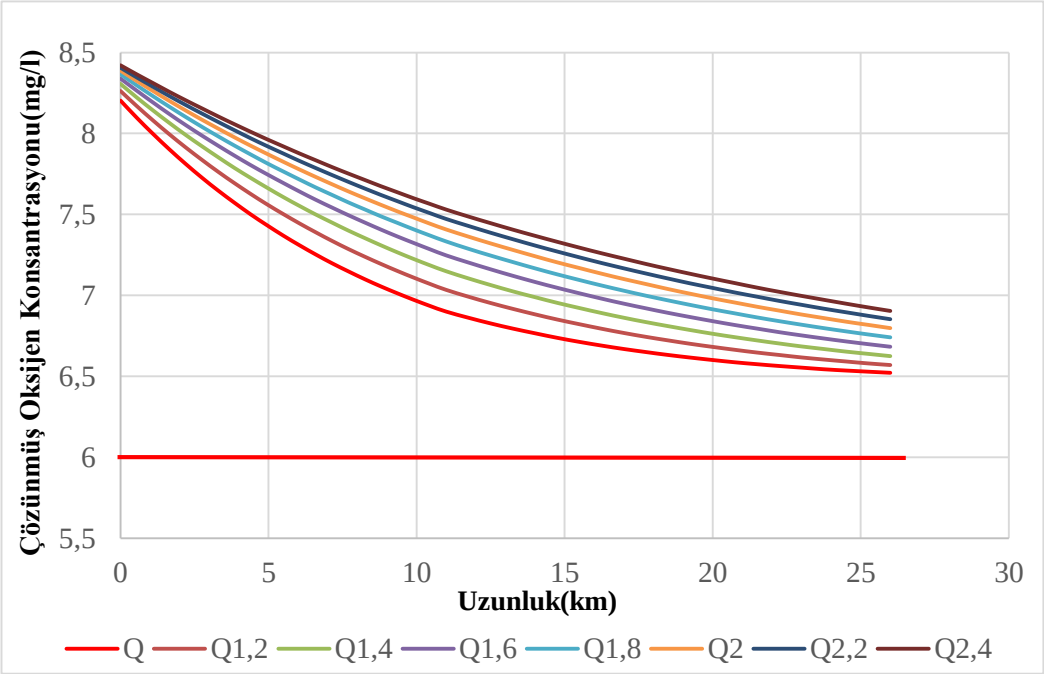
| Debi($m^3/s$) | | Noktasal Kaynak ($m^3/s$) | Derinlik(m) | Hız(m/s) | Havalanma Hızı Katsayısı $K_A$ (1/gün) |
|---|---|---|---|---|---|
| Q | 19 | 1,42 | 0,800 | 0,850 | 6,20 |
| Q1,1 | 20,9 | 1,42 | 0,844 | 0,881 | 5,88 |
| Q1,2 | 22,8 | 1,42 | 0,887 | 0,910 | 5,59 |
| Q1,3 | 24,7 | 1,42 | 0,928 | 0,938 | 5,34 |
| Q1,4 | 26,6 | 1,42 | 0,968 | 0,965 | 5,12 |
| Q1,5 | 28,5 | 1,42 | 1,007 | 0,991 | 4,92 |
| Q1,6 | 30,4 | 1,42 | 1,045 | 1,015 | 4,74 |
| Q1,7 | 32,3 | 1,42 | 1,082 | 1,039 | 4,58 |
| Q1,8 | 34,2 | 1,42 | 1,118 | 1,062 | 4,43 |
| Q1,9 | 36,1 | 1,42 | 1,153 | 1,085 | 4,30 |
| Q2 | 38 | 1,42 | 1,188 | 1,106 | 4,17 |
| Q2,1 | 39,9 | 1,42 | 1,222 | 1,127 | 4,05 |
| Q2,2 | 41,8 | 1,42 | 1,255 | 1,148 | 3,95 |
| Q2,3 | 43,7 | 1,42 | 1,288 | 1,168 | 3,85 |
| Q2,4 | 45,6 | 1,42 | 1,320 | 1,187 | 3,75 |

Çizelge 5.20'de verilen debi değerleri için model çalıştırıldığında $BOİ_5$ konsantrasyonundaki değişim Şekil 5.34'de gösterilmiştir. $BOİ_5$ konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda organik maddelerin ayrşması için çözünmüş oksijene ihtiyaç duyulacağından, bu iki parametre arasındaki ters orantı akarsu boyunca görülmektedir.




**Şekil 5.34:** Debiye göre BOİ$_5$ konsantrasyonları

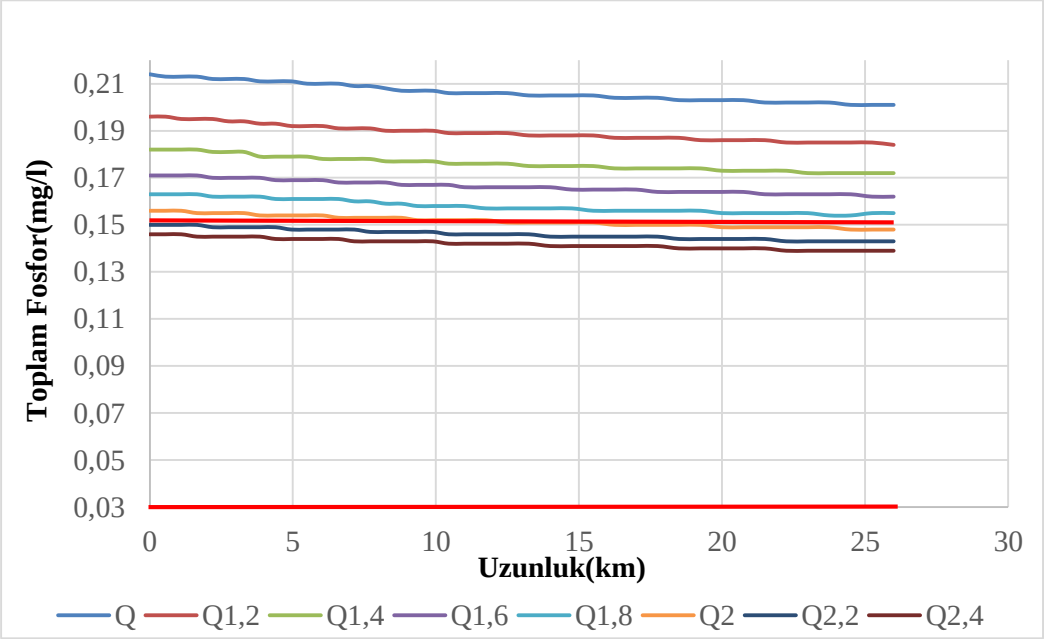
Akarsularda balıklar için gerekli olan minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/L olmalıdır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 5 mg/L'nin altına düştüğü durumlarda balıkların, parazitlere ve hastalıklara dayanma gücü azalacağından aktivitelerinde azalmalar ve ömürlerinde kısalmalar görülecektir (Pulatsü, 2010). Akarsu boyunca çözünmüş oksijen konsantrayonundaki değişimler Şekil 5.35'te gösterilmiştir.




**Şekil 5:35:** Debiye göre Ç.O konsantrasyonu

Fosfor tatlı sularda fitoplankton gelişimini düzenleyen elementlerden biridir ve sudafazla konsantrasyonlarda bulunması plankton üretimini arttırmaktadır. Tarım alanlarında fazla kulanılan gübrelerden ve kayaların aşınması sonucu su kaynağına ulaşan bu element, gereğinden fazla olduğu durumlarda alg popülasyonunu arttıracağından ve oksijen konsantrasyonunu düşüreceğinden su kalitesinde olumsuz yönde değişkiliklere sebep olacak olup bazı bitki ve balık türlerinin de azalmasına neden olacaktır.

