



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yeşilirmak Havzası İçin Sediment-Akım Fonksiyonlarının Belirlenmesi

 Murat PINARLIK ^{a,*},

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratpinarlik@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1063087

Öz

Günümüzde yaşanan küresel ısınma etkileri, hızlı nüfus artışı, yaygın sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerin bir sonucu olarak su ihtiyacı giderek artmaktadır. Öte yandan erozyon sonucu oluşan ve akarsular ile taşınan sediment, su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için sediment ölçüm ve tahminlerine büyük önem verilmektedir. Akarsulardaki sediment ölçümleri oldukça maliyetli ve zor işlemlerdir. Bu nedenle, her akarsu havzası için sediment tahmin fonksiyonlarının kullanılması önemli hale gelmiştir. Bu kapsamda, yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında sediment anahtar eğrisi gelmektedir. Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzası'nın farklı alt havzalarında ve akarsu kollarında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonu seçilerek havzaya uygun sediment anahtar eğrisi fonksiyonu oluşturulması amaçlanmıştır. Akım gözlem istasyonlarından akım debisi ve o enkesitten geçen katı madde miktarı verileri elde edilmiştir. Çalışmada sediment anahtar eğrisi; üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanılarak beş farklı şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen fonksiyonlardaki akım ile sediment arasındaki ilişki belirleyicilik katsayısı ile değerlendirilmiştir. Tüm istasyonlar için belirleyicilik katsayı değerleri 0.50 ile 0.92 arasında değişiklik gösterirken Yeşilirmak Havzası özelinde en uygun anahtar eğrisi fonksiyonunun üs fonksiyon olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sediment anahtar eğrisi, Askıda sediment, Yeşilirmak Havzası, Üs fonksiyon, Belirleyicilik katsayısı.

Determination of Sediment-Flow Functions for the Yeşilirmak Basin

ABSTRACT

As a result of the effects of global warming, rapid population growth, widespread industrialization and agricultural activities, the water demand is increasing day by day. On the other hand, sediment formed as a result of erosion and carried by rivers negatively affects water resources. For the sustainability of water resources, great importance is given to sediment measurements and estimations. Sediment measurements in rivers are very costly and difficult processes. Therefore, it has become important to use sediment estimation functions for each river basin. In this context, sediment rating curve is one of the most commonly used methods. In this study, it was aimed to create a sediment rating curve function suitable for the basin by selecting seven streamgage gauging stations located in different sub-basins and river tributaries of the Yeşilirmak Basin. Discharge and suspended sediment data were obtained from streamgage gauging stations. Sediment rating curve; it is constructed in five different ways using exponent function, exponential function, linear function, logarithmic function and polynomial function during this study. Flow-sediment compatibility in the obtained functions was evaluated with the coefficient of determination. While the coefficient of determination values for all stations varied between 0.50 and 0.92, it was observed that the most appropriate sediment rating curve function was the exponent function in the Yeşilirmak Basin.

Keywords: Sediment rating curve, Suspended sediment, Yesilirmak Basin, Exponent function, Coefficient of determination.

I. GİRİŞ

Son yıllardaki hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve tarımda yaşanan gelişmeler, su kaynaklarının önemini bir kat daha arttırmıştır. Bunun yanı sıra dünya genelinde etkili olan küresel ısınma, yağışların azalmasına, sıcaklıkların ve buharlaşmanın artmasına neden olmaktadır. Böylece su kayıpları artarken, suya ulaşım da daha zor bir hal almaktadır.

Katı maddeler, akarsuyun karakteristik özelliklerine (debi, hız, eğim vb.) ve dane özelliklerine göre (boyut, çap, ağırlık vb.) askıda ya da akarsu tabanında sürüntü şeklinde hareket etmektedirler. Akarsu morfolojisinin tanımlanması, baraj, içme suyu, kullanma suyu temin projelerinin planlanması, sürdürülebilir bir havza yönetim çalışmasının gerçekleştirilmesi ve akarsudaki kirlilik seviyesinin tespit edilmesinde askıda sediment yükünün doğru olarak tahmin edilmesi oldukça önem taşımaktadır [1]. Bunun nedeni, sediment miktarı tahmininin, rezervuar ölü hacminin belirlenmesi, uzun ömürlü ve yeterli su kanallarının tasarlanması ve su yapılarının akarsu ve çevresine etkilerinin belirlenmesi gibi geniş bir perspektifte kullanılmasıdır [2,3,4]. Tahminen tüm dünyada rezervuar sedimantasyonu nedeni ile ortalama yıllık depolama kaybının toplam depolama kapasitesine oranı %0,5-1 arasındadır [5,6]. Ortalama olarak, depolamadaki bu kayıp yaklaşık 45 km³/yıl'dır. Bu, dünya üzerinde yıllık bazda yaklaşık olarak 300 büyük baraja karşılık gelmekle birlikte yeni barajlarla ilgili çevresel ve sosyal maliyetleri dahil etmeksizin tahmini olarak bu depolama kapasitesinin maliyeti 13 milyar dolardır [7]. Akarsularda taşınan askıda sediment miktarı, toplam sediment miktarının %75-95'ini oluşturur [8]. Türkiye'nin yer aldığı coğrafyaya bağlı olarak topoğrafik özellikleri, zemin özellikleri, jeomorfolojik yapısı, arazi kullanımındaki farklılıklar ve iklimsel değişimler erozyona karşı hassasiyeti artırmaktadır. Bu nedenle ülkemizde, erozyon ve onun sonucunda meydana gelen akarsulardaki sedimantasyon su kaynakları için ciddi problem teşkil etmektedir [9].

Bir nehrin askıda sediment miktarı ölçümleri ve tahminleri, kanal gezilebilirliği, hidroelektrik ekipman ömrü, taşkın kontrolü, nehir estetiği, su habitatları ve nehir ekosistemleri açısından da önemlidir [10]. Özellikle, rezervuarlardaki su depolama kaybı ve su kalitesi ile ilgili olarak, nehirlerdeki askıda sediment yükünden kaynaklanan sorunları önlemek için nehirler tarafından taşınan sediment hacminin doğru tahminleri gereklidir [11]. Sediment yükünün tahmini için çeşitli hidrolojik ve hidrolik yöntemler uygulanmaktadır. Hidrolojik yöntemler, havzanın sediment yükünün değerini tahmin etmek için verilerin örneklenmesinden ve pratik ölçümlerinden yararlanır. Hidrolik yöntemler ise akışın hidrolik özelliklerinin bir fonksiyonudur ve sediment taşınımını hesaplayabilir. Ancak, havzanın sediment yükünün değerini tahmin edemezler. Hidrolik yöntemler, nehirlerde maksimum tortu taşıma kapasitesini gösterse de bir tutarlılığın olması imkansızdır. Bu nedenle ölçülen sediment miktarı, genellikle hidrolik yöntemlerle hesaplanan sediment miktarından daha azdır [12]. Akarsulardaki askıda katı madde miktarı, sediment anahtar eğrisi başta olmak üzere, esnek modelleme yöntemleri, sediment gözlem istasyonlarında yapılan doğrudan ölçümler ve deneysel çalışmalara dayanan yaklaşımlar gibi farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir [1]. Bu yöntemlerden sediment anahtar eğrisi, su (akım) debisi ile sediment yükü (sediment debisi) arasında basit bir ilişki sağlar ve hidrologlar tarafından altmış yılı aşkın süredir yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14]. Akarsu akımındaki ortalama askıda sediment konsantrasyonunun ölçülmesi zaman alıcı ve maliyetli bir işlemdir. Bu nedenle sediment anahtar eğrilerinden önemli ölçüde yararlanılmaktadır [15]. Sediment anahtar eğrilerinin oluşturulmasında eşitlik olarak üs, üstel, doğrusal, logaritmik, polinomial fonksiyonlar havzadaki akım ve sediment yükü arasındaki ilişkiye bağlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [16]. Ayrıca günümüzde, regresyon yöntemleri ve yapay zeka tekniklerini de geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [17]. Sediment anahtar eğrisi geliştirmek için yaklaşık yirmi iki yöntem kullanılmış olmasına rağmen en yaygın olanı sediment konsantrasyonu/akım debisi ilişkisi ile sediment debisi/akım debisi arasındaki güç

fonksiyonudur [18,19,20,21,22,18,23]. Özellikle doğrusal veya ikinci dereceden polinom sediment anahtar eğrileri yıllık ve daha uzun süreli sediment akımlarında çok iyi sonuçlar vermektedir [24].

Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzasında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonunun akım ve sediment ölçümlerinden yararlanılarak havza özelinde en uygun sediment anahtar eğrisi fonksiyonunun oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, her istasyona ait veri setleri için üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanarak sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Belirleyicilik katsayısından yararlanılarak tüm eşitliklerdeki sediment/akım uyumu tespit edilmiş ve havza için en uygun sediment anahtar eğrisi eşitliği belirlenmiştir.

II. CALIŞMA ALANI VE VERİLER

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin yüz ölçümü bakımından en büyük üçüncü havzası konumunda olan (38 387 km²) Yeşilirmak Havzası sınırları içinde (39°46'80.05"K-41°37'26.86"K enlemleri ve 34°48'88.31"D-39°80'62.13"D boylamları) bulunan yedi adet akım gözlem istasyonundan yararlanılmıştır.



Şekil 1. Akım gözlem istasyonlarının havza üzerindeki konumları

Bu akım gözlem istasyonlarının dördü Yeşilirmak Nehri ana kolunda yer alırken, diğer üçü nehrin yan kollarında (Kürtün Çayı, Germuga Deresi ve Köroğlu Deresi) konumlanmaktadır. Akım gözlem istasyonlarının havza üzerindeki konumları ve genel özellikleri Şekil 1 ve Tablo 1' de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Akım gözlem istasyonlarının genel özellikleri

No	İstasyon No	İstasyon Adı	Sediment Gözlem Yılları	Veri Sayısı	Yükseltisi ve Konumu	Ortalama Sediment Yükü (ton/gün)	Ortalama Akım (m ³ /sn)
1	D14A014	Kürtün Çayı – Ahullu	2012-2016	30	140 m; (36° 11' 43" D-41° 17' 10" K) Samsun - Ankara karayolunun 11.	10,523	1,548

					km'sindeki Çağlayan mevkindedir.		
2	D14A162	Yeşilirmak Nehri – Kozlu	2013-2016	22	1027 m; (37° 33' 04" D-40° 15' 14" K) Sivas İli; Doğanşar İlçesi, Kozlu Köyü'ndeki köprüdedir.	112,334	8,634
3	D14A174	Yeşilirmak Nehri – Yeşildere	2014-2016	23	512 m; (36° 04' 19 D- 40° 27' 24" K) Turhal-Amasya karayolunun 7. km'sinden sola ayrılan köy yolunun 4. km'sinde Yeşildere Köprüsü'ndedir.	147,387	16,677
4	D14A191	Germuga Deresi – Akkoca	2015-2016	14	266 m; (x:36.808056 y:40.627222) Tokat- VII. Bölge Müdürlüğü Samsun, 14. Yeşilirmak Havzası	49,296	2,219
5	E14A002	Yeşilirmak Nehri – Kale	2011-2016	60	190 m; (36° 30' 45" D-40° 46' 18" K) Tokat İli, Erbaa İlçesi'ne 16 km uzaklıktaki Kale Köyü'ne 500m mesafededir.	1655,896	107,196
6	E14A018	Yeşilirmak Nehri – Gömeleönü	1972-2016	511	820 m; (37° 07' 43" D-40° 18' 42" K) Tokat ili, Almus İlçesi'nden 35 km mesafede Gömeleönü Köyü'nün yanındadır.	1830,24	19,802
7	E14A030	- Köroğlu Deresi – Köroğlu	2015-2016	12	1475 m; (38° 42' 28" D-39° 57' 20" K) Erzincan-Sivas karayolunun84 km'sinde Erzincan İli, Refahiye İlçesi'ne bağlı Altköy içindeki köprüdedir.	66,447	3,716

Sediment anahtar eğrilerinin oluşturulabilmesi için gerekli olan nehrin akım ve sediment debileri Tablo 1'de yer alan akım gözlem istasyonlarından elde edilmiştir. Bu akım gözlem istasyonlarına ait tüm veriler ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Plan ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Rasat Şube Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Elde edilen veri setlerindeki veri sayıları 12 ile 511 arasında değişiklik gösterirken, gözlem süreleri arasında da 2 ile 44 yıl gibi bir periyot farkı söz konusudur. Akım gözlem istasyonları arası veri sayıları ve periyotları arasında gözle görülür bir fark mevcuttur. Bazı akım gözlem istasyonları ise yıllık bazda 12-14 veri ile sınırlı kalmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında elde edilecek sediment anahtar eğrileri için yetersiz görülebilir. Ancak sediment debisinde meydana gelen artışın genel olarak akım debisindeki artışa bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle farklı istasyonlardan alınan farklı periyotlara ait farklı sayıdaki verilerin kullanılması havza geneli için sediment anahtar eğrisi oluşturulmasında bize yarar sağlayacağından mevcut tüm istasyonların ölçüm verilerinden yararlanılmıştır.

Gözlem istasyonunda yapılan ölçümlere dair ortalama sediment dane dağılımı, sediment hacim ağırlığı Tablo 2' de verilmiştir. Tablo 2'de, sediment dane dağılımı kil, silt (askıda sediment miktarı) ve kum (sürüntü sediment miktarı) olarak gösterilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, askı ve sürüntü sediment miktarının yüzde olarak genelde birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmektedir. Bu veriler, havzada hem kıyı erozyonuna hem de taban aşınmasına bağlı sediment taşınımının olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Ölçülen sedimentlerin karakteristik özellikleri

İstasyon no ve Adı	Ortalama Sediment Dane Dağılımı		Sediment Hacim Ağırlığı	Taşınan Sediment Konsantrasyonu
	<i>Kil + Silt (%)</i>	<i>Kum (%)</i>	<i>W₅₀ ortalama (ton/m³)</i>	<i>(ppm)</i>
D14A014 Kürtün Çayı – Ahullu	75,4	24,6	1,22	72,89
D14A162 Yeşilirmak Nehri –Kozlu	30,6	69,4	1,38	104,27
D14A174 Yeşilirmak Nehri – Yeşildere	56,5	43,5	1,29	93,87
D14A191 Germuga Deresi – Akkoca	32,8	67,2	1,37	150,54
E14A002 Yeşilirmak Nehri – Kale	41,7	58,3	1,34	165,77
E14A018 Yeşilirmak Nehri – Gömeleönü	42,5	57,5	1,34	346,21
E14A030 - Köroğlu Deresi – Köroğlu	41,4	58,6	1,34	114,53

III. METODOLOJİ

Bu çalışmada, farklı fonksiyon türlerinden yararlanılarak (üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon) sediment anahtar eğrisi eşitlikleri oluşturulmuştur. Literatür incelemesi yapıldığında genel anlamda sediment anahtar eğrisi eşitlikleri; yapılan çalışmalarda, üs ya da logaritmik fonksiyon olarak kullanılmaktadır. Sediment anahtar eğrisinin oluşturulmasında kullanılan üs ve logaritmik fonksiyonların genel gösterimleri eşitlik 1’de verilmiştir.

$$\log Q_s = \log a + b \log Q \quad \text{veya} \quad Q_s = aQ^b \quad (1)$$

Burada Q_s sediment debisini, Q nehir akım debisini temsil etmektedir. Eşitlikte yer alan a ve b ifadeleri de sabitlerdir. Asselman (2000), sediment anahtar eğrisindeki a ve b parametrelerinin belirli bir fiziksel anlam içermediğini savunmuştur. Diğer çalışmalar, sediment anahtar eğrisi eşitliğindeki a parametresini; nehir kanalındaki erozyon şiddetinin bir indeksi olarak görmektedir [25,26]. Genellikle yüksek a değerleri, kolayca aşınabilen ve taşınan malzemelerle karakterize edilen bölgelerde meydana gelmektedir. Derecelendirme parametresi b ise, nehrin aşındırıcı gücünü göstermek için kullanılmaktadır. Büyük değerlerin, artan akım ile sürüklenme ve taşımada güçlü bir artış gösteren nehirlerin göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte b , debi arttığında yeni sediment kaynaklarının ne ölçüde kullanılabilir hale geldiğini de yansıtabilir [23]. Walling'e (1974) göre, b değerleri, taşıma için mevcut olan malzemenin tane boyutu dağılımından etkilenebilir [27]. Kuzey Amerika nehirlerinde tortu derecelendirme parametrelerinin genellikle tortu derecelendirmesi, erozyon ve iklimden etkilendiğini belirtmiştir [28].

