

Koyunbaba Barajı'ndan Akış Aşağıya Bırakılması Gereken Çevresel Akış Miktarının Değerlendirilmesi

Environmental flow assessment for downstream of Koyunbaba Dam

M.Murat KÖLE^{1*}

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çankırı.

Öz: Su kaynaklarından etkin ve verimli bir şekilde faydalanmak için akarsular üzerine inşa edilen su yapılarından, akış aşağıya bırakılması gereken asgari su miktarının hesaplanması günümüzde büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılması gereken asgari su miktarı hidrolojik verilere dayalı Tennant (1976) ve akım süreklilik yöntemi ile karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Tennant yönteminde kurak ve yağışlı dönemler iki farklı şekilde belirlenmiştir. Seçili yöntemler ile akarsu yatağında bulunması gereken asgari su miktarı hesaplanmıştır. Tennant yöntemine göre asgari su miktarı kurak dönemler için $0,17 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve $0,09 \text{ m}^3/\text{sn}$, yağışlı dönemler için $0,21 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve $0,38 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır. Akım süreklilik yöntemine göre Q70 $0,24 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve Q95 $0,06 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır. Tennant – II yöntemi ile elde edilen çevresel akış değerleri uzun dönem aylık en düşük akım değerlerinden daha yüksektir. Bu nedenle Tennant – II yöntemi ile çevresel akış miktarının belirlenmesi daha uygundur.

Ahahtar Kelimeler: Koyunbaba Barajı, hidrolojik yöntemler, çevresel akış, Tennant, akım süreklilik.

Abstract: Nowadays, determination of minimum water flow from dams that are build on rivers, has a vital importance in order to utilize water resources effectively and effiviently. In this study, minimum water flow at Koyunbaba Dam is calculated based on two different hydrologic methods, namely flow duration curve and Tennant (1976) methods and they are compared with each other. During the study, In Tennant method, dry and wet periods are defined in two different ways. As a result of current study, based on Tennant method, for raid periods minimum $0,17 \text{ m}^3/\text{sec}$ and $0,09 \text{ m}^3/\text{sec}$, for wet periods minimum $0,21 \text{ m}^3/\text{sec}$ ve $0,38 \text{ m}^3/\text{sec}$ water flow are calculated. Based on flow duration method Q70 and Q95 are calculated respectively $0,24 \text{ m}^3/\text{sec}$ and $0,06 \text{ m}^3/\text{sec}$. Environmental flow amount calculated by Tennant – II method is higher than the long-term monthly minimum current value. Therefore, Tennant – II method is more appropriate than other selected methods.

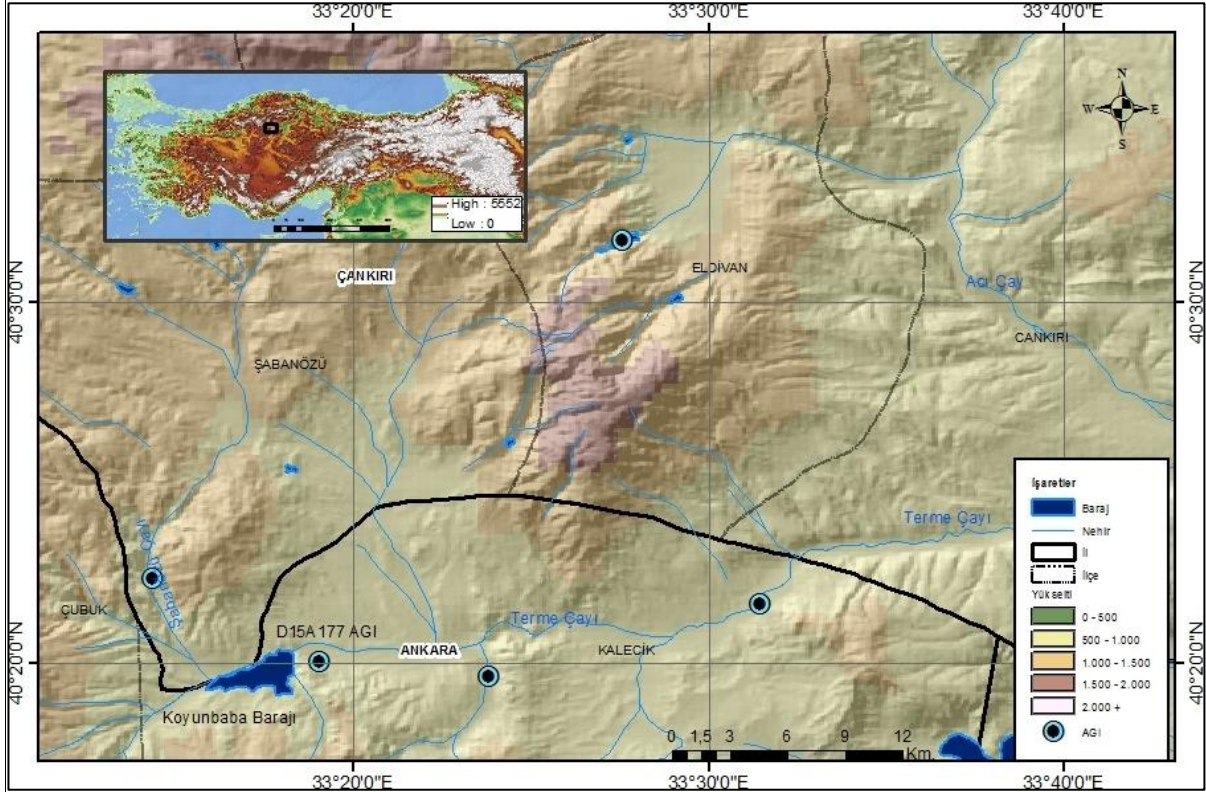
Keywords: Koyunbaba Dam, hydrological methods, environmental flow, Tennant, flow duration.