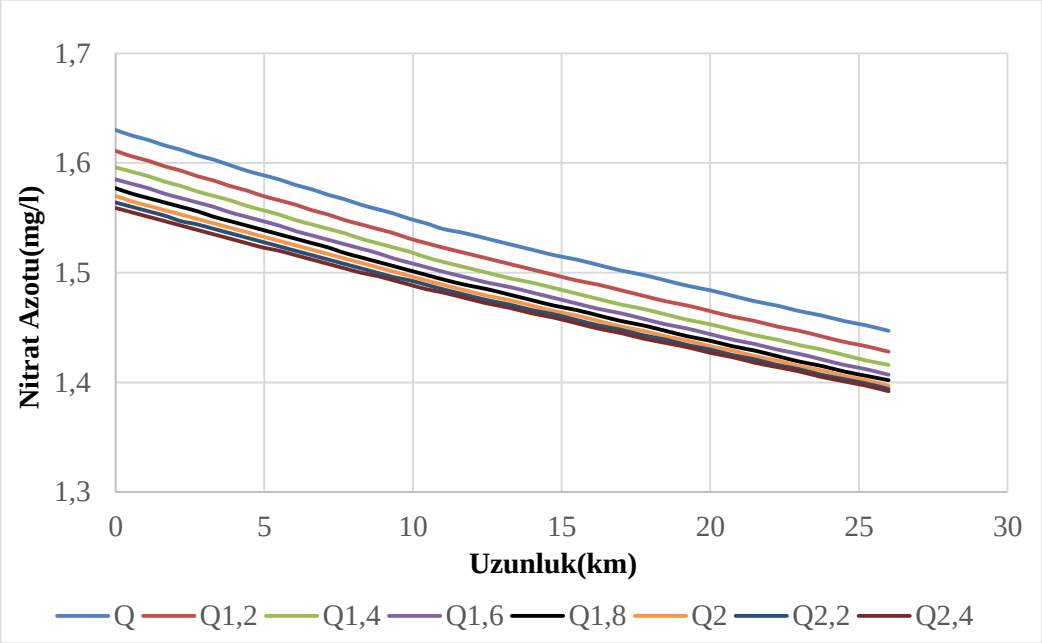
Balık türlerinin bulunduğu sularda Toplam Fosfor konsantrasyonunun 0,65 mg/L'yi geçmesi istenmemektedir. Modelde kullanılan debi değerlerinde, akarsuda bulunan Toplam Fosfor konsantrasyonlarının değişimi Şekil 5.36'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği gibi, debi değerinin 37,52 $m^3/s$ olduğu durumda konsantrasyon II. Sınıf yüzeysel su kaynağı kalite standartlarını sağlamaktadır. Debi arttıkça, akarsudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu artacağından fosforun ayrışması da hızlanacak olup, toplam fosfor konsantrasyonları daha da azalacaktır.




**Şekil 5.36:** Debiye göre Toplam Fosfor konsantrsayonu

Suda yaşayan balık türleri açısından nitratın diğer bileşiklere göre etkisi daha azdır. Nitrat, çözünmüş oksijen konsantrayonunun az olduğu yerlerde nitrite dönüşebilmektedir. Nitrit konsantrasyonunun fazla olduğu durumlarda da balıklarda zehirlenme ve toplu ölümler görülmektedir. Bu nedenle nitrat konsantrasyonunun 3

mg/L'nin üzerinde olması istenmemektedir. (Pulatsü, 2010). Nitrat azotu konsantrasyonlarındaki değişimler Şekil 5.37'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.37:** Debiye göre Nitrat Azotu konsantrasyonu

Su kalitesi parametrelerini gösteren tüm sonuçlar incelendiğinde akarsuyun, su kalitesinin en az etkileneceği ve tüm su kalitesi parametrelerinin II. Sınıf yüzeysel su kalitesi sınıfında yer aldığı minimum $EİD_{Sk}$ 41,8 $m^3/s$ olarak bulunmuştur.

**Çizelge 5.21:**Evsel atık su arıtma tesislerinin çıkış suyu alıcı ortama deşarj standartları

| Parametre | Birim | Kompozit Numune |
|---|---|---|
| Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$) | (mg/L) | 40 |
| Kimyasal Oksijen Oksijen İhtiyacı (KOİ) | (mg/L) | 80 |
| Askıda Katı Madde (AKM) | (mg/L) | 40 |
| Toplam Fosfor (TP) | (mg/L) | 2 |
| Toplam Azot (TN) | (mg/L) | 15 |
| pH | - | 6-9 |

Modeldeki akarsuyun su kalitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri deşarj yapılan atık suyun arıtılmamış olmamasıdır. Deşarj yapılan atık suyun Çizelge 5.21'de verilen Evsel Atık Su Arıtma Tesislerinin Çıkış Suyu Alıcı Ortama Deşarj Standartları'nda yer alan $BOİ_5$ ve Toplam Fosfor konsantrasyonlarını sağlayacak şekilde deşarj yapıldığı kabul edildiğinde, su kalitesi açısından bulunan ekolojik ihtiyaç debisi değişecektir.

Noktasal kaynaklar veri giriş sayfasındaki $BOİ_5$ konsantrasyonu 40 mg/L ve toplam fosfor konsantrayonu 2 mg/L olarak değiştirilip, model yeniden çalıştırıldığında su kalitesi parametrelerindeki değişiklikler Ek-A'da verilmiştir. Model sonuçları incelendiğinde deşarj suyu, artıma tesisi çıkış suyu alıcı ortam deşarj standartlarında olduğunda akarsuda bulunması gereken minimum debi miktarı ($EİD_{Sk}$) 37,52 $m^3/s$ olarak bulunmuştur.

## 5.3 SİSMOD Model Sonuçlarının Farklı Metot ve Yaklaşımlar ile Kıyaslanması

Dünya genelinde ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemlerden biri olan Tennant Metodu'na göre akarsuyun ortalama debisi esas alınarak, ortalama debinin yüzde cinsinden ifade edilen debilere bağlı olarak Ekim-Mart ve Nisan-Eylül dönemlerinde akarsuyun doğal ekosistem kalite durumu tanımlanmaktadır (Çizelge 2.1).

Herhangi bir akarsuda Tennant Metodu'nun uygulanabilmesi için gerekli şartların ne olduğu konusunda tam anlamıyla kesin ve net bir sınırlama mevcut değildir. Bu yüzden, kullanımı çok basit olmakla birlikte bu metodun yerel şartlara göre revize edilmeden doğrudan uygulanmasının doğru olmayacağı düşünülmektedir. Bu yüzden farklı akarsu tipleri için debi karakteristikleri bakımından ortalama akarsu debi yüzdeleri, farklı alınarak nehir ekosistemi için kalite sınıfı yeniden tanımlanabilmektedir.

Modelde kullanılan kritik enkesitin bulunduğu istasyonda gözlenen aylık debi değerleri Çizelge 5.22'de verilmiştir.