Quilbé vd. (2006), Q_s ve Q arasındaki korelasyonların araştırılması gerektiğini öne sürmüştür. Sediment anahtar eğrisinin belirleyicilik katsayısı (R^2) 0,5'ten büyükse, bunun muhtemelen en iyi tahmin edici olduğunu öne sürmüştür. Korelasyonlar yetersiz olduğunda oran yönteminin kullanılması gerektiğini önermiştir [29].

Ölçülen sediment debisinden ve sediment örneklerinin alındığı kesitte o andaki akım debisi değerlerinden yararlanılarak Tablo 3’te verilen eşitlikler yardımıyla askıda sediment miktarları (ton/gün) hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sediment miktarları ile örneklerin alındığı andaki debi değerlerinin dağılımları yapılarak, her sediment gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur.

Tablo 3. Kullanılan fonksiyon türleri ve ifadeleri

Fonksiyon Adı	Fonksiyonun ifadesi
Üs fonksiyon	$Q_s = aQ^b$

Üstel fonksiyon	$Q_s = ae^{bQ}$
Doğrusal fonksiyon	$Q_s = aQ + b$
Logaritmik fonksiyon	$Q_s = a \ln(Q) + b$
Polinomial fonksiyon	$Q_s = aQ^2 + bQ + c$

Tablo 3'deki farklı fonksiyon türleri ile oluşturulan sediment anahtar eğrilerindeki akım/sediment uyumunun kontrolü belirleyicilik katsayısı ile yapılmıştır. Belirleyicilik katsayısını gösteren ifade eşitlik 2' de verilmiştir.

$$(R^2) = \left(\frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \right)^2 \quad (2)$$

Burada x akarsu akım değerlerini sembolize ederken, y sediment miktarını ifade etmektedir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

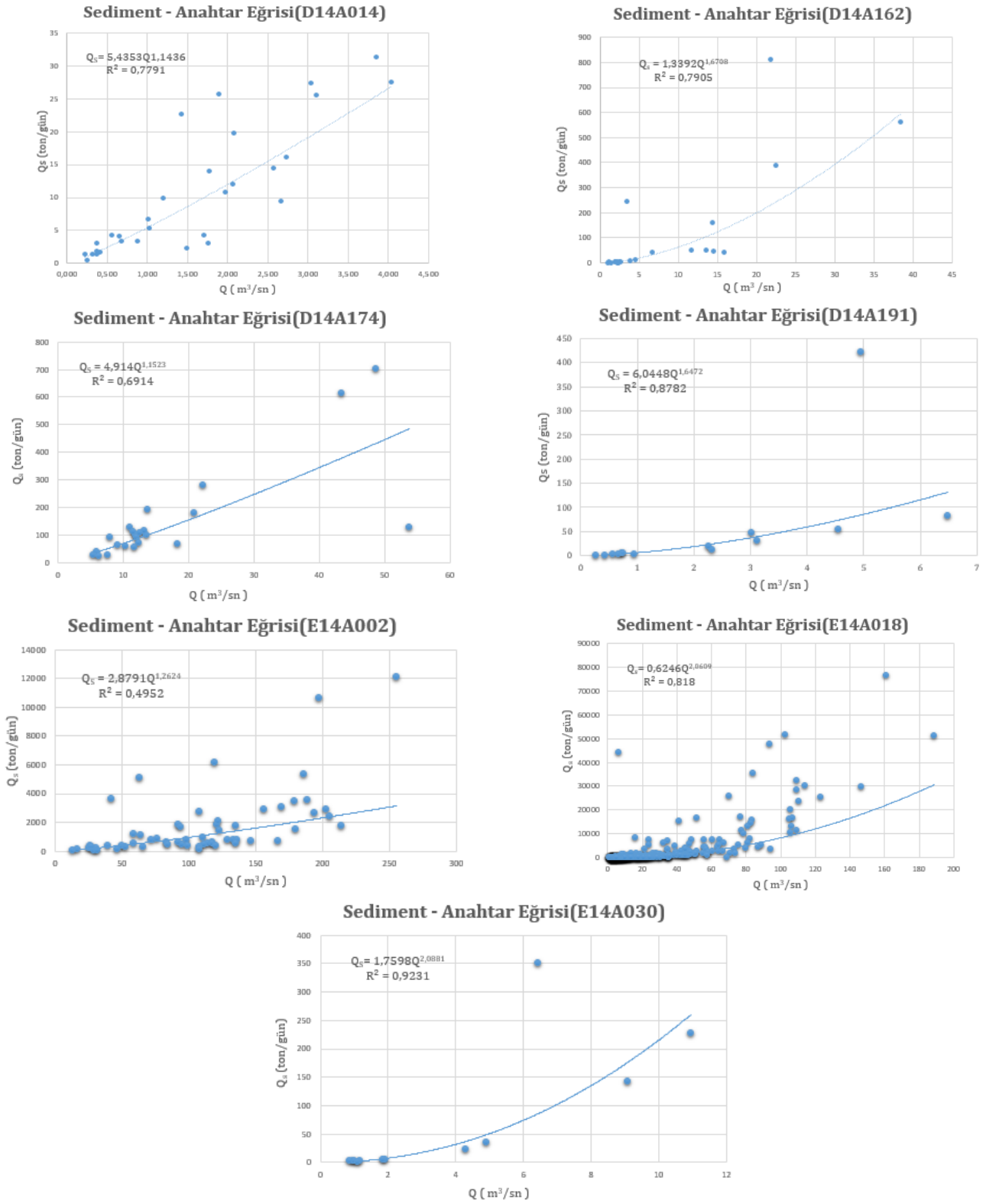
Yeşilirmak Havzası'nda yer alan yedi adet akım ve sediment gözlem istasyonlarına ait akarsu debisi ile taşınan askıda sediment miktarı arasındaki tahmin eşitliklerinin elde edilmesinde Microsoft Excel bilgisayar programından yararlanılmış ve Tablo 3'te verilen matematiksel fonksiyonlar kullanılarak, elde edilen sonuçların negatif veya tanımsız sediment miktarı değerleri vermediği eşitlikler üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanılarak geliştirilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri ile yapılan hesaplamalarda tüm veriler için belirleyicilik katsayıları 0,6326 değerinden küçük olanların sediment miktarları (Q_s) negatif gelmiştir. Bu nedenle, sediment miktarları hesaplanırken belirleyicilik katsayısı 0,6326 değerinin altında olanlar yukarıda belirtilen fonksiyonlar için dikkate alınmamıştır.