* İletişim yazarı: M.Murat Köle, e-posta: muratkole@karatekin.edu.tr

1.Giriş

Su kaynaklarından etkin bir biçimde faydalanmak ve artan su ihtiyacına çözüm aramak için birçok bölgede depolamalı su yapıları (rezervuarlar) inşa edilmektedir. Özellikle ekosistemin devamlılığı için en önemli konu başlıklarından biri, su yapısından akarsu yatağına bırakılması gereken asgari su miktarının saptanmasıdır. En önemli tatlı su rezervlerinden biri olan akarsuların sürdürülebilir şekilde kullanılabilmesi ve yönetilebilmesi amacıyla asgari su miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Koyunbaba Barajı; Ankara ve Çankırı il sınırında, Kızılırmak havzası drenaj alanı içerisinde, Terme Çayı üzerinde inşa edilmektedir (Şekil 1). Kalecik ve Şabanözü ilçe sınırında bulunan depolamalı su yapısı, Kalecik ilçesine bağlı Koyunbaba köyünün yaklaşık üç kilometre kuzeyinde 33°18'D – 40°10'K koordinatlarında yer almaktadır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından 2011 yılında yapımına başlanan baraj, 2014 yılında su tutmaya başlamıştır. Elli bir metre yükseklikte olan Koyunbaba Barajı ön yüzü beton kaplı kum - çakıl dolgu tipinde inşa edilmiştir. Söz konusu baraj ve sulama projesi ile başta Terme Ovası olmak üzere, 10.591 ha arazinin sulanması ve Çankırı Yakınkent Organize Sanayi Bölgesinin (ÇYOSB) ihtiyaç duyacağı kullanma suyunun temini hedeflenmektedir. Koyunbaba Barajı ile elde edilmek istenilen hedeflere ulaşılırken, ekosistem göz ardı edilmemelidir. Araştırma konusu olan, Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılması gereken çevresel akış miktarının belirlenmesi, gerek su tutma döneminde gerekse işletme sürecinde ekosistem üzerine verilebilecek olumsuz etkileri azaltması için yol gösterici olacaktır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi lokasyon haritası.

Çalışmanın ana amacı Koyunbaba Barajı'ndan Terme Çayı'na akış aşağı bırakılması gereken asgari su miktarının Tennant (1976) ve akım süreklilik yöntemleri kullanılarak belirlenmesi ve birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesidir. Çevresel akış miktarı belirlenirken, alıcı ortamda

meydana gelen ve/veya gelebilecek kirletici aktiviteleri kökenli su kalite değişimi ve buna bağlı olarak gelişen çevresel akış miktarı çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.

Akış aşağıya bırakılması gereken asgari su miktarını, seçili hidrolojik analiz yöntemleri ile bir arada karşılaştırmalı olarak sunması ve güncel bir proje olan Koyunbaba Barajı için gerçekleştirilmiş benzer bir akademik çalışma olmaması açısından çalışma farklılık taşımaktadır.

2.Çevresel Akış Miktarı ve Tayini

Asgari su miktarı için literatürde can suyu, çevresel akış ve ekosistem su ihtiyacı gibi tanımlamalar bulunmaktadır. Tanımlamalar sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Çevresel akış, bir akarsuyun bulunduğu ekosisteminin belirlenmiş, değerlendirilmiş özelliklerini sürdürebilmek için orijinal akış miktarının ne kadarının akış aşağıya ve akarsu yatağında akmaya devam edeceği olarak tanımlanmaktadır (Tharme vd., 1998:1). Bir başka şekilde çevresel akış, belirli bir özel amaç için nehir sisteminde akış aşağıya bırakılan veya yatakta bulunması istenen akış olarak ifade edilmektedir (King vd., 2008:1).

Çevresel akış miktarının tayini için literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Genel olarak DSİ Genel Müdürlüğü tarafından akarsu yatağında bulunması gereken asgari su miktarı (can suyu), 10 yıllık uzun dönem ortalama debinin en az %10'u referans alınarak hesaplanmaktadır (Yaşar vd., 2011:212).

Çevresel akış miktarının hesaplanması için literatürde farklı ülkelerde farklı yöntemler uygulanmasına karşın, genel olarak bu yöntemler dört temel grupta toplanmaktadır (Karim vd., 1995: 1064).

- I. Hidrolojik yöntemler
 - Tennant (Montana) yöntemi
 - Düşük akım yöntemi
 - Akım süreklilik yöntemi
- II. Hidrolik derecelendirme yöntemleri
 - Islak çevre yöntemi
- III.Habitat simülasyon yöntemleri
- IV. Holistik (Bütünleşik) yöntemler

Bu temel yöntemlerin yanı sıra hibrit yaklaşımlar da bulunmaktadır. Hibrit yaklaşımlar, temel yöntemlere ait metodolojilerin bir veya daha fazlasını bir arada değerlendirerek, duruma özel tekniklerle çevresel akış miktarının belirlenmesine yönelik yaklaşımları içermektedir (Tharme vd., 1998:16).

Hidrolojik yöntemler, yatakta bulunması gereken asgari su miktarını daha genel bir ifade ile çevresel su ihtiyacını günlük ya da aylık akış verilerinden itibaren hesaplamaktadır (Pyrice, 2004:1). Hidrolojik yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanları Tennant 1976 (Montana) yöntemi, düşük akım yöntemleri ve akım süreklilik yöntemleridir.