**Çizelge 5.22:** Kritik enkesitte yer alan istasyona ait aylık ortalama debi değerleri ($m^3/s$)

| Ay / Yıl | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Y.Ort. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1981 | 113 | 89,2 | 182 | 64,6 | 60,8 | 23,8 | 23,9 | 12,9 | 18,6 | 9,26 | 19,8 | 93,90 | 59,31 |
| 1982 | 102 | 72 | 82 | 116 | 30,1 | 21,7 | 16,1 | 17,7 | 32,8 | 12 | 10,7 | 13,1 | 43,85 |
| 1983 | 56,5 | 117 | 138 | 106 | 29,4 | 18 | 44,2 | 48,2 | 12,7 | 62,7 | 102 | 58,3 | 66,08 |
| 1984 | 36,2 | 57,4 | 58,8 | 118 | 53,6 | 27 | 21,5 | 20 | 11 | 8,78 | 31,9 | 32,2 | 39,7 |
| 1985 | 39,6 | 98,8 | 144 | 100 | 30 | 17 | 16,3 | 5 | 6,08 | 40,4 | 32,4 | 78,7 | 50,69 |
| 1986 | 112 | 82,6 | 54,1 | 25,7 | 19,8 | 14,8 | 11,6 | 8,96 | 6,99 | 8,56 | 27,5 | 33,8 | 33,87 |
| 1987 | 101 | 70,7 | 97,2 | 104 | 60,5 | 31,2 | 20,5 | 12,5 | 8,29 | 10,8 | 34 | 107 | 54,81 |
| 1988 | 54,7 | 48,6 | 84,8 | 67,2 | 36,2 | 28,4 | 31,8 | 12,1 | 12,4 | 25,2 | 80,2 | 81,5 | 46,93 |
| 1989 | 56 | 39,2 | 71,9 | 18,8 | 16,6 | 17,1 | 14,9 | 8,33 | 9,41 | 19,2 | 68,8 | 106 | 37,19 |
| 1990 | 63,3 | 73,4 | 66 | 62,3 | 103 | 27,9 | 16,7 | 10,6 | 19,3 | 36,2 | 19,1 | 37,9 | 44,64 |
| 1991 | 29 | 121 | 85,7 | 79,1 | 53,6 | 71 | 61,9 | 13,8 | 20,4 | 15,2 | 17,8 | 60,4 | 52,41 |
| 1992 | 60,2 | 77,6 | 118 | 161 | 63,2 | 33,1 | 33,4 | 15,2 | 11,2 | 15,8 | 36 | 63,8 | 57,38 |
| 1993 | 62,6 | 84,3 | 112 | 95,1 | 59,1 | 22,2 | 9,59 | 26,9 | 11,7 | 9,54 | 29 | 43,7 | 47,14 |
| 1994 | 33 | 53,2 | 47,4 | 32,2 | 26 | 10,7 | 5,57 | 5,12 | 5,06 | 13 | 53,9 | 111 | 33,01 |
| 1995 | 126 | 67,5 | 92,6 | 115 | 43,3 | 15,3 | 26,3 | 10,2 | 10,9 | 16,3 | 35,3 | 60,1 | 51,57 |
| 1996 | 53,8 | 63,3 | 82,3 | 99,4 | 35,8 | 19,7 | 11,4 | 7,7 | 10,9 | 43,3 | 18,9 | 36,3 | 40,23 |
| 1997 | 62,1 | 77,7 | 73,5 | 204 | 94,8 | 34,7 | 14 | - | 25,9 | 64,6 | 39,8 | 92 | 71,79 |
| 1998 | 100 | 139 | 75,7 | 101 | 164 | 50,7 | 20,7 | 9,23 | 10,7 | 14,6 | 19,3 | 48,5 | 62,95 |
| 1999 | 28,9 | 77,5 | 72,8 | 41,3 | 15,9 | 36,6 | 20,6 | 17,6 | 15,7 | 15,4 | 33,5 | 46,7 | 35,21 |
| 2000 | 58,3 | 101 | 125 | 177 | 59,1 | 105 | 14,4 | 16 | 17,7 | - | - | - | 74,83 |
| Ort. | 67,41 | 80,55 | 93,19 | 94,39 | 52,74 | 31,4 | 21,7 | 14,63 | 13,89 | 23,2 | 37,36 | 63,42 | 50,17 |
| Mak. | 126 | 139 | 182 | 204 | 164 | 105 | 61,9 | 48,2 | 32,8 | 64,6 | 102 | 111 | 74,83 |
| Min. | 28,9 | 39,2 | 47,4 | 18,8 | 15,9 | 10,7 | 5,57 | 5 | 5,06 | 8,56 | 10,7 | 13,1 | 33,01 |
| Std Sap. | 30,41 | 25,08 | 33,99 | 48,7 | 35,3 | 22,3 | 13,08 | 9,75 | 6,9 | 17,12 | 23,5 | 28,86 | 12,32 |

Tennant metoduna göre akarsu ekosistemi için farklı kalite sınıflarına göre akarsuda bulunması gereken debi değerleri Çizelge 2.1' den yararlanılarak, Çizelge 5.23'de

verilmiştir. Yıllık ortalama debi, söz konusu kalite sınıfları için verilen yüzdeler ile çarpıldığında bu ayların ortalama debilerinden daha büyük debi değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumlarda akarsuda olması gereken debi değeri gözlemlenen aylık ortalama debi olarak kabul edilmiştir. Çizelge 5.23'teki veriler yardımıyla Tennnant Metodu'na göre ortalama ekolojik ihtiyaç debisi "İyi", "Çok İyi", "Mükemmel" kalite sınıfları için sırasıyla 14,08 $m^3/s$, 17,99 $m^3/s$, 21,70 $m^3/s$ olarak hesaplanmıştır.

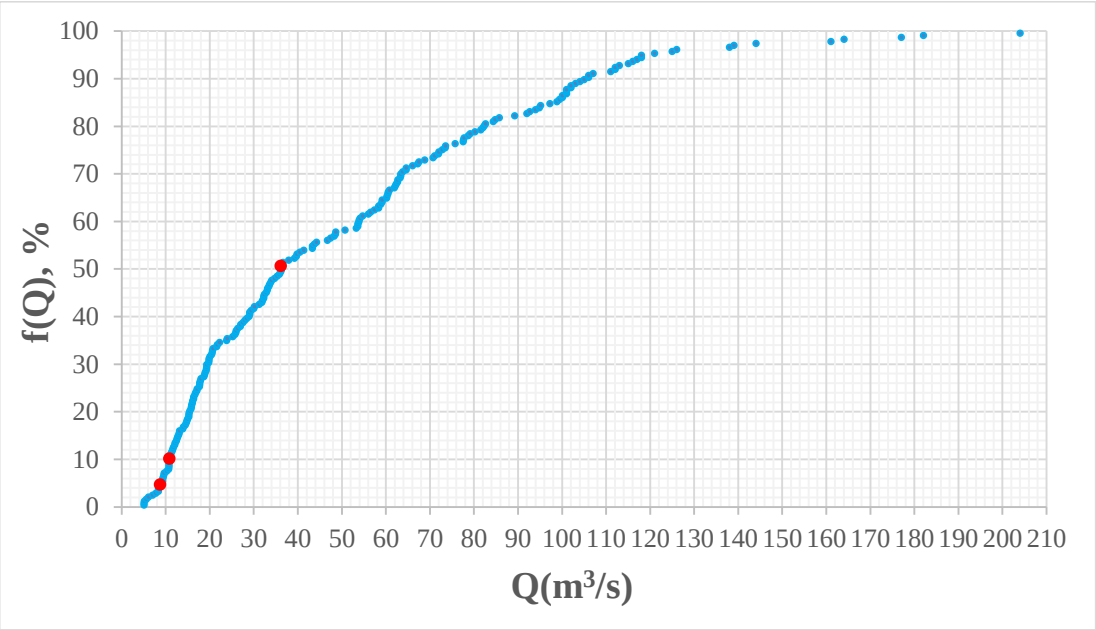
**Çizelge 5.23:** Tennant Metodu'na göre debi değerleri ($m^3/s$)

| | **Ekim-Mart Dönemi** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ekim | Kasım | Aralık | Ocak | Şubat | Mart |
| Gözlemlenen Ortalama Debi | 23,2 | 37,36 | 63,42 | 67,41 | 80,55 | 93,19 |
| Mükemmel | 20,07 | 20,07 | 20,07 | 20,07 | 20,07 | 20,07 |
| Çok İyi | 15,05 | 15,05 | 15,05 | 15,05 | 15,05 | 15,05 |
| İyi | 10,03 | 10,03 | 10,03 | 10,03 | 10,03 | 10,03 |
| | **Nisan-Eylül Dönemi** | | | | | |
| | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül |
| Gözlemlenen Ortalama Debi | 94,39 | 52,74 | 31,40 | 21,77 | 14,63 | 13,89 |
| Mükemmel | 30,10 | 30,10 | 30,10 | 21,77 | 14,63 | 13,89 |
| Çok İyi | 25,09 | 25,09 | 25,09 | 21,77 | 14,63 | 13,89 |
| İyi | 20,07 | 20,07 | 20,07 | 20,07 | 14,63 | 13,89 |

ABF Metodu'na göre, 1981-2000 yılları arasında verilen aylık ortalama debi değerlerinden ortalama debisi minimum olan ay belirlenir ve bu değer akarsuda olması gereken minimum debi değeri olarak tanımlanır. Çizelge 5.22'ye bakıldığında en küçük ortalama debi değeri 13,89 $m^3/s$ ile Eylül ayıdır.