A. ÜS FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ($Q_s = aQ^b$)

Üs fonksiyonu kullanılarak elde edilen sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 4'de ifade edilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 4. Üs fonksiyonu sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R^2)
D14A014	30	$Q_s=5,4353*Q^{1,1436}$	0,7791
D14A162	22	$Q_s=1,3392*Q^{1,6708}$	0,7905
D14A174	23	$Q_s=4,914*Q^{1,1523}$	0,6914
D14A191	14	$Q_s=6,0448*Q^{1,6472}$	0,8782
E14A002	60	$Q_s=2,8791*Q^{1,2624}$	0,4952
E14A018	511	$Q_s=0,6246*Q^{2,0609}$	0,8180
E14A030	12	$Q_s=1,7598*Q^{2,0881}$	0,9231



Şekil 2. Üs fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

Tablo 4'den de görüldüğü gibi üs fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4952 ile 0,9232 arasında değişmektedir. Bu değerler, üs fonksiyonun E14A002 akım gözlem istasyonu hariç, tüm akım gözlem istasyonlarında ve bu akım gözlem istasyonunun bulunduğu akarsu kolunun üzerinde bulunan diğer bölgelerde de askıda sediment yükünü belirlemede kullanılabileceğini göstermektedir.

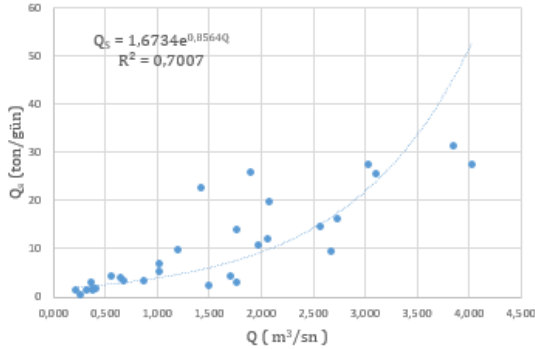
B. ÜSTEL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ($Q_s = ae^{bQ}$)

Üstel fonksiyonu kullanılarak elde edilen sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 5’de ifade edilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 3’de verilmiştir.

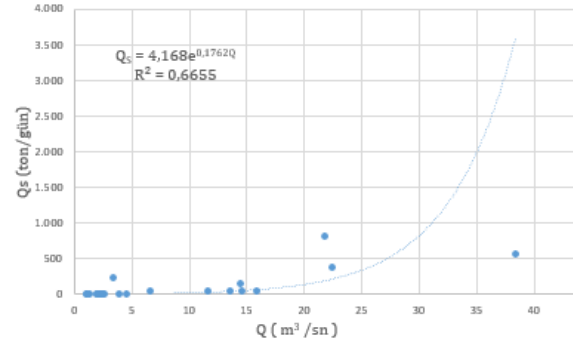
Tablo 5. Üstel fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R^2)
D14A014	30	$Q_s = 1,6734 * e^{0,8564 * Q}$	0,7007
D14A162	22	$Q_s = 4,168 * e^{0,1762 * Q}$	0,6655
D14A174	23	$Q_s = 44,847 * e^{0,0469 * Q}$	0,5344
D14A191	14	$Q_s = 1,7815 * e^{0,8211 * Q}$	0,8203
E14A002	60	$Q_s = 168,25 * e^{0,0149 * Q}$	0,4987
E14A018	511	$Q_s = 16,629 * e^{0,0786 * Q}$	0,6858
E14A030	12	$Q_s = 1,5443 * e^{0,5462 * Q}$	0,8677

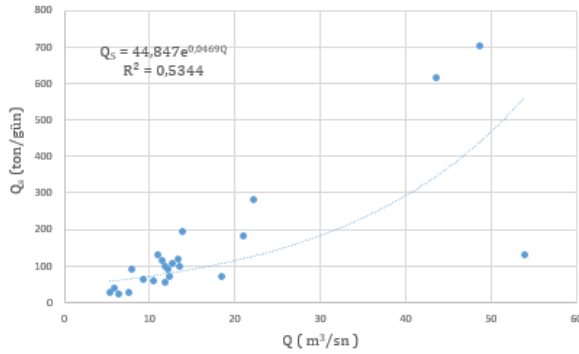
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A014)



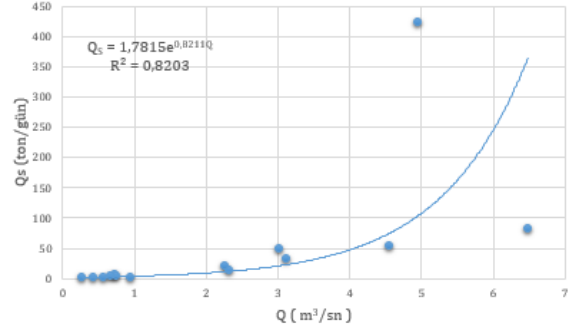
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A162)



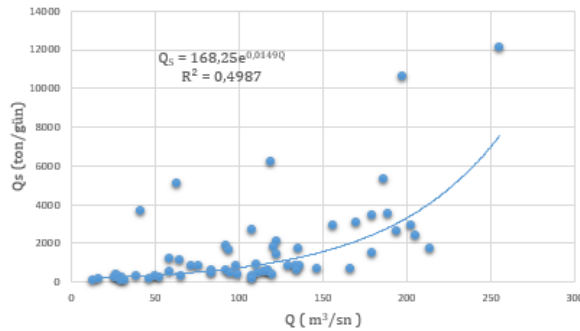
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A174)



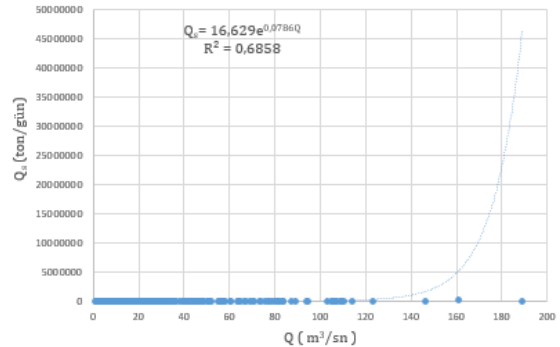
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A191)

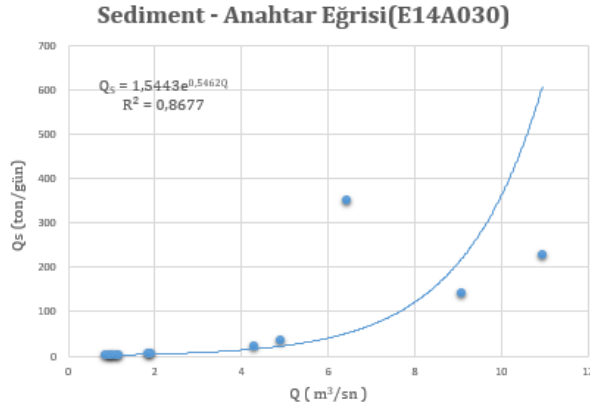


Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A002)



Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A018)





Şekil 3. Üstel fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

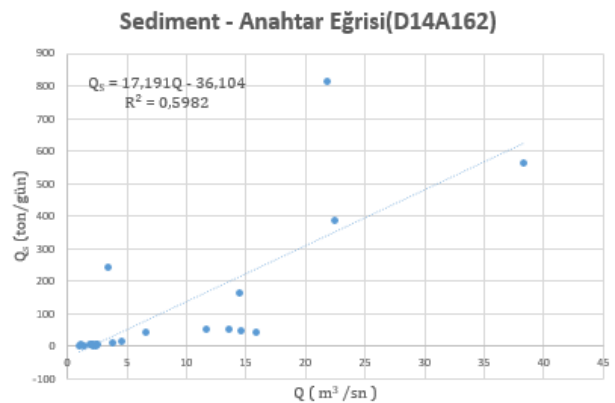
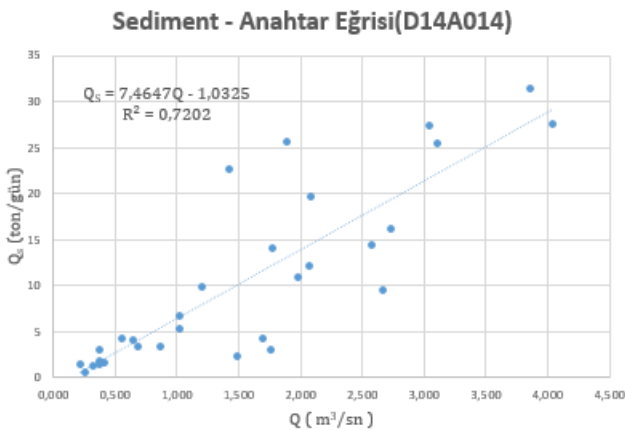
Üstel fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,4987 ile 0,8677 arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerler göz önüne alındığında üs fonksiyon ile elde edilen sediment anahtar eğrilerinde olduğu gibi E14A002 nolu akım gözlem istasyonu hariç olmak üzere, üstel fonksiyonun tüm akım gözlem istasyonlarında ve bu akım gözlem istasyonunun bulunduğu akarsu kolunun üzerinde bulunan diğer bölgelerde de askıda sediment yükünü belirlemede kullanılabileceğini görülmektedir.