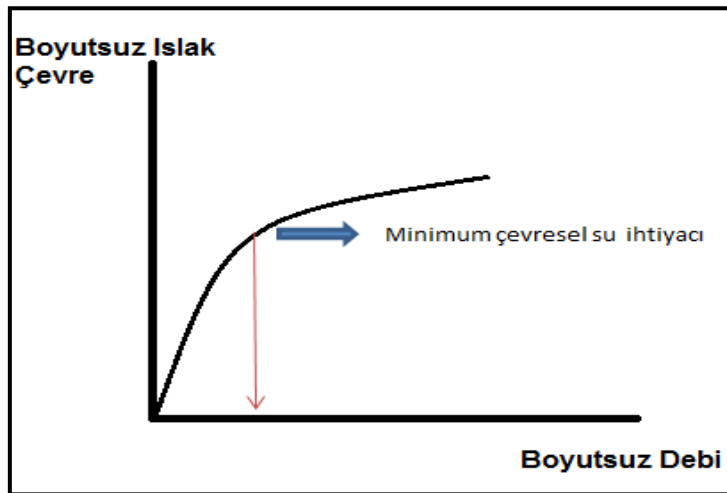
Dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan hidrolojik akım değerlendirme yöntemi Tennant (1976) yöntemidir (Tharme, 2003). Tennant yöntemi, son derece basit hidrolojik verilere dayanması nedeni ile dünya genelinde yirmi beşten fazla ülkede, iki yüzden fazla uygulamada, orijinal haliyle ya da geliştirilmiş hali ile kullanılmaktadır (Tharme, 2003:404).

Tennant (1976) yönteminden sonra dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan ikinci hidrolojik yöntem düşük akım yöntemidir. Düşük akım yöntemlerinin tümü temelde uzun dönemler boyunca (25 yıl, 10 yıl, 5 yıl, 2 yıl vb.) gerçekleşen, birbirini takip eden seçili günler boyunca (7 gün, 2 gün vb.) ortaya çıkan, en düşük akım süreleri üzerinden istatistiksel hesaplamalar yapılmasına dayanmaktadır (Smakhtin, 2001:157). On yıllık periyod boyunca kaydedilen ardışık 7 günlük en düşük akım (7Q10) ve iki yıllık periyod boyunca kaydedilen ardışık 2 günlük en düşük akım (7Q2) değerleri sıklıkla kullanılan düşük akım yöntemleridir.

7Q10 yöntemi atık su deşarjından sonra alıcı ortam su kalitesinin düzenlenmesinde, kurak dönemlerde habitat için gereken su ihtiyacı tayininde ve sucul yaşamın kritik su ihtiyacının belirlenmesinde kullanılmaktadır. En basit hali ile yöntemin temel kullanımı kirlilik kontrolü amaçlı olarak su kalitesi hesaplamalarıdır (Pyrice, 2004:7). 7Q10 yöntemine dayalı olarak çevresel su ihtiyacı ya da asgari su miktarının belirlenmesine yönelik olarak literatürde bazı çekinceler yer almaktadır. 7Q10 düşük akım yöntemi ile yatakta yer alması gereken asgari su miktarına dayalı kullanımların daha sonraki dönemlerde olumsuz biyolojik etkilerinin ortaya çıkabileceği belirtilerek akarsu yatağında olması gereken asgari su ihtiyacı hesaplamalarında problem oluşturabileceği belirtilmiştir (Caissie vd., 1995:245). ABD Balıkçılık ve Yaban Hayatı Servisi 7Q10 yöntemine dayalı olarak belirlenecek olan asgari su ihtiyacı miktarının sucul sistem üyeleri için yeterli olmayacağını savunmaktadır (Pyrice, 2004:7).

Akım süreklilik yöntemi literatürde kullanılmakta olan bir diğer hidrolojik yöntemidir. Kronolojik zaman dağılımı dikkate alınmaksızın, akım frekansının zamana göre nasıl değiştiğini gösteren akım (debi) süreklilik eğrileri yardımı ile düşük akım dönemlerinden taşkın dönemlerine kadar akarsu boşalımı/akımı belirlenebilir (Smakhtin, 2001:9). Akım süreklilik eğrisinin %70 – %99 değeri altında kalan akımlar genellikle asgari akımlar olarak değerlendirilmektedir. Zamanın %95’inde beklenen akımın, belirli bir değere eşit veya ondan büyük olması (Q95); İngiltere’de sıklıkla kullanılan indeksler arasındadır. Benzer şekilde zamanın %70’inde beklenen akımın, belirli bir değere eşit veya ondan büyük olması (Q70); Güney Afrika ülkelerinde sıklıkla başvurulan indeksler arasında yer almaktadır (Smakhtin vd., 1998:108).

Literatürde çevresel akış miktarını belirlemek için kullanılan bir diğer yaklaşım hidrolik derecelendirme yöntemidir. Yöntem ile nehir ekosisteminde yer alan biyotanın devamlılığı için ihtiyaç duyulan sınır akış değeri belirlenir (Pyrice, 2004:3). Literatürde en yaygın olarak kullanılan hidrolik derecelendirme yöntemi ıslak çevre yöntemidir. Islak çevre yöntemi Washington yönteminin bir varyasyonu olarak ifade edilmektedir (Li vd., 2010:3). Yöntem akarsu yatağından alınan enine kesitten itibaren ıslak çevre ya da maksimum su derinliği gibi hidrolik parametrelerin zaman içerisinde değişimine dayanmaktadır (Gopal, 2013:147). Kesitler genel olarak nehir yatağının genişlediği ve su derinliğinin azaldığı noktalarda çıkartılır. Kesite ait eşel seviye değişiminden itibaren ıslak çevre hesaplanarak, boyutsuz debi - ıslak çevre grafiği elde edilir. Söz konusu grafiğin kırılma noktası asgari çevresel/ekosistem su ihtiyacı olarak tanımlanır (Şekil 2). Özellikle ekosistemde yer alan balıklar için geliştirilmiş yöntemlerden birisidir.



Şekil 2: Boyutsuz ıslak çevre – debi grafiği.

Kaynak: Mann (2006)'dan itibaren çizilmiştir.