EİD belirlenmesinde kullanılan başka bir yaklaşım ise, akarsu aylık ortalama debi değerleri dikkate alınarak debi süreklilik çizgisine bağlı olarak belli bir aşılma

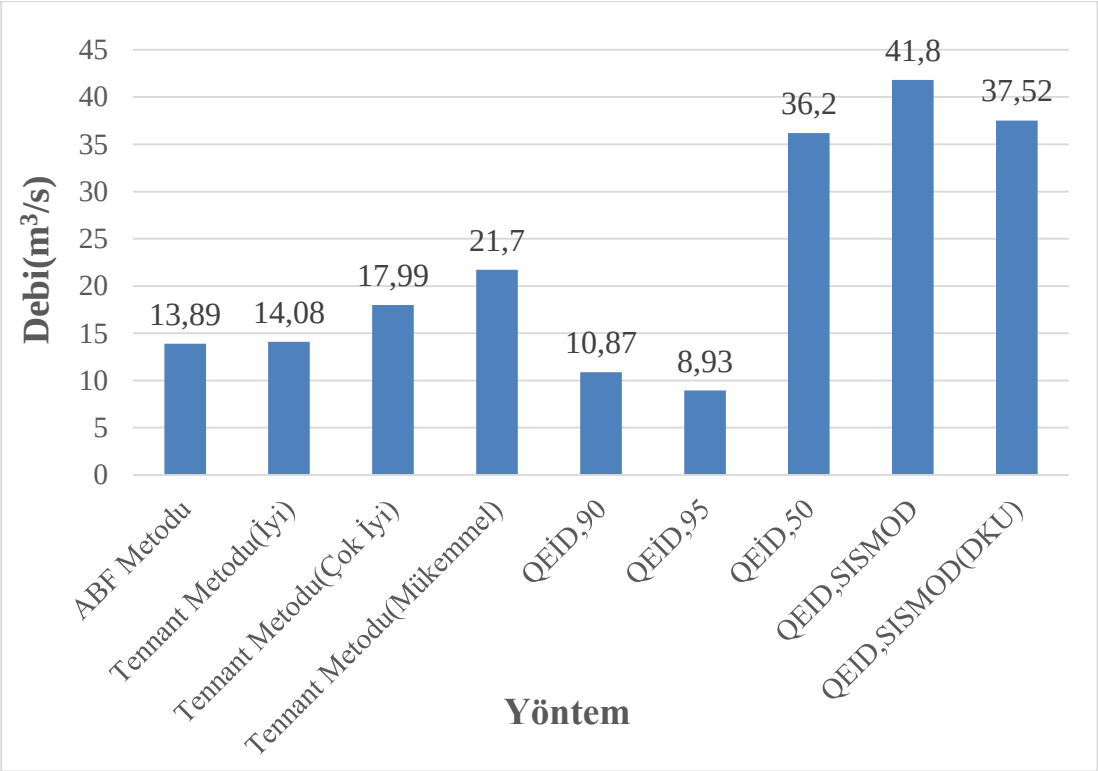
ihtimaline karşı gelen günlük debi değerinin EİD olarak kabul edilmesidir. Çizelge 5.22'deki veriler dikate alınarak zamanın % 50'sinde akarsudaki debi değeri 36,2 $m^3/s$'ye eşit veya küçüktür. Şekil 5.38'deki eklenik ihtimal grafiğinde, zamanın %90'nında akarsuda olması beklenen debi değeri 10,87 $m^3/s$'den küçüktür. Zamanın %95'inde de akarsuda 8,93 $m^3/s$'lik bir debinin veya ondan daha düşük bir değerin geçmesi beklenmektedir. Weibull ifadesine göre aylık ortalama debi değerlerine göre çizelge Ek-B' de verilmiştir.




**Şekil 5.38:** Aylık debi eklenik ihtimal grafiği(Tüm aylar birlikte)

SİSMOD model sonuçlarına göre hidrolik ve su kalitesi açısından uygun olan ekolojik ihtiyaç debisi, $EİD_{SİSMOD}$ 41,8 $m^3/s$ olarak bulunmuştur. Akarsuya deşarj yapılan noktasal kaynakta deşarj standartlarının sağlanması durumunda $EİD_{SİSMOD(DKU)}$ 37,52 $m^3/s$ olarak hesaplanmıştır. SİSMOD, istatistiksel analizler, ABF ve Tennant Metodu ile hesaplanan ekolojik ihtiyaç debileri karşılaştırılmalı olarak Şekil 5.39'da verilmiştir.

Şekil 5.38'de verilen eklenik ihtimal dağılım grafiğine göre de zamanın %54'ünde akarsudan geçen debi miktarı $EİD_{SİSMOD}$ değerine eşit veya ondan küçüktür.




**Şekil 5.39:** Farklı yöntemlerle hesaplanmış ekolojik ihtiyaç debileri

# 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ekolojik ihtiyaç debisi hesaplama yöntemlerine bakıldığında basit istatistiksel yöntemlerden, gelişmiş yöntemlere kadar birçok farklı yaklaşımların olduğu görülmektedir. Basit yöntemler, akarsuların hidrolik ve hidrolojik rejimlerine ilişkin verilere dayanırken, gelişmiş yöntemlerde su kalitesinin, sucul canlıların ve sosyoekonomik etkilerin de ele alındığı görülmektedir.

Ülkemizde, Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleştirilen nehir tipi hidroelektrik santral projelerinde akarsu ekosistemlerinin devamlılığının sağlanabilmesi için ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesine yönelik birtakım yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tennant Metodu'nun ülkemizde yapılan çalışmalarda en çok kullanılan yöntem olduğu görülmektedir. Ancak Tennant Metodu su kalitesi ve sucul canlıları kapsamaması nedeniyle eleştirilmekte ve bilimsel olarak Türkiye'deki akarsu yapıları için uygun görülmemektedir.

Bu çalışma kapsamında, akarsularda ekolojik ihtiyaç debisinin belirlenmesine yönelik dünyada yaygın olarak kullanılan bazı yöntemler kısaca özetlenmiş ve hipotetik bir akarsu yapısı için SİSMOD modeli kullanılarak akarsuda bulunması gereken ekolojik ihtiyaç debisi belirlenmiştir.

Akarsu ekosistemleri içinde yer alan canlı türlerinin yaşamsal faaliyetlerini sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi için de akarsudaki su kalitesinin ve miktarının belli değerlerde bulunması gerekmektedir. Bu çalışma ile ekolojik ihtiyaç debisi hesaplanırken hidrolik verilerin yanında, su kalitesi de incelenmiş, akarsuda bulunan balık türleri için su kalite parametreleri, su hızı ve su derinliğinin minimum değerleri dikkate alınarak akarsuda olması gereken debi miktarı SİSMOD modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Sadece hidrolik veriler değerlendirilerek kesin sonuçlara ulaşılamayacağı görülmüş ve su kalitesi açısından da mutlaka bir değerlendirme yapılması gerektiği öngörülmüştür.

Çalışmada, SİSMOD modelinin başka akarsu tipleri üzerinde kullanılabilmesi için bir örnek sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

**Ak O., Çakmak E., Aksungur M., Çavdar Y., Zengin B.,** (2008). Akarsu Üzerindeki Doğal ve İnsan Kaynakli Faaliyetlerin Sucul Ekosisteme Etkisine Bir Örnek: Yanbolu Deresi (Arsin, Trabzon), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 24 (1-2), (sf. 389 - 400).

**Aksu N., Uçan K.** (2012). Hurman Çayı Havzasında Ölçülen ve Ampirik Yöntemlerle Hesaplanan Sediment Verimlerinin Karşılaştırılması Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş.

**Berkün, M., Aras, E., Koç, T.,** (2008). Barajların ve Hidroelektrik Santrallerin Nehir Ekolojisi Üzerinde Oluşturduğu Etkiler, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 452, (sf. 41-48).