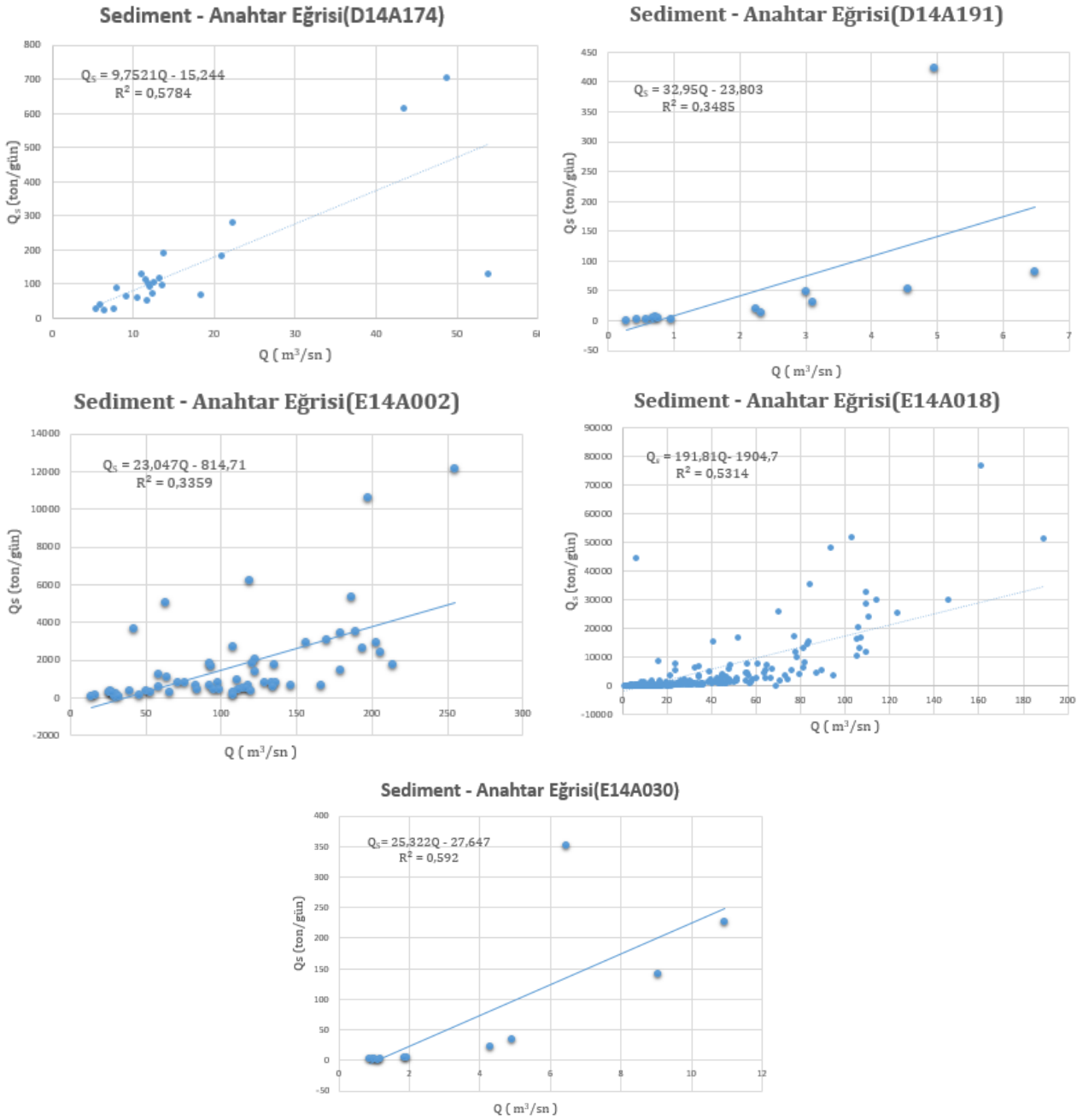
C. DOĞRUSAL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ($Q_s = aQ + b$)

Doğrusal fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 6'da verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 4'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Doğrusal fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R^2)
D14A014	30	$Q_s = 7,4647 * Q - 1,0325$	0,7202
D14A162	22	$Q_s = 17,191 * Q - 36,104$	0,5982
D14A174	23	$Q_s = 9,7521 * Q - 15,244$	0,5784
D14A191	14	$Q_s = 32,950 * Q - 23,803$	0,3485
E14A002	60	$Q_s = 23,047 * Q - 814,71$	0,3359
E14A018	511	$Q_s = 191,81 * Q - 1904,7$	0,5314
E14A030	12	$Q_s = 25,322 * Q - 27,647$	0,5920





Şekil 4. Doğrusal fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

Doğrusal fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3359 ile 0,7202 arasında değişmektedir. Tablo 6'daki belirleyicilik katsayısı değerleri incelendiğinde, doğrusal fonksiyon ile oluşturulan sediment anahtar eğrilerinin D14A014, D14A162, D14A174, E14A018 ve E14A030 akım gözlem istasyonları için güvenilir olduğu, diğer hiçbir istasyon için kullanılamayacağı görülmektedir.

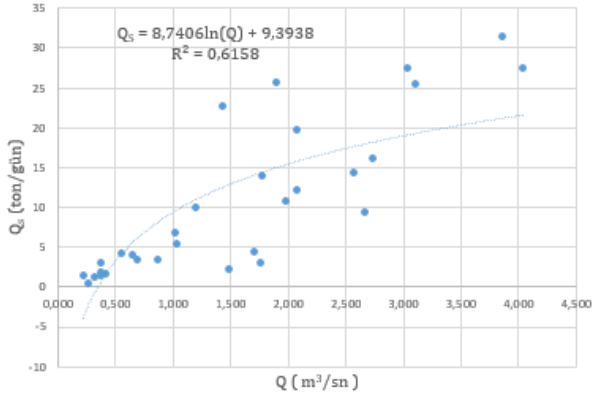
D. LOGARİTMİK FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ($Q_s = a \ln(Q) + b$)

Logaritmik fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 7'de verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 5'de gösterilmiştir.