Habitat simülasyon yöntemleri farklı hidrolojik, hidrolik ve biyolojik parametrelere bağlı olarak detaylı analizlerin sonucunda habitatın ihtiyaç duyduğu çevresel su ihtiyacının belirlenmesi için geliştirilmişlerdir (Pyrice, 2004:2). Habitat simülasyon yöntemlerinde detaylı bir şekilde ortam parametreleri olan akış, su derinliği, eğim, kesitin şekli vb. değişkenler belirlenerek modelleme çalışması yapılmaktadır. Sonuçlar genellikle habitat - debi eğrileri şeklinde ortaya çıkartılarak, optimum akımlar bu eğrilerden itibaren belirlenir (Özdemir vd., 2007:404). Habitat simülasyon yöntemleri farklı türler için alternatif çevresel akış senaryolarında sonuçlar ortaya çıkartırlar. Bilgisayar temelli sistem olması nedeni ile çalışma alanındaki hidrolojik, hidrolik ve biyolojik parametrelere ait detaylı verilere ihtiyaç duyar (Tharme vd., 1998:20).

Bütünleşik yöntemler, ekosistemin tümünün gereksinimlerini bir arada değerlendirerek (nehir yatağı, kaynak alanları, taşkın alanları vs.) akarsu doğal rejiminin değiştirilmesinden itibaren kritik akış değerinin ortaya çıkartılması temeline dayanır (Pyrice, 2004:4). Çoğu yaklaşım için esas olan değişen akış rejiminin, sistematik olarak her ay ve her parametre bazında izlenip değerlendirilmesi gerekir. Gelişmiş bütünleşik yöntemler; hidrolojik, hidrolik oran ve habitat simülasyonu yöntemlerindeki bazı araçlardan da rutin olarak yararlanmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

Bu çalışma, Koyunbaba Barajı'ndan Terme Çayı'na bırakılması gereken asgari su miktarının Tennant (1976) ve akım süreklilik yöntemleri kullanılarak belirlenmesini ve karşılaştırılmasını ele almaktadır.

Kaynaklarını Aydos Dağları ve Kaşkaya Tepesi'nden alan Terme Çayı, yüksekliği 700 - 750 m arasında değişen bir taban içerisinde vadi doğrultusuna paralel şekilde akışını gerçekleştirmektedir (Doğan, 1996:135; Gökmen, 2011:99). Terme Çayı, Çankırı ili idari sınırları içerisinde Dedeköy mevkiinde Acı Çay ile birleşmekte ve Kızılırmak ilçesine bağlı Kavaklı köyünde Kızılırmak'a karışmaktadır. Acı Çay ile birleşmeden önce en önemli su kaynakları Şabanözü ve Karaboğaz çaylarıdır. Yıllık ortalama debisi 2,9 m³/sn olan Terme Çayı, özellikle düşük eriyik miktarı ve su kalitesi yönünden bölgede yer alan diğer nehir ve çaylara göre sulamaya daha elverişli konumdadır (Gökmen, 2011:99). Geniş bir alüvyal taban içerisinde akan Terme Çayı düzenli bir akış rejimine sahip olmamakla birlikte, yıl boyu yatağında su bulundurmaktadır. Çay yer yer örgülü bir drenaj ağı oluşturmaktadır (Doğan, 1996:150).

Çalışmada, Terme Çayı üzerinde yer alan akım gözlem istasyonlarına ait akım verileri değerlendirilmiştir. Gerek Koyunbaba Barajı'nın hemen akış aşağısında yer alması, gerekse 1977 yılından söz konusu depolama tesisinin inşaat başlangıç tarihi olan 2010 yılına kadar rasat verileri içermesi açısından, Devlet Su İşlerine ait D15A177 numaralı istasyon tercih edilmiştir. Koyunbaba Barajı'nın yaklaşık bir kilometre mansabında, 33°19'D – 40°20'K koordinatlarında yer alan akım gözlem istasyonu 778 m. yükseltiye sahiptir. Limmigraf sistemi ile kayıt tutulan istasyonunun yaklaşık drenaj alanı 754 km²'dir. 1977 – 2010 yılları arasında Koyunbaba akım gözlem istasyonunda sadece bir yıl akım kaydı tutulmamış (1982), geri kalan yıllarda kesintisiz akım kayıtları tutulmuştur. Çalışma genelinde istasyona ait otuz iki yıllık gerçek akım seti verilerinden faydalanılmıştır.

Koyunbaba akım gözlem istasyonuna ait gerçek uzun dönem veriler, hidrolojik akım analiz yöntemleri olan Tennant (1976) ve akım süreklilik yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada regresyon analizi uygulaması için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı kullanılmıştır. Ayrıca haritalama çalışmaları için coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) faydalanılmış, ilgili çalışmalar için ArcMap 10 programı kullanılmıştır.

Tennant (1976) (Montana) yöntemine göre akarsu yatağında olması gereken asgari su miktarı, yağışlı ve kurak olmak üzere iki dönem halinde değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda çalışmada, su yılı akış açısından iki dönemde incelenmiştir. Dönemlerin belirlenmesinde iki farklı yol izlenmiştir. İlk olarak dönemler Tennant (1976) yönteminin orijinal haline uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma genelinde bu kabullenme Tennant – I olarak ifade edilmektedir. Tennant – I yaklaşımında Ekim ve

Mart arası su yılının yağışlı dönemini, Nisan ve Eylül ayları arası su yılının kurak dönemini oluşturmaktadır. Dönemlerin belirlenmesinde ikincil olarak debi gidiş eğrisinden faydalanılmıştır. Debi gidiş eğrisinde uzun dönem ortalama akım değerinin altında kalan aylar kurak, üzerinde kalan aylar ise yağışlı döneme ait aylar olarak kabul edilmiştir. Söz konusu kabullenme çalışmada Tennant – II olarak ifade edilmektedir. Otuz iki yıllık rasat süresi boyunca kaydedilen akım değerlerinden itibaren, yağışlı ve kurak dönemler için Çizelge 1’ de yer alan yüzdesel sınıflandırma değerleri ayrı ayrı kullanılarak, istenen akış koşullarına göre yatakta bulunması gereken su miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Tennant (1976) yöntemine göre balık, yaban hayatı ve rekreasyon için gerekli olan akımın sınıflandırılması (%).