**Cüceloğlu, G.,** (2013). Darlık Havzasının Model Destekli Hidrolojik Analizi, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Çilek, A.,** (2005). Yüzeysel Su Kalitesi Modellerinde Besin Maddesi Döngülerinin Simülasyonlarında Kullanılan Model Katsayıları İçin Veritabanı Tasarımı ve Geliştirilmesi, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Çimenci ,V.,** (2011). Küçük Hidroelektrik Santraller Ve Dere Yatağında Bırakılması Gereken Can Suyu Miktarı, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**EPA,** (2002). Biological assessments and criteria: Crucial components of water quality programs, USA. EPA, Office of Water, 822-F-02-006.

**Ertürk, A.,** (2009). Basit Akarsu Modeli Kullanım Kılavuzu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

**Ertürk, A.,** (2012). Taşkınların Çevresel Önemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

**Ertürk, A.,** (2013). Akarsularda Ekolojik İhtiyaç Debisinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

**Freitas, G.,** (2008). Methods and Tools For Defining Environmental Flows, LEARN Workshop on Environmental Flows River in Basin Management, Brasil.

**Gaygusuz, Ö.** (2012). Darlık Barajı'na Akan Derelerde Cyprinidae Familyasına Ait Baskın İki türün Biyoekolojik Özellikleri, (doktora tezi), İÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Gönenç, E. İ. ve Karakaya, N.,** (2006). Türkiye'de Havzalar Arası Su Transferi İçin Bir Karar Destek Sistemi Önerisi, İtü dergisi/e: Cilt 16, (sf. 79-90).

**Gönenç, E. İ. ve diğ.,** (1995). 1. Cilt, Darlık Havzası Sonuç Raporu İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

**Kahya E., Erkek C., Ağıralioğlu N.,** (2006). Su Kaynakları Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

**Karakaya , N.,** (2006). Havzalararası Su Transferine Sistematik Bir Yaklaşım, (doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

**King, J., Tharme, R., E., Brown, C.,** (1999). Definition and Implementation of Instream Flows, Final Report, World Commission on Dams.

**Kurdoğlu O., Özalp M.,** (2010). Nehir Tipi Hidroelektrik Santral Yatirimlarinin Yasal Süreç, Çevresel Etkiler, Doğa Koruma ve Ekoturizmin Geleceği Kapsaminda Değerlendirilmesi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Cilt 2, (sf 688-707).

**Mann J. I.,** (2006). Instream Flow Methodologies: An evaluation of the Tennant Method for Higher Gradient Streams in the National Forest System

Lands in the Western US, MSc Thesis, Colorado State University, USA.

**Martin J.L.,** (2014) Hydro-Environmental Analysis: Freshwater Environments, (sf. 113)

**Orth D., J., Maughan O., E., (**1981). Evaluation of the 'Montana method' for recommending instream flows in Oklahoma streams. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science 61, (sf. 62–66).

**Öztürk İ.,** (2010). Akarsularda Ekolojik İhtiyaç Debisi Hesap Esasları, Tübitak-Mam Eğitim Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

**Öztürk, İ., Toröz, İ. ve Övez, S.,** (2010). Nehir Tipi HES Tesisleri İçin Çevresel İhtiyaç Debisi Tespiti (Yayınlanmamış Teknik Rapor).

**Özyuvacı, N.** (1978). Kocaeli Yarımadası Topraklarında Erozyon Eğiliminin Hidrolojik Toprak Özelliklerine Bağlı Olarak Değişimi, (Doçentlik Tezi), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Kürsüsü, İstanbul.

**Pulatsü S.** (2010) Balık Yetiştiriciliğinde Su Kalite Kriterleri, Ankara Üniversitesi, Su Ürünleri Mühendisliği Ders Notları, Ziraat Fakültesi.

**Robert, L., Vadas, Jr., Diana, L.,** (1993). The Concept of Instream Flow and Its Relevance to Drought Management in the James River Basin, Virginia Water Resources Research Center.

**Stalnaker C., Lamb B., L., Henriksen, J., Bartolow, J.,** (1995). The Instream Flow Incremental Methodology A Primer for IFIM, Biological Report 29, National Biological Service, USA.

**Şensoy, D., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ.,** (2008). Türkiye İklimi, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

**Tennant D., I.,** (1975). Instream Flow Regimes for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, US Fish and Wildlife Service, Billings, Mont.

**Tharme R., E.,** (2003). A Global Perspective on Environmental Flow Assesment: Emerging Trends in The Development and Application of Environmental Methodologies for Rivers. River Research and Applications 19, (sf. 397-441).

**TÜBİTAK,** (2010). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması 2010-2040, TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, İstanbul.

**TÜBİTAK,** (2013). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Batı Karadeniz Havzası, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, İstanbul.

**USDA,** (2007). Hydrology National Engineering Handbook. Hydrologic Soil Groups Chapter 7, Natural Resources Conservation Service, USA.

**Yönügül, Y.,** (2007). İstanbul'daki İçmesuyu Havzaları'nın Önemi, İçme Suyu Koruma Havzaları'nda Yaşanan Sorunlar, İdari Yargıya İntikal Etmiş Uyuşmazlıklar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, (doktora tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**URL-1**<http://www.msxlabs.org/forum/soru-cevap/219232-deniz-gol-ve-akarsularin-ekonomiye-katkisi-nedir.html#ixzz2nXjgMaEs.>, Alındığı tarih: 17.11.2013

**URL-2**<http://gazeteciyazaryusufyavuz.wordpress.com/2013/07/20/hukukcu-gozuyle-turkiyenin-hes-gercegi/>, Alındığı tarih: 04.12.2013

**URL-3**<http://vwrrc.vt.edu/pdfs/bulletins/bulletin182.pdf>, Alındığı tarih: 16.12.2013

**URL-4** <http://www.fao.org/docrep/007/ad526e/ad526e07.htm>, Alındığı tarih: 08.12.2013

**URL-5**<http://cfpub.epa.gov/watertrain/index.cfm>, Alındığı tarih: 16.12.2013

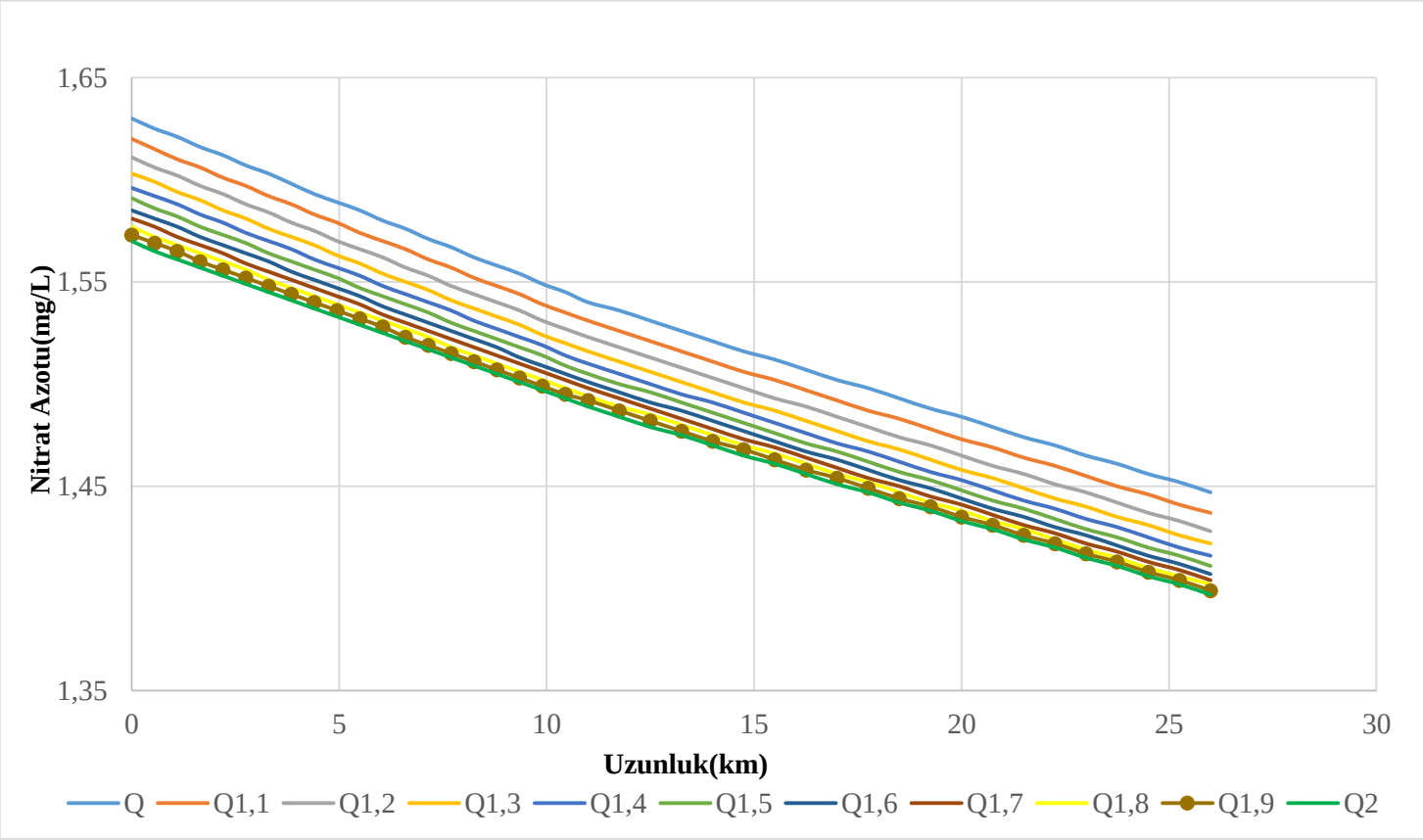
**URL-6**<http://aquaecolab.info/konular/mikrohabitat>, Alındığı tarih: 29.08.2015