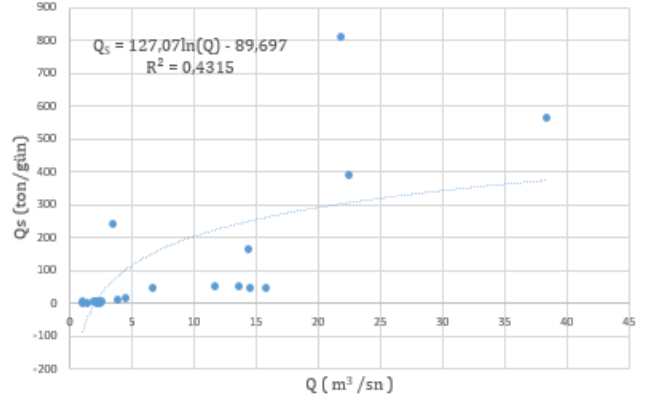
Tablo 7. Logaritmik fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R ²)
D14A014	30	$Q_s = 8,7406 \ln(Q) + 9,3998$	0,6158
D14A162	22	$Q_s = 127,07 \ln(Q) - 89,697$	0,4315
D14A174	23	$Q_s = 209,14 \ln(Q) - 396,01$	0,5712
D14A191	14	$Q_s = 56,838 \ln(Q) + 28,595$	0,2759
E14A002	60	$Q_s = 1554,3 \ln(Q) - 5322,3$	0,2120
E14A018	511	$Q_s = 3062,5 \ln(Q) - 5286,1$	0,2349
E14A030	12	$Q_s = 90,976 \ln(Q) - 16,293$	0,5563

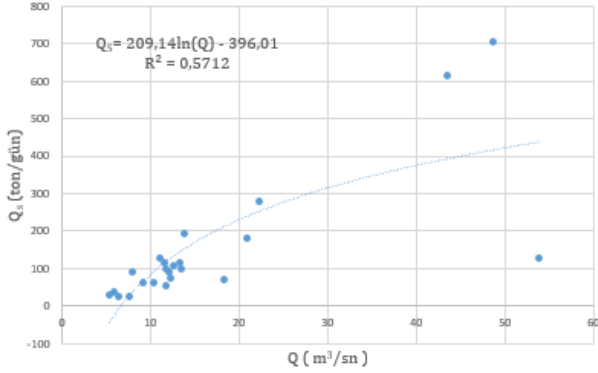
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A014)



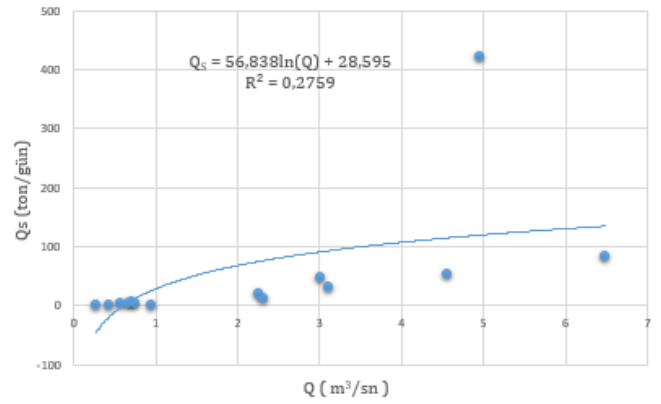
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A162)



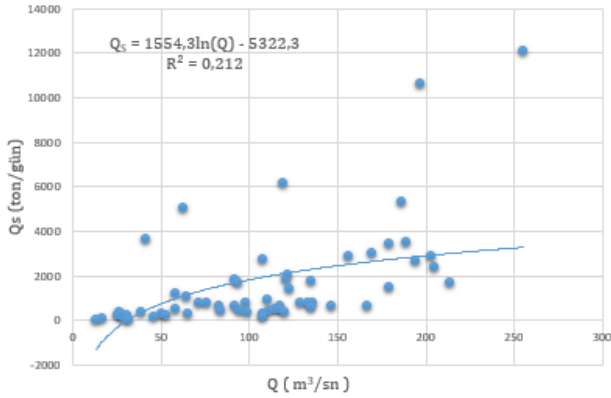
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A174)



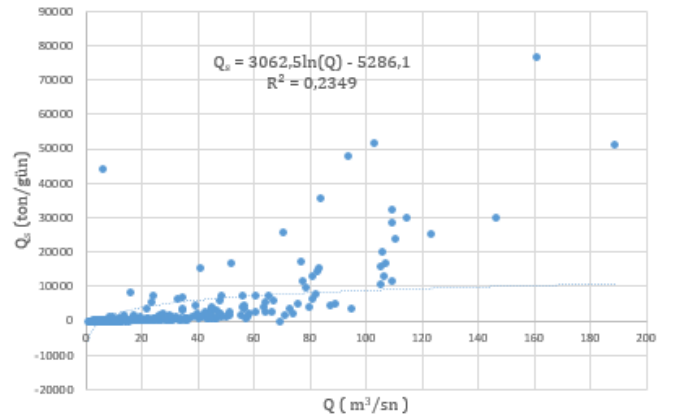
Sediment - Anahtar Eğrisi(D14A191)

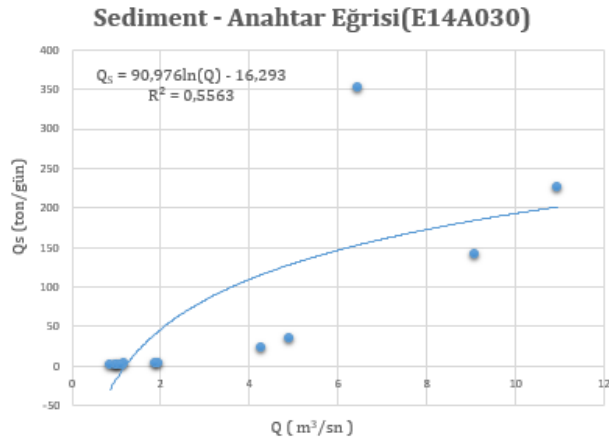


Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A002)



Sediment - Anahtar Eğrisi(E14A018)





Şekil 5. Logaritmik fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

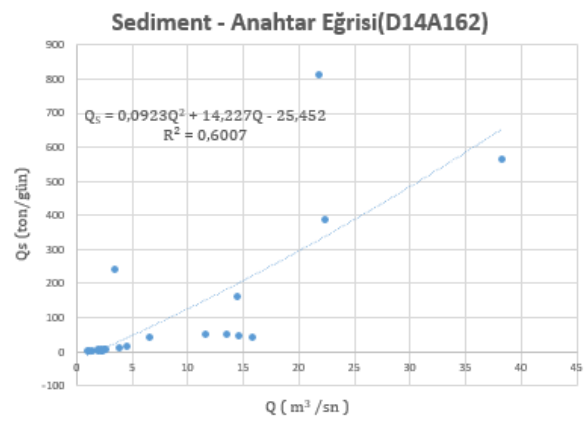
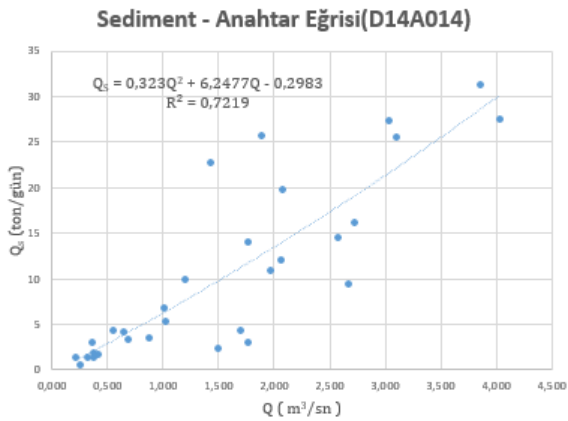
Logaritmik fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,6158 ile 0,2120 arasında değişmektedir. Belirleyicilik katsayısı değerlerine bakıldığında logaritmik fonksiyon ile türetilen sediment tahmin eşitliklerinin sadece D14A014, D14A174 ve E14A030 istasyonları için kullanılabilir olduğu, diğer istasyonlar için belirleyicilik katsayısı değerlerinin çok düşük sonuçlar verdiği ve bu nedenle logaritmik fonksiyon ile elde edilen sediment anahtar eğrilerinin bu istasyonlar için kullanımının mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