Genel akış koşullarının tanımı	Tavsiye edilen yıllık ortalama akış rejiminin yüzdesi: Yağışlı dönem	Tavsiye edilen yıllık ortalama akış rejiminin yüzdesi: Kurak dönem
Taşkın veya maksimum	%200	%200
Optimum aralıkta	%100 - 60	%100 – 60
Mükemmel	%40	%60
Çok iyi	%30	%50
İyi	%20	%40
Orta	%10	%30
Zayıf veya minimum	%10	%10
Çok az	< %10	< %10

Kaynak: Tennant, D. L. (1976).

Akım süreklilik yöntemi ile uzun dönem aylık akımların analizi yapılarak, akarsu yatağındaki debinin, akım yılları boyunca zaman içerisindeki değişimini gösteren olasılık eğrisi (akım süreklilik eğrisi) elde edilmiştir. Bu şekilde akarsu akımının belirli bir değere eşit ya da daha büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanmıştır. Bunun için uzun dönem gerçek aylık akım değerlerine ait akım sıralarının belirlenmesinden itibaren her bir veri kaydı için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$k = \left(\frac{P}{n+1} \right) * 100$$

Burada “k” belirli bir akış değerine eşdeğer olma veya aşılma olasılığını (% zaman akım değeri) ifade etmektedir. “P” terimi boyutsuz olarak akım rasat değerlerinin sıralı değerlerini ve “n” terimi ise boyutsuz olarak toplam akım rasat sayısını temsil etmektedir.

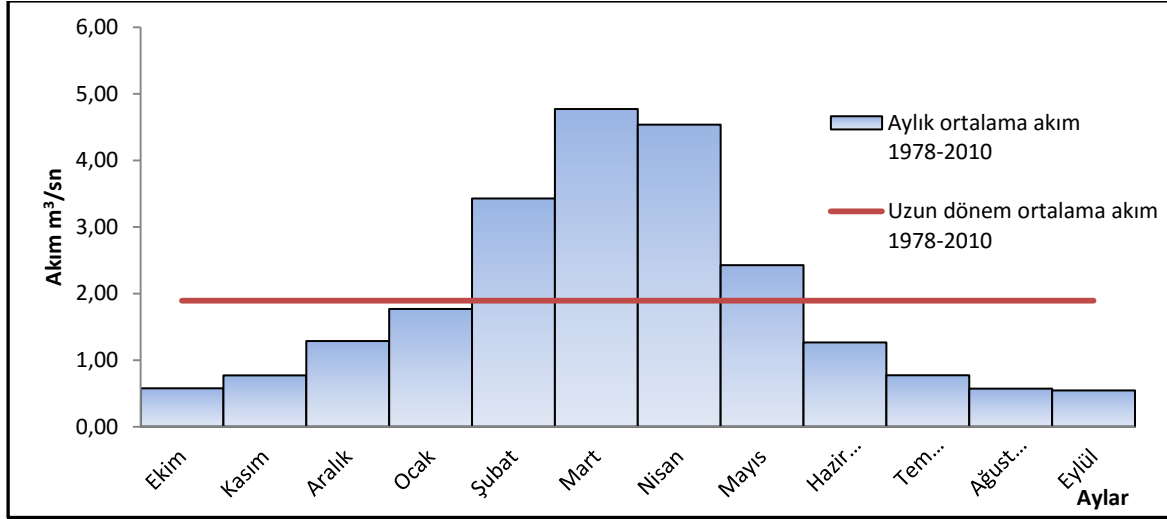
Söz konusu eşitlikten itibaren elde edilen değerlerin yatay eksene, bu değerlere karşılık gelen akım (debi) değerlerinin düşey eksene işlenmesi ile D15A177 istasyona ait gözlemlenen uzun dönem akım süreklilik eğrisi elde edilmiştir. Eğriye ait fonksiyonu ve fonksiyona ait belirleme katsayısını (R^2) bulmak için SPSS 16.0 programı regresyon analizi uygulamasından faydalanılmıştır.

Değişkenliğin ne kadarının elde edilen fonksiyon tarafından açıklanabildiğini ifade eden “ R^2 ” katsayısı üst sınırı birdir (Bayazıt, 1995:218). Bire yaklaşma oranı ile bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmını modeldeki bağımsız değişkenin açıkladığı sonucuna varılmaktadır (Ünver vd., 2013:372). Bu varsayım ile fonksiyonun belirlenmesinde bire yakınlık oranı dikkate alınmıştır.

Elde edilen akım süreklilik eğrisinden itibaren debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi olarak Q95 ve Q70 değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama için eğri fonksiyonunda Q95 için “k” değeri 95, Q70 için “k” değeri 70 alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

4.Bulgular

Koyunbaba AGİ'na ait uzun dönem akım istatistiklerine göre en yüksek aylık akım Şubat ayında (2010) en düşük aylık akım Ekim ayında (2008) kaydedilmiştir. Söz konusu istasyonun debi gidiş eğrisine göre, Şubat – Mayıs aralığında gerçekleşen aylık akım ortalamaları uzun dönem ortalama akım değerinden daha yüksektir (Şekil 3).



Şekil 3. D15A177 Koyunbaba AGİ uzun dönem debi gidiş eğrisi.

Otuz iki yıllık dönem boyunca, D15A177 numaralı Koyunbaba akım gözlem istasyonu için aylık ortalama akım değerlerinden itibaren, Tennant (1976) yöntemine göre yağışlı ve kurak dönemler için elde edilen asgari akım değerleri sırası ile $0,21 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve $0,17 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir (Çizelge 2).