**EKLER**

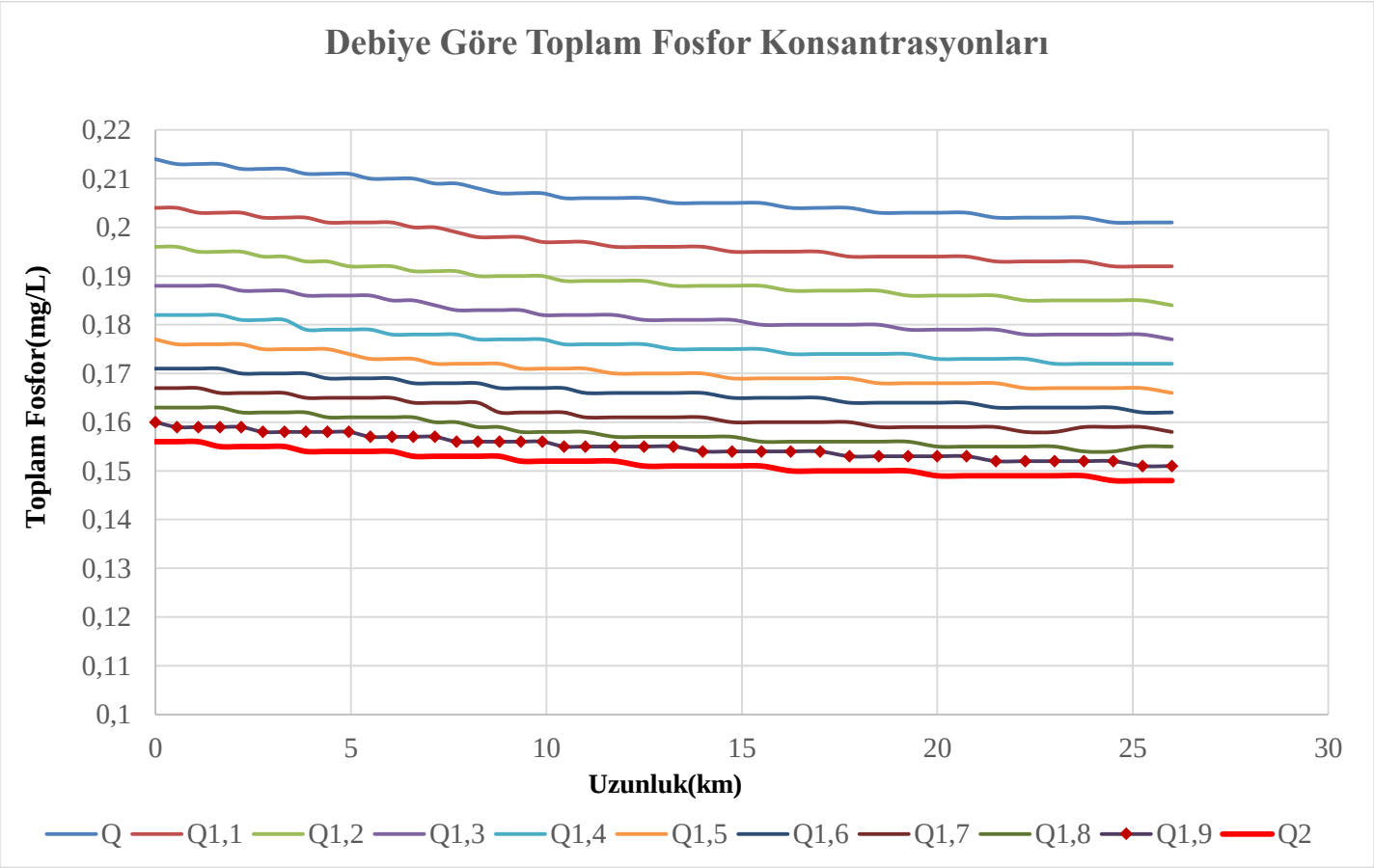
**EK A :**Alıcı ortam deşarj standartlarını sağlayan atık su deşarjına göre su kalitesi grafikleri