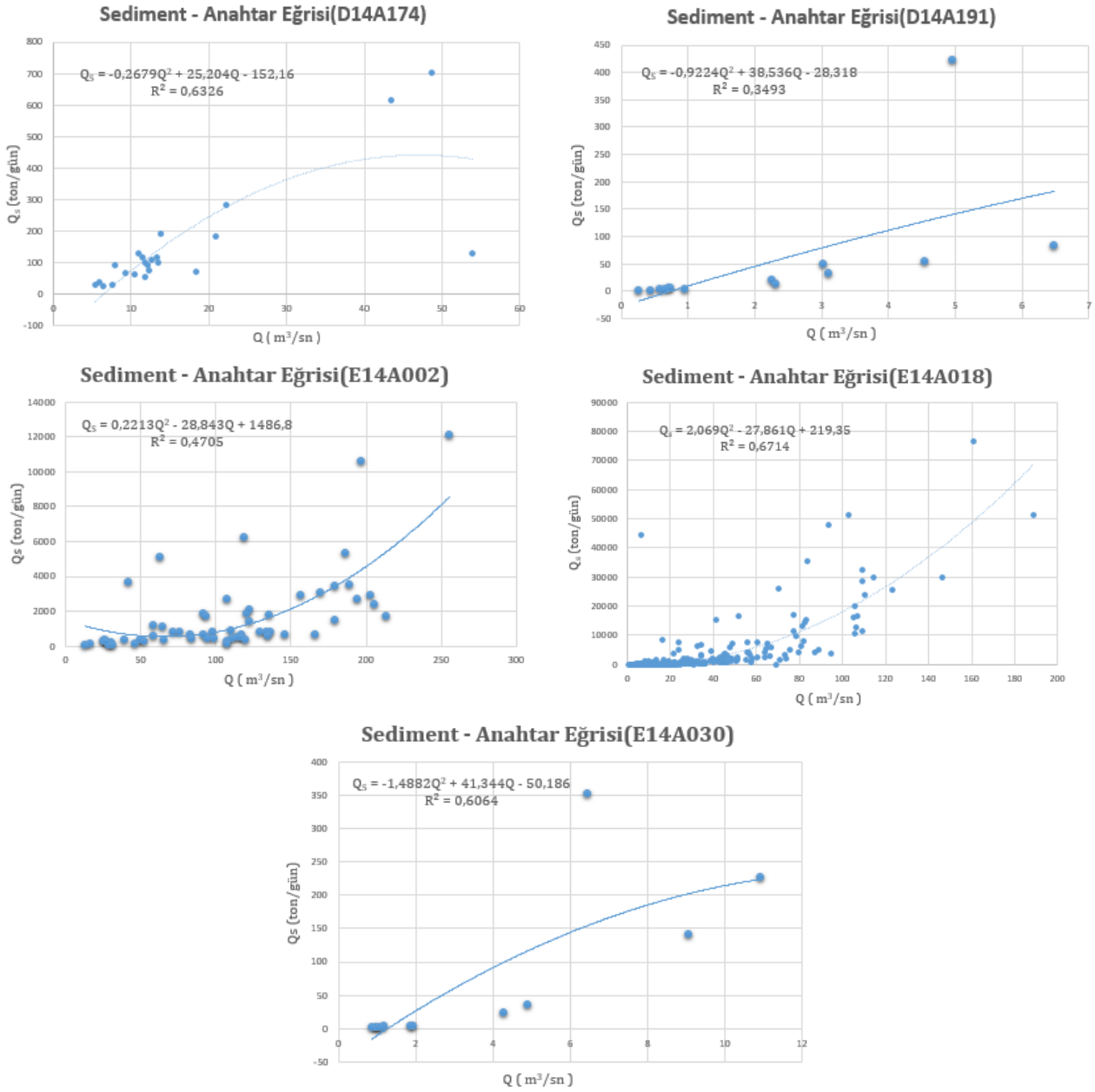
E. POLİNOMİAL FONKSİYON SEDİMENT MİKTARI TAHMİN EŞİTLİKLERİ ($Q_s = aQ^2 + bQ + c$)

Polinomial fonksiyonu kullanılarak elde edilen askıda sediment miktarı tahmin eşitlikleri Tablo 8'de verilmiştir. Eşitliklerin tüm akım gözlem istasyonları için oluşturdukları sediment anahtar eğrileri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Polinomial fonksiyon sediment miktarı tahmin eşitlikleri

İstasyon No	Veri Sayısı	Elde Edilen Eşitlik	Belirleyicilik Katsayısı (R^2)
D14A014	30	$Q_s = 0,323*Q^2 + 6,2477*Q - 0,2983$	0,7219
D14A162	22	$Q_s = 0,0923*Q^2 + 14,227*Q - 25,452$	0,6007
D14A174	23	$Q_s = (-0,2679)*Q^2 + 25,204*Q - 152,16$	0,6326
D14A191	14	$Q_s = (-0,9224)*Q^2 + 38,536*Q - 28,318$	0,3493
E14A002	60	$Q_s = 0,2213*Q^2 - 28,843*Q + 1486,8$	0,4705
E14A018	511	$Q_s = 2,069*Q^2 - 27,861*Q + 219,35$	0,6714
E14A030	12	$Q_s = (-1,4882)*Q^2 + 41,344*Q - 50,186$	0,6064





Şekil 6. Polinomial fonksiyon kullanılarak oluşturulan sediment anahtar eğrileri

İkinci dereceden polinomial fonksiyon sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin belirleyicilik katsayıları 0,3493 ile 0,6714 arasında değişmektedir. Belirleyicilik katsayıları incelendiğinde fonksiyondan elde edilen sediment anahtar eğrilerinin D14A191 ve E14A002 akım gözlem istasyonları dışında diğer akım gözlem istasyonlarının bulunduğu akarsular için kullanılmaya elverişli olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu veriler ışığında genel bir değerlendirme yapılacak olursa; Yeşilirmak Havzası sınırları içerisinde yer alan yedi adet akım gözlem istasyonu ile birlikte, bu gözlem istasyonları için beş farklı fonksiyon türü kullanılarak elde edilen sediment anahtar eğrisi eşitliklerinin en işlevsel olanları her bir istasyon için Tablo 9’da özetlenmiştir.

Tablo 9. Akım gözlem istasyonları ve istasyonlara ait sediment anahtar eğrisi eşitlikleri

Akım Gözlem İstasyonu	Fonksiyon Türü	Fonksiyonun İfadesi	Belirleyicilik Katsayısı (R ²)
D14A014	Üs Fonksiyon	$Q_s = 5,4353 * Q^{1,1436}$	0,7791

D14A162	Üs Fonksiyon	$Q_s=1,3392*Q^{1,6708}$	0,7905
D14A174	Üs Fonksiyon	$Q_s=4,914*Q^{1,1523}$	0,6914
D14A191	Üs Fonksiyon	$Q_s=6,0448*Q^{1,6472}$	0,8782
E14A002	Üstel Fonksiyon	$Q_s=168,25*e^{0,0149*Q}$	0,4987
E14A018	Üs Fonksiyon	$Q_s=0,6246*Q^{2,0609}$	0,8180
E14A030	Üs Fonksiyon	$Q_s=1,7598*Q^{2,0881}$	0,9231

Tablo 9’da görüldüğü gibi Yeşilirmak havzasının farklı bölgelerinden seçilen yedi adet akım gözlem istasyonu için sediment anahtar eğrisi oluşturmada kullanılacak en uygun fonksiyon türü üs fonksiyondur. Sadece E14A002 istasyonu için sonuç üstel fonksiyon olarak elde edilmiştir. Ancak belirleyicilik katsayısına bakıldığında değerin 0,5 altında olduğu görülmektedir. Ayrıca üs fonksiyonuna ait belirleyicilik katsayısı değerine bakıldığında üstel fonksiyonun belirleyicilik katsayısıyla çok yakın değerler olduğu görülmektedir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, Yeşilirmak Havzasında yer alan yedi adet akım gözlem istasyonunun akım ve sediment ölçümlerinden yararlanılarak havza için en uygun sediment anahtar eğrisi eşitlik türünün oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, her istasyona ait veri setleri için üs fonksiyon, üstel fonksiyon, doğrusal fonksiyon, logaritmik fonksiyon ve polinomial fonksiyon kullanarak sediment anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Belirleyicilik katsayısından yararlanılarak tüm eşitliklerdeki sediment/akım uyumu tespit edilmiş ve havza özelinde en uygun sediment anahtar eğrisi eşitliği tespit edilmiştir.