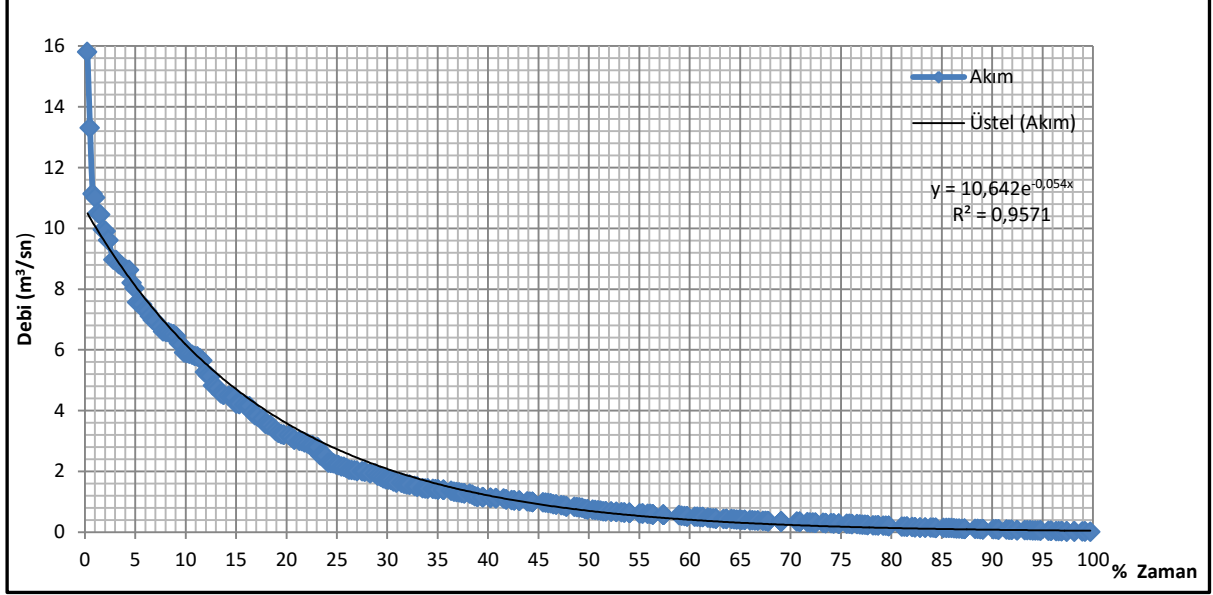
Debi gidiş grafiğine göre, Şubat – Mart – Nisan ve Mayıs aylarında akarsu yatağında akışa geçen su miktarı uzun dönem ortalama akım miktarının üzerinde yer almaktadır. Tennant (1976) yönteminde, söz konusu ayların yağışlı döneme ait olduğu kabulü ile yağışlı dönemde yatağa olması gereken asgari su miktarı $0,38 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Uzun dönem ortalama akım miktarının altında kalan ayların kurak dönemi temsil ettiği varsayımı ile kurak dönem için gereken asgari su miktarı $0,09 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Tennant yöntemine göre hesaplanan asgari su miktarı.

	Tennant - I		Tennant - II	
	Yağışlı dönem (m³/sn)	Kurak dönem (m³/sn)	Yağışlı dönem (m³/sn)	Kurak dönem (m³/sn)
Uzun dönem ortalama akım (m³/sn)	2,1	1,69	3,79	0,94
Mükemmel	0,84	1,01	1,52	0,56
Çok iyi	0,63	0,84	1,14	0,47
İyi	0,42	0,67	0,76	0,38
Orta	0,21	0,51	0,38	0,28
Zayıf veya minimum	0,21	0,17	0,38	0,09
Çok az	<0,21	<0,17	<0,38	<0,09

Aylık ortalama akım değerlerinden itibaren oluşturulan akım (debi) süreklilik eğrisi, gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda aşağıda yer alan fonksiyon ile karakterize edilmiştir (Şekil 4).

$$Q = 10,642 e^{-0,054k}$$



Şekil 4. D15A177 Koyunbaba AGİ akım (debi) süreklilik eğrisi.

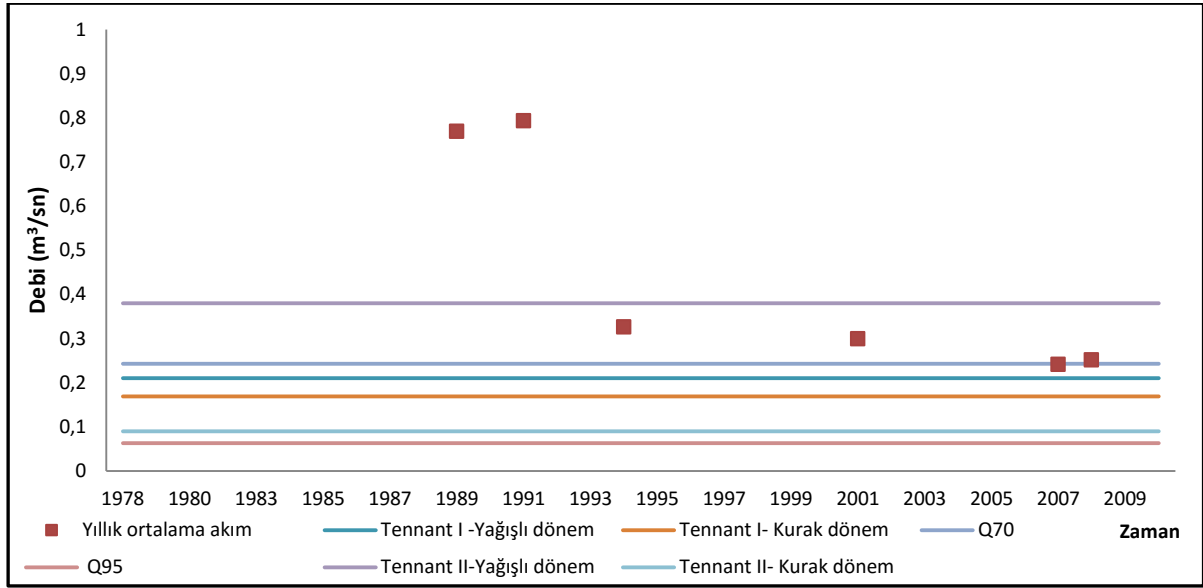
Burada “Q” terimi boyutlu olarak, birim kesitten birim zamanda geçen su miktarını (m^3/sn) temsil etmektedir. Fonksiyonda yer alan “k” terimi belirli bir akış değerine eşdeğer olma veya aşılma olasılığını (% zaman akım değeri) ifade etmektedir.