**EK B :**Weibull Eklenik İhtimal Tablosu

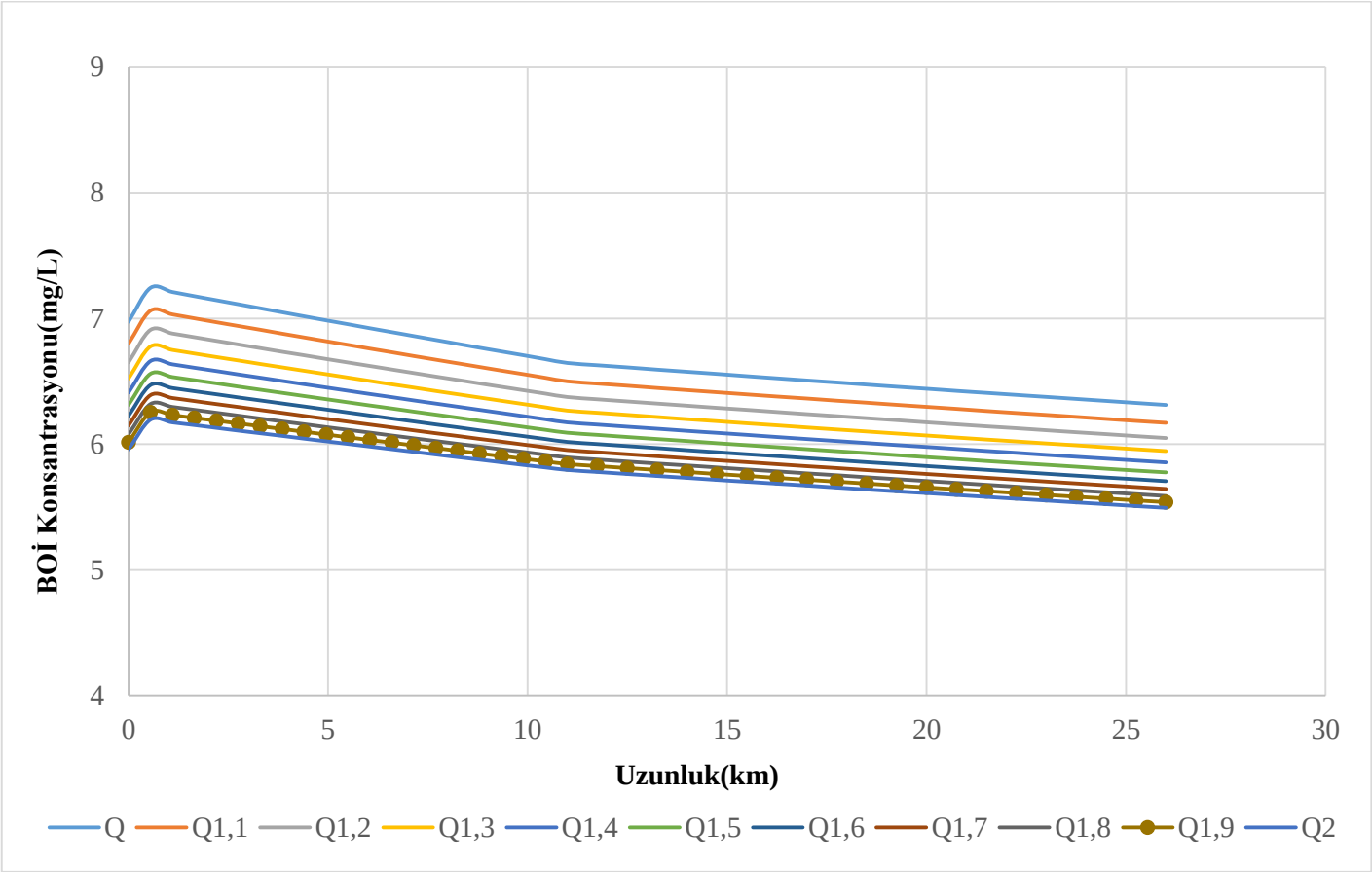
**EK A**



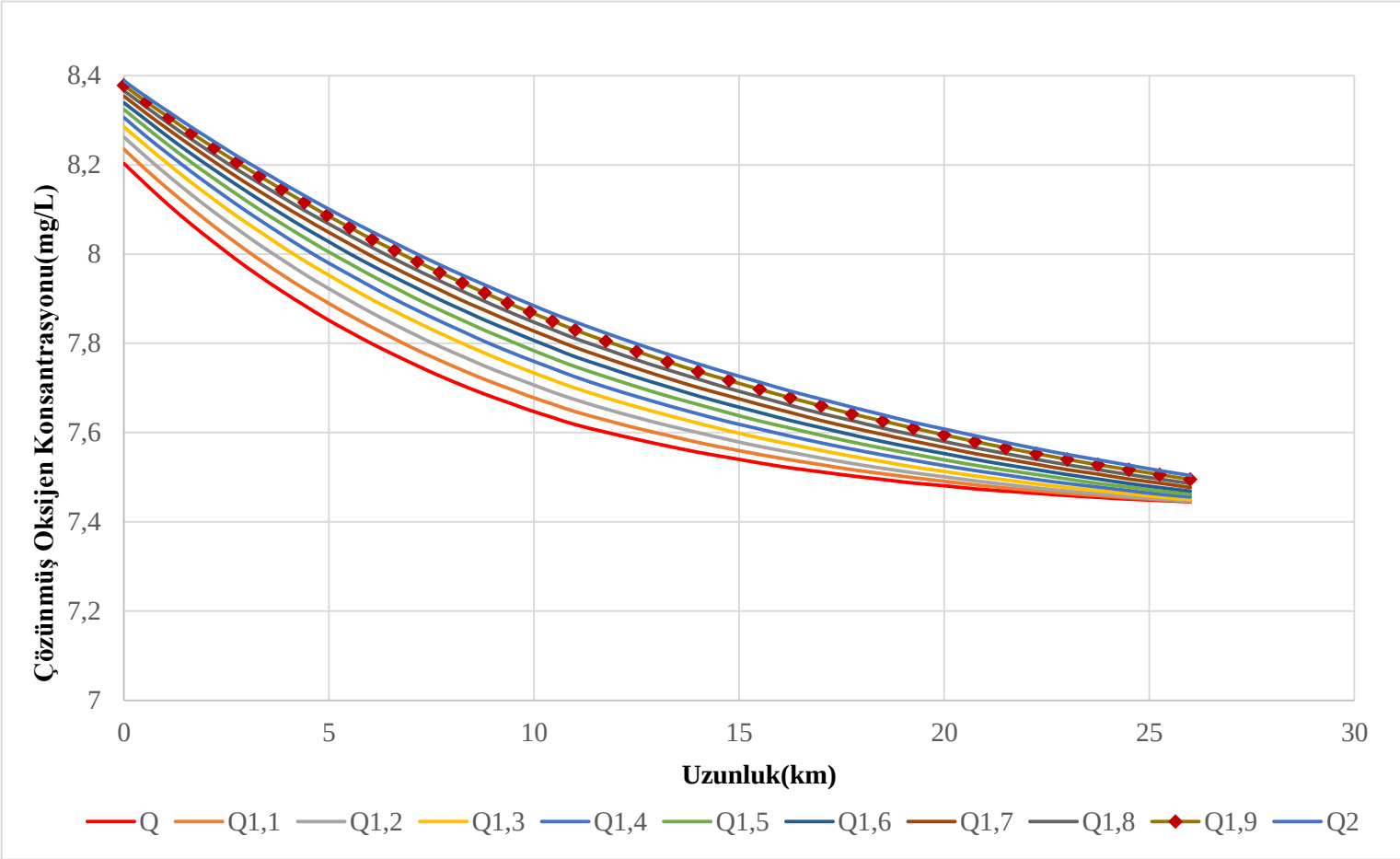

**Şekil A.1 :** Deşarj kriterlerine uygun noktasal kaynak verilmesi durumunda debiye göre Nitrat Azotu konsantrasyonları




**Şekil A.2 :** Deşarj kriterlerine uygun noktasal kaynak verilmesi durumunda debiye göre Toplam Fosfor konsantrasyonları




**Şekil A.3 :** Deşarj kriterlerine uygun noktasal kaynak verilmesi durumunda debiye göre $BOİ_5$ konsantrasyonları




**Şekil A.4 :** Deşarj kriterlerine uygun noktasal kaynak verilmesi durumunda debiye göre Ç.O konsantrasyonları

**EK B**

**Çizelge B.1 :** Weibull Eklenik İhtimal Tablosu

| Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 0,42 | 21 | 10,7 | 8,86 | 41 | 14,4 | 17,30 | 61 | 17,7 | 25,74 | 81 | 21,7 | 34,18 |
| 2 | 5,06 | 0,84 | 22 | 10,7 | 9,28 | 42 | 14,6 | 17,72 | 62 | 17,7 | 26,16 | 82 | 22,2 | 34,60 |
| 3 | 5,12 | 1,27 | 23 | 10,8 | 9,70 | 43 | 14,8 | 18,14 | 63 | 17,8 | 26,58 | 83 | 23,8 | 35,02 |
| 4 | 5,57 | 1,69 | 24 | 10,9 | 10,13 | 44 | 14,9 | 18,57 | 64 | 18 | 27,00 | 84 | 23,9 | 35,44 |
| 5 | 6,08 | 2,11 | 25 | 10,9 | 10,55 | 45 | 15,2 | 18,99 | 65 | 18,6 | 27,43 | 85 | 25,2 | 35,86 |
| 6 | 6,99 | 2,53 | 26 | 11 | 10,97 | 46 | 15,2 | 19,41 | 66 | 18,8 | 27,85 | 86 | 25,7 | 36,29 |
| 7 | 7,7 | 2,95 | 27 | 11,2 | 11,39 | 47 | 15,3 | 19,83 | 67 | 18,9 | 28,27 | 87 | 25,9 | 36,71 |
| 8 | 8,29 | 3,38 | 28 | 11,4 | 11,81 | 48 | 15,4 | 20,25 | 68 | 19,1 | 28,69 | 88 | 26 | 37,13 |
| 9 | 8,33 | 3,80 | 29 | 11,6 | 12,24 | 49 | 15,7 | 20,68 | 69 | 19,2 | 29,11 | 89 | 26,3 | 37,55 |
| 10 | 8,56 | 4,22 | 30 | 11,7 | 12,66 | 50 | 15,8 | 21,10 | 70 | 19,3 | 29,54 | 90 | 26,9 | 37,97 |
| 11 | 8,78 | 4,64 | 31 | 12 | 13,08 | 51 | 15,9 | 21,52 | 71 | 19,3 | 29,96 | 91 | 27 | 38,40 |
| 12 | 8,96 | 5,06 | 32 | 12,1 | 13,50 | 52 | 16 | 21,94 | 72 | 19,7 | 30,38 | 92 | 27,5 | 38,82 |
| 13 | 9,23 | 5,49 | 33 | 12,4 | 13,92 | 53 | 16,1 | 22,36 | 73 | 19,8 | 30,80 | 93 | 27,9 | 39,24 |
| 14 | 9,26 | 5,91 | 34 | 12,5 | 14,35 | 54 | 16,3 | 22,78 | 74 | 19,8 | 31,22 | 94 | 28,4 | 39,66 |
| 15 | 9,41 | 6,33 | 35 | 12,7 | 14,77 | 55 | 16,3 | 23,21 | 75 | 20 | 31,65 | 95 | 28,9 | 40,08 |
| 16 | 9,54 | 6,75 | 36 | 12,9 | 15,19 | 56 | 16,6 | 23,63 | 76 | 20,4 | 32,07 | 96 | 29 | 40,51 |
| 17 | 9,59 | 7,17 | 37 | 13 | 15,61 | 57 | 16,7 | 24,05 | 77 | 20,5 | 32,49 | 97 | 29 | 40,93 |
| 18 | 10,2 | 7,59 | 38 | 13,1 | 16,03 | 58 | 17 | 24,47 | 78 | 20,6 | 32,91 | 98 | 29,4 | 41,35 |
| 19 | 10,6 | 8,02 | 39 | 13,8 | 16,46 | 59 | 17,1 | 24,89 | 79 | 20,7 | 33,33 | 99 | 30 | 41,77 |
| 20 | 10,7 | 8,44 | 40 | 14 | 16,88 | 60 | 17,6 | 25,32 | 80 | 21,5 | 33,76 | 100 | 30,1 | 42,19 |