Her akım gözlem istasyonu için beş farklı fonksiyon kullanılarak oluşturulan eşitliklerde üs fonksiyon eşitliklerin belirleyicilik katsayıları 0,4952 ile 0,9232 arasında, üstel fonksiyon eşitliklerin belirleyicilik katsayıları 0,4987 ile 0,8677 arasında, doğrusal fonksiyon eşitliklerin belirleyicilik katsayıları 0,3359 ile 0,7202 arasında, logaritmik fonksiyon eşitliklerin belirleyicilik katsayıları 0,6158 ile 0,2120 arasında ve polinomial fonksiyon eşitliklerin belirleyicilik katsayıları 0,3493 ile 0,6714 arasında değişiklik göstermiştir. Tüm belirleyicilik katsayısı değerleri göz önüne alındığında Yeşilirmak havzası özelinde üs fonksiyonun sediment anahtar eğrisi oluşturulmasındaki en uygun fonksiyon olduğu belirlenmiştir.

Sediment ölçümlerinin yetersizliği, sediment miktarına etki eden değişkenlerin çokluğu, genel bir anahtar eğrisi fonksiyonlarının oluşturulmasına ve farklı fonksiyon türlerinin birbirleri ile doğru bir şekilde kıyaslanmasına olanak tanımamaktadır. Literatürde kullanılan fonksiyonların tüm bölgelerde doğru sonuçlar verip başarılı olması mümkün değildir. Bu nedenle, havza özelinde sediment-akım fonksiyonlarının oluşturulması havzadaki sediment miktarının tespit edilmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Akarsulardaki askıda sediment ölçümünün ne kadar zahmetli ve maliyetli olduğu da göz önüne alındığında bir akarsu havzası için sediment anahtar eğrisi oluşturulmasının ve kullanımının ne kadar önemli olduğunu gözler önüne serilmektedir. Özellikle gelecekte bu havzada inşa edilecek olan su yapıların planlanması aşamasında oluşturulan sediment anahtar eğrilerinin hem zamandan hem de maliyetten büyük bir tasarruf sağlayacağı aşikârdır.

TEŞEKKÜR: Yazarlar; Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Plan ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Rasatlar Şube Müdürlüğüne vermiş oldukları destekler için teşekkür eder.

VI. KAYNAKLAR

[1] A. Ülke, S. Özkul, G. Tayfur, “Ampirik yöntemlerle Gediz nehri için askıda katı madde yükü tahmini, *İMO Teknik Dergi*,” c. 348, ss. 5387-5407, 2011.

[2] F. Öztürk, H. Apaydın, D.E. Walling, “Suspended sediment loads through flood events for streams of Sakarya River Basin,” *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 25, pp. 643-650, 2001.

- [3] G. Çeribaşı, E. Doğan, O. Sönmez, “Evaluation of Sakarya River streamflow and sediment transport with rainfall using trend analysis,” *FEB*, vol. 22, pp. 846-852, 2013.
- [4] G. Çeribaşı, E. Doğan, “Aşağı Sakarya Nehrindeki askı maddesi miktarının esnek yöntemler ile tahmini,” *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 351-358, 2016.
- [5] K. Mahmood, *Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, Mitigation*, Washington, D.C.: World Bank Technical Paper, pp. 71, 1987.
- [6] W.R. White, *Evacuation of Sediment From Reservoirs*, London: Thomas Telford, 2001, pp. 48-59.
- [7] A. Palmieri, F. Shah, , G.W. Annandale, A. Dinar, *Reservoir Conservation, Vol. I. The Rescon Approach*, Washington, D.C., World Bank, 2003, pp. 6-7.
- [8] C.T. Yang, *Sediment Transport Theory and Practice*, McGraw-Hill, USA, 1996.
- [9] G. Yılmaz, L. Aruğaslan, G. Yüceerim, “Kocadere havzasında sediment veriminin arazi ölçümlerine ve MUSLE modeline dayalı olarak tahmin edilmesi,” *Toprak Su Dergisi*, Özel Sayı, ss. 11-18, 2021.
- [10] Ö. Kişi, “River suspended sediment concentration modeling using a neural differential evolution approach,” *Journal of Hydrology*, vol. 389, pp. 227-235, 2010.
- [11] Z.A. Boukhrissa, K. Khanchoul, Y. Le Bissonnais, M. Tourki, “Prediction of sediment load by sediment rating curve and neural network (ann) in El Kebir catchment,” Algeria, *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 122, no. 5, pp. 1303–1312, 2013.
- [12] Adib, A. Tagavifar, “Evaluation and comparison different methods of preparation of sediment rating curve in telezang station of the Dez River,” *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, no. 5, pp. 717-723, 2010.
- [13] J.P.M. Syvitski, M.D. Morehead, D.B. Bahr, T. Mulder, “Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters,” *Water Resour. Res.*, vol. 36, pp. 2747–2760, 2000.
- [14] A.J. Horowitz, “An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations,” *Hydrological Processes*, vol. 17, no.17, pp. 3387-3409, 2003.
- [15] I. Saleh, K. Ayman, A. Hassan, “Suspended sediment rating curve for Tigris River upstream Al-Amarah Barrage,” *International Journal of Advanced Research*, vol. 2, no. 5, pp. 624-629, 2014.
- [16] İ. Erdeviren, *Sakarya Havzasında akarsu debisi ile sediment miktarı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [17] M.A. Ghorbani, S.H. Hosseini, M.H. Fazelifard, H. Abbasi, “Sediment load estimation by MLR, ANN, NF and sediment rating curve (SRC) in Rio Chama River,” *J. Civil Eng. Urban.*, vol. 3, no. 4, pp. 136-141, 2013.
- [18] J.M. Phillips, B.W. Webb, D.E. Walling, G.J.L. Leeks, “Estimating the suspended sediment ads of rivers in the LOIS study area using infrequent samples,” *Hydrological Processes*, vol. 13, pp. 1335–1350, 1999.

- [19] D.E. Walling, "Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin," *Water Resources Research*, vol. 13, pp. 531–538, 1977.
- [20] D.E. Walling, *Limitations of the Rating Curve Technique for Estimating Suspended Sediment loads with Particular Reference to British Rivers*, IAHS Publication, 1977.
- [21] A. De Vries, H.C. Klavers, "Riverine fluxes of pollutants: monitoring strategy first, calculation methods second," *European Journal of Water Pollution Control*, vol. 4, pp. 12–17, 1994.
- [22] G. Gergov, "Suspended sediment load of Bulgarian Rivers," *GeoJournal*, vol. 40, no. 4, pp. 387–396, 1996.
- [23] N.E.M. Asselman, "Fitting and interpretation of sediment rating curves," *Journal of Hydrology*, vol. 234, pp. 228–248, 2000.
- [24] A.J. Horowitz, K.A. Elrick, J. Smith, "Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: methodological considerations as applied to the NASQAN programme," *Hydrological Processes*, vol. 15, pp. 1107–1132, 2001.
- [25] B.E. Peters-Kümmerly, "Untersuchungen über Zusammensetzung und transport von schwebstoffen in einigen schweizer flüseen," *Geographica Helvetica*, vol. 28, pp. 137–151, 1973.
- [26] R.P.C. Morgan, *Soil Erosion and Conservation*, 2nd ed. Longman, London, 1995, pp.198.
- [27] D.E. Walling, *Suspended Sediment and Solute Yields From a Small Catchment Prior to Urbanization*. In: Gregory, K.J., Walling, D.E. (Eds.), *Fluvial Processes in Instrumented Watersheds*, Institute of British Geographers Special Publication, vol. 6, London, 1974, pp. 169–192.
- [28] G. Yang, Z. Chen, F. Yu, Z. Wang, Y. Zhao, Z. Wang, "Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China," *Geomorphology*, vol. 85, pp. 166–175, 2007.
- [29] R. Quilbé, A.N. Rousseau, M. Duchemin, A. Poulin, G. Gangbazo, J. Villeneuve, "Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: application to the beaurivage river (Québec, Canada)," *Hydrology*, vol. 326, pp. 295–310, 2006.