Bu eşitlikten itibaren Q70 değeri $0,243 m^3/sn$ ve Q95 değeri $0,063 m^3/sn$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Regresyon analizi ile elde edilen fonksiyonun regresyon belirleme katsayısı (R^2) $0,9571$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Akım süreklilik yöntemine göre asgari su miktarı.

	Debi (m^3/sn)
Akım süreklilik - Q 70	0,243
Akım süreklilik - Q 75	0,185
Akım süreklilik - Q 90	0,082
Akım süreklilik - Q 95	0,063

Gözlem süresinde, Koyunbaba AGİ’da kaydedilen yıllık ortalama akım değerleri 1994, 2001, 2007 ve 2008 yılları dışında hiçbir zaman seçili yöntemler ile hesaplanan çevresel su miktarının altına düşmemiştir (Şekil 5). 1994, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında Tennant (1976) yöntemi ile debi gidiş grafiğinden itibaren hesaplanan yağışlı aylara ait asgari su ihtiyacı, söz konusu yıllara ait ortalama akımın üzerinde kaydedilmiştir. Q95 değeri gözlem süresi boyunca hiçbir zaman yıllık ortalama akımın üzerinde yer almamıştır. Q70 değeri sadece 2007 yılında yıllık ortalama akım değerinin üzerinde kalmıştır.

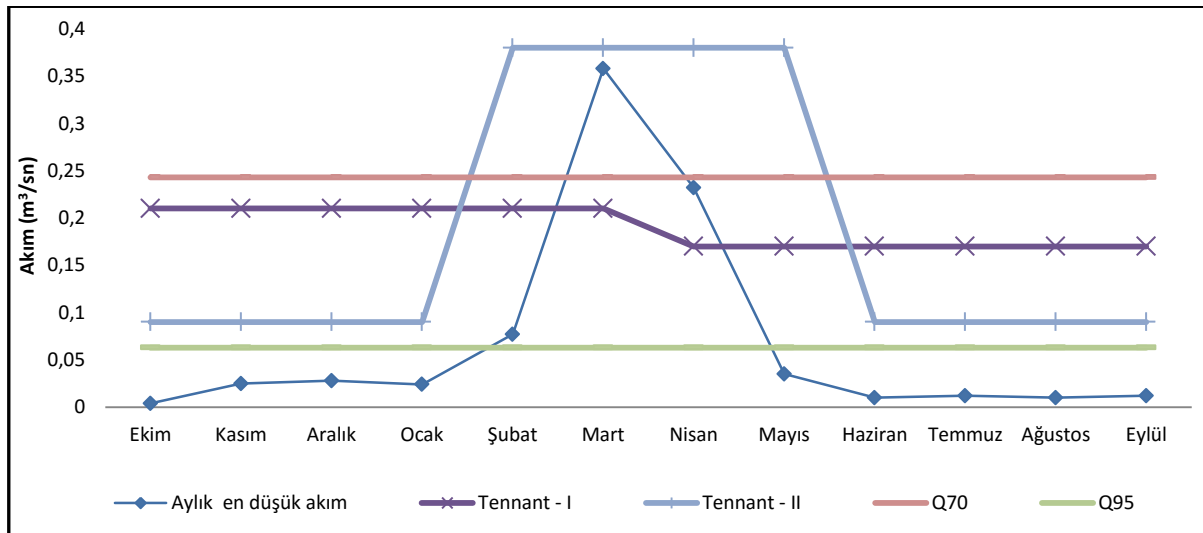


Şekil 5. Seçili yöntemlere göre asgari su miktarları ve D15A177 Koyunbaba AGİ'da 1 m³/sn'den küçük yıllık ortalama akım değerleri (1978 - 2010).

7.Sonuç ve Tartışma

Akarsu yatağında bulunması gereken asgari su miktarının belirlenmesinde literatürde farklı ülkeler tarafından farklı hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Yöntemler arasında en yaygın olanı hidrolojik verilere dayanan yöntemlerdir. Hidrolojik verilere dayalı yöntemler arasında ise görece daha basit ve kolay kullanıma sahip olması nedeni ile Tennant (1976) metodu ve akım süreklilik yöntemi sıklıkla tercih edilmekte olup, çalışmada söz konusu yöntemler kullanılmıştır.

Çalışma genelinde otuz iki yıllık gerçek akım setleri incelenerek, yatakta gerçekleşen en düşük akımların oluştuğu dönemler ortaya çıkartılmıştır. D15A177 Koyunbaba AGİ için aylık en düşük akımlar ve seçili hidrolojik yöntemlere göre çevresel akış miktarı Şekil'7 de verilmiştir.



Şekil 7. D15A177 Koyunbaba AGİ aylık en düşük akımlar ve seçili hidrolojik yöntemlere göre çevresel akış miktarı.

Akım süreklilik yöntemi kullanılarak elde edilen fonksiyonun regresyon belirleme katsayısı 0,9571 olarak hesaplanmıştır. Katsayısının yüksek bire yakınlık oranı, elde edilen fonksiyonun gerçeği temsil etme oranının ne kadar yüksek olduğunun bir göstergesidir.

En düşük akım değerlerinin gerçekleştiği dönemlerde akarsu ekosisteminin varlığını sürdürdüğü kabul edilmiştir. Bu temel yaklaşım ile Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılması gereken asgari su miktarı, bir başka ifade ile çevresel akış miktarı, akarsu yatağında gerçekleşen en düşük akım değerinden daha az olmamalıdır.