**Çizelge B.2 :** Weibull Eklenik İhtimal Tablosu

| Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | 31,20 | 42,62 | 121 | 36,30 | 51,05 | 141 | 53,60 | 59,49 | 161 | 62,30 | 67,93 | 181 | 75,70 | 76,37 |
| 102 | 31,80 | 43,04 | 122 | 36,60 | 51,48 | 142 | 53,80 | 59,92 | 162 | 62,60 | 68,35 | 182 | 77,50 | 76,79 |
| 103 | 31,90 | 43,46 | 123 | 37,90 | 51,90 | 143 | 53,90 | 60,34 | 163 | 62,70 | 68,78 | 183 | 77,60 | 77,22 |
| 104 | 32,20 | 43,88 | 124 | 39,20 | 52,32 | 144 | 54,10 | 60,76 | 164 | 63,20 | 69,20 | 184 | 77,70 | 77,64 |
| 105 | 32,20 | 44,30 | 125 | 39,60 | 52,74 | 145 | 54,70 | 61,18 | 165 | 63,30 | 69,62 | 185 | 78,70 | 78,06 |
| 106 | 32,40 | 44,73 | 126 | 39,80 | 53,16 | 146 | 56,00 | 61,60 | 166 | 63,30 | 70,04 | 186 | 79,10 | 78,48 |
| 107 | 32,80 | 45,15 | 127 | 40,40 | 53,59 | 147 | 56,50 | 62,03 | 167 | 63,80 | 70,46 | 187 | 80,20 | 78,90 |
| 108 | 33,00 | 45,57 | 128 | 41,30 | 54,01 | 148 | 57,40 | 62,45 | 168 | 64,60 | 70,89 | 188 | 81,5 | 79,32 |
| 109 | 33,10 | 45,99 | 129 | 43,30 | 54,43 | 149 | 58,30 | 62,87 | 169 | 64,60 | 71,31 | 189 | 82 | 79,75 |
| 110 | 33,40 | 46,41 | 130 | 43,30 | 54,85 | 150 | 58,30 | 63,29 | 170 | 66,00 | 71,73 | 190 | 82,3 | 80,17 |
| 111 | 33,50 | 46,84 | 131 | 43,70 | 55,27 | 151 | 58,80 | 63,71 | 171 | 67,20 | 72,15 | 191 | 82,6 | 80,59 |
| 112 | 33,80 | 47,26 | 132 | 44,20 | 55,70 | 152 | 59,10 | 64,14 | 172 | 67,50 | 72,57 | 192 | 84,3 | 81,01 |
| 113 | 34,00 | 47,68 | 133 | 46,70 | 56,12 | 153 | 59,10 | 64,56 | 173 | 68,80 | 73,00 | 193 | 84,8 | 81,43 |
| 114 | 34,70 | 48,10 | 134 | 47,40 | 56,54 | 154 | 60,10 | 64,98 | 174 | 70,70 | 73,42 | 194 | 85,7 | 81,86 |
| 115 | 35,30 | 48,52 | 135 | 48,20 | 56,96 | 155 | 60,20 | 65,40 | 175 | 71,00 | 73,84 | 195 | 89,2 | 82,28 |
| 116 | 35,80 | 48,95 | 136 | 48,50 | 57,38 | 156 | 60,40 | 65,82 | 176 | 71,90 | 74,26 | 196 | 92 | 82,70 |
| 117 | 36,00 | 49,37 | 137 | 48,60 | 57,81 | 157 | 60,50 | 66,24 | 177 | 72,00 | 74,68 | 197 | 92,6 | 83,12 |
| 118 | 36,20 | 49,79 | 138 | 50,70 | 58,23 | 158 | 60,80 | 66,67 | 178 | 72,80 | 75,11 | 198 | 93,9 | 83,54 |
| 119 | 36,20 | 50,21 | 139 | 53,20 | 58,65 | 159 | 61,90 | 67,09 | 179 | 73,40 | 75,53 | 199 | 94,8 | 83,97 |
| 120 | 36,20 | 50,63 | 140 | 53,60 | 59,07 | 160 | 62,10 | 67,51 | 180 | 73,50 | 75,95 | 200 | 95,1 | 84,39 |

**Çizelge B.3 :** Weibull Eklenik İhtimal Tablosu

| Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% | Sıra no | Sıralanmış Debi($m^3/s$) | f(Q),% |
|---|---|---|---|---|---|
| 201 | 97,2 | 84,81 | 221 | 115 | 93,25 |
| 202 | 98,8 | 85,23 | 222 | 116 | 93,67 |
| 203 | 99,4 | 85,65 | 223 | 117 | 94,09 |
| 204 | 100 | 86,08 | 224 | 118 | 94,51 |
| 205 | 100 | 86,50 | 225 | 118 | 94,94 |
| 206 | 101 | 86,92 | 226 | 121 | 95,36 |
| 207 | 101 | 87,34 | 227 | 125 | 95,78 |
| 208 | 101 | 87,76 | 228 | 126 | 96,20 |
| 209 | 102 | 88,19 | 229 | 138 | 96,62 |
| 210 | 102 | 88,61 | 230 | 139 | 97,05 |
| 211 | 103 | 89,03 | 231 | 144 | 97,47 |
| 212 | 104 | 89,45 | 232 | 161 | 97,89 |
| 213 | 105 | 89,87 | 233 | 164 | 98,31 |
| 214 | 106 | 90,30 | 234 | 177 | 98,73 |
| 215 | 106 | 90,72 | 235 | 182 | 99,16 |
| 216 | 107 | 91,14 | 236 | 204 | 99,58 |
| 217 | 111 | 91,56 | | | |
| 218 | 112 | 91,98 | | | |
| 219 | 112 | 92,41 | | | |
| 220 | 113 | 92,83 | | | |

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Tuncer İlkay Ak

**Doğum Tarihi ve Yeri** : Düziçi 21.05.1985

**E-posta** : ilkay2105@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

## MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Temmuz 2011-Ocak 2013 Şişecam Trakya Cam Oto Cam Fabrikası Çevre Mühendisi
- Ocak 2013' ten beri Şişecam Trakya Cam Oto Cam Fabrikası' nda İşletme Mühendisi olarak çalışmaktadır.