Seçili hidrolojik yöntemlerden sadece debi gidiş grafiğinden faydalanılarak yağışlı – kurak dönemleri belirlenen Tennant (1976) yöntemi, uzun dönem en düşük aylık ortalama akım değerlerinin tümünün üzerinde yer almaktadır. Diğer yöntemlere kıyasla, söz konusu yöntem ile belirlenen çevresel akış miktarına ekosistemin vereceği tepki daha öngörülebilir seviyededir. Seçili diğer yöntemlere göre belirlenen asgari akım değerlerinin, Mart ayında ekosistem üzerinde ne gibi etkiler ortaya çıkartabileceği doğal olarak hiç tespit edilmemiştir. Bu nedenle Mart ayında yatağa bırakılması gereken asgari su miktarı en az Tennant – II yöntemine göre ortaya çıkan çevresel akış miktarlarına eşit ve/veya daha fazla olmalıdır.

Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılması gereken çevresel akış miktarları Mart ayı dışında incelendiği zaman, Q70 ve debi gidiş grafiğinden faydalanılarak yağışlı – kurak dönemleri belirlenen Tennant (1976) yöntemine dayalı sonuçlar görece daha uygun gözükmektedir. Her iki yöntemle hesaplanan çevresel akış miktarları, ilgili aylarda tespit edilen en düşük su akımlarından daha yüksektir.

Koyunbaba Barajı'ndan akış aşağıya bırakılacak asgari su miktarının sadece Q95 yöntemine göre belirlenmesi; Şubat, Mart ve Nisan ayları uzun dönem ortalama su miktarlarından daha düşük bir akımın akış aşağıya bırakılmasını gerektirmektedir. Q95 yöntemine göre hesaplanan asgari su miktarı otuz iki yıllık akım gözlem kayıtları boyunca söz konusu aylarda hiç yaşanmamıştır. Bu nedenle Şubat, Mart ve Nisan aylarında ekosistem üzerinde ne gibi etkiler ortaya çıkartabileceği doğal olarak hiç tespit edilmemiştir.

Koyunbaba Barajı için, alıcı ortamdaki kirletici parametre değişimleri dikkate alınmadan yapılan çalışmada, sadece seçili hidrolojik yöntemlerden birine dayanan bir değerlendirme ile çevresel akış miktarı tespiti hatalı sonuçlara yol açabilir. Seçili yöntemlerin bir arada ve yatakta meydana gelen en düşük akım ile birlikte değerlendirilmesi daha anlamlı olmaktadır. Seçili hidrolojik yöntemler bir arada değerlendirildiğinde, çalışma bölgesi için, Tennant – II yöntemi ile çevresel akış miktarının belirlenmesi daha uygundur.

Referanslar

- Bayazit, M. (1995) *Hidroloji*, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Caissie, D., El-Jabi, N. (1995). "Comparison and Regionalization of Hydrologically Based Instream Flow Techniques in Atlantic Canada", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22, 235-246.
- Doğan, U. (1996) "Çandır Miosen Havzasının Jeomorfolojisi", *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 12, 135-152.
- Gopal, B. (2013). "Methodologies of the Assessment of Environmental Flows", In *Environmental Flows: An Introduction for Water Resources Managers*, National Institute of Ecology, New Delhi, 129-182.
- Gökmen, B. (2011) *Çankırı İli Coğrafyası*, Çankırı Belediyesi Kültür Yayınları, Çankırı.
- Karim, K., Gubbels, M. E., & Goulter, I. C. (1995) "Review of Determination of Instream Flow Requirements with Special Application to Australia" *Water Resources Bulletin*, 31, 1063-1077.
- King, J. M., Tharme, R. E., Villers, M. S. (2008) *Environmental Flow Assessments For Rivers: Manual For Building Block Methodology*, Water Research Commission (WRC), Gezina.
- Li, H.-e., Lin, Q.-c. (2010) "Estimation and Guarantee Measures of Ecological Basic Flow in Weihe River", *Bioinformatics and Biomedical Engineering (CBBE)*, 4th International Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1-6, Chengdu.
- Mann, J. L. (2006) *Instream Flow Methodologies: An Evaluation of The Tennant Method for Higher Gradient Streams in The National Forest System Lands in The Western U.S.*, Unprinted Ms Thesis, Colorado State University, Colorado.
- Özdemir, D. A., Karaca, Ö., Erkuş, M. K. (2007) "Low Flow Calculation to Maintain Ecological Balance in Streams", *International River Basin Management Congress Book*, General Directorate of State Hydraulics Works, 402-412.

- Pyrice, R. (2004) *Hydrological Low Flow Indicates and Their Uses*. Watershed Science Centre (WSC), Ontario.
- Smakhtin, V. U. (2001) "Low Flow Hydrology: A Review. *Journal of Hydrology*, 240, 147-186.
- Smakhtin, V. U., Toulouse, M. (1998) "Relationships Between Low-Flow Characteristics of South African Streams" *Water SA*, 24(2), 107-112.
- Tennant, D. L. (1976) "Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources", *Fisheries*, 1, 6-10.
- Tharme, R. E. (2003) "A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emergny Trends in The Developmnet and aplication of Environmental Flow Methodoligies For Rivers" *River Research and Applications*, 19, 397-441.
- Tharme, R. E., King, J. M. (1998) *Development of the Building Block Methodology for Instream Flow Assessments, and Supporting Research on the Effects of Different Magnitude Flows on Riverine Ecosystems*, Water Research Commission (WRC), Cape Town.
- Ünver, Ö., Gamgam, H., Altunkaynak, B. (2013) *Temel İstatistik Yöntemler*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Yaşar, M., Baykan, N. O., Bülbül, A. (2011) "Akışaşağısına Bırakılması Gereklı Debi Yaklaşımları" *II. Su Yapıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 211-218.

