

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve havza sediment verimi tahmininde kullanımı

Basin sediment yield estimation using basin morphological characteristics determined by Geographic Information Systems

Ercan VAROL¹, Ahmet İRVEM²

¹Tarım ve Orman Bakanlığı Kayseri İl Müdürlüğü, Antakya-Hatay, Türkiye.

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Antakya-Hatay, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
<p>Article history: Recieved / Geliş: 07.06.2022 Accepted / Kabul: 17.08.2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Havza özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri Sediment verimi Çoklu regresyon analizi Alt grup analizi yöntemi</p> <p>Keywords: Basin characteristics Geographic Information Systems Sediment yield Multiple regression analysis Subset analysis</p> <p>✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Ahmet İRVEM airvem@mku.edu.tr</p>	<p>Akım ve sediment ölçümü yapılan 47 havzada, havzaların morfolojik özellikleri Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) ile belirlenerek, çoklu regresyon analizi ile Türkiye'nin farklı yağış rejimi bölgeleri için sediment verimi tahmin modelleri geliştirilmiştir. ILWIS CBS yazılımı ile her havzanın maksimum rölyefi, akarsu derecesi, istasyon kotu ve havza alanı belirlenmiştir. Ölçülen değerler ve CBS ile belirlenen havza özellikleri, en iyi alt grup istatistik yöntemi kullanılarak, sediment verimi tahmininde en uygun havza parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler, çoklu regresyon analizinde kullanılarak yağış bölgeleri için ayrı ayrı sediment verimi tahmin modelleri geliştirilmiştir. Modellerin tahmin yeteneğini belirlemede ise Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Bu denklemlerin, çalışılan bölgelerdeki akım ve sediment gözlemi olmayan havzalarda, havza sediment verimi tahmini için ön fikir vermesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca, Türkiye'nin yağış rejimi benzeyen 5 bölgesinde (2, 3, 4, 5 ve 7) sediment ölçümü olmayan havzalar için sediment verimi tahmin denklemleri geliştirilebilmiştir. Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısına göre ($E > 0.90$) en iyi tahmin denklemi 4. 5. ve 7. Bölgeler için geliştirilmiştir. 1. Bölge için yeterli havza ve akım gözlem istasyonu sayısı olmadığından tahmin denklemi geliştirilememiştir. 6. Bölge için geliştirilen tahmin denkleminin Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısına göre uygun olmadığı görülmüştür. 1. ve 6. Bölgeler için akım ve sediment verimi ölçüm istasyonlarının sayısı artırılmalıdır.</p>
<p>Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz.</p> <p>© Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/pub/mkutbd</p> <p>This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.</p> 	<p>ABSTRACT</p> <p>The morphological characteristics of 47 basins for different rainfall regions of Turkey were determined using Geographic Information Systems (GIS). These features and data taken from flow and sediment monitoring stations were subjected to multiple regression analysis in order to develop basin sediment yield prediction equations for ungauged basins. Basins' morphological characteristics were determined by using ILWIS-GIS software. Areas of the basins, the maximum relief, stream orders and elevations of the stations were determined using GIS. All data were analyzed using the best-subset within the multiple regression statistical method. As a result of analysis, individual sediment yield prediction equations for each region were generated. These regions were found to be appropriate in terms of providing the predetermined information of basin sediment yield for ungauged basins. In this study, sediment yield prediction equations for ungauged basins in the 5 regions (2, 3, 4, 5, and 7) were developed. These equations can be used, in terms of providing sediment data for ungauged basins. However, the prediction equation can not be generated for 1. Region because of insufficient data and equation for region 6 was not proper in terms of Nash-Sutcliffe coefficient. So that the number of observation stations has to be increased for 1. and 6. region.</p>
<p>Cite/Atf</p>	<p>Varol, E., & İrvem, A.M. (2023). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve havza sediment verimi tahmininde kullanımı. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i>, 28 (1), 1-10. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1127305</p>

GİRİŞ

Toprak ve su kaynaklarımızın etkin bir şekilde kullanılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması her geçen gün önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının etkin kullanımı amacıyla, inşa edilecek su depolama yapılarının ve sulama tesislerinin ekonomik ömürleri boyunca hizmet edebilmelerinin sağlanması gereklidir. Bu yapı ve tesislerin uygun bir şekilde planlanması ve projelenmesi için bilinmesi gereken en önemli parametrelerden biri de, yapının üzerinde inşa edildiği akarsuyun, yapının planlanan ömrü boyunca taşıyacağı sediment miktarıdır. Barajlar gibi akarsular üzerinde kurulacak kontrol yapılarının ölü hacimlerinin projelendirilmesinde, akarsuyun taşıdığı sediment miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır (Cıgızoğlu, 2002).

Genel olarak askı maddesi miktarı akım debisiyle ilişkilidir. Araştırmacılar, bu ilişkiyi kullanarak akım verisi ile taşınan sediment miktarları arasında çeşitli ilişkiler belirlemişlerdir. Ancak, bu klasik regresyon analizi problemin doğasından kaynaklanan lineer olmayan karmaşık ilişkiler sebebiyle her zaman iyi sonuçlar vermemektedir (Jain ve ark., 2001). Bu nedenle akım dışında diğer havza parametreleride kullanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır (Lal, 1985; Bogardi ve ark., 1986; Krishnaswamy ve ark., 2001; Vente ve ark., 2011).

Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanımı, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yaygınlaşmış ve farklı kullanım alanlarına sahip olmuştur. Gelişmiş CBS yazılımları ile havzaların özelliklerini belirleme konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Molnar & Julien, 1998; Mitra ve ark., 1998; Adinarayana ve ark., 1999; Hatipoğlu, 1999; Millward & Marsey, 1999; Jain & Kothiyari, 2000; Öztürk ve ark., 2001; İrvem & Tülücü, 2004). Sediment gözlem istasyonu olmayan havzalarda, CBS ile hesaplanan havza özellikleri ile istatistiksel yöntemler kullanılarak sediment tahmin denklemleri geliştirilebilmektedir (Tasker ve ark., 1996; Pak & Lee, 2008; Zhongbao ve ark., 2011).

Bu çalışmada, Türkiye’de yağış rejimi farklı 7 bölgede bulunan, akım ve sediment ölçümü yapılan havzalarda, havza morfolojik özelliklerinin CBS kullanılarak belirlenmesine çalışılmış, belirlenen havza özellikleri çoklu regresyon analizinde kullanılarak, sediment gözlem istasyonu olmayan havzalar için sediment verimi tahmin denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Türkiye’nin yağış rejimi açısından farklı bölgelerinde bulunan, akım gözlem istasyonuna (AGİ) sahip 47 adet alt havzada yürütülmüştür. Havzalara ait detaylı bilgiler (Varol, 2012)’de bulunabilir. Farklı yağış bölgelerinde bulunan havzaların yıllık ortalama akım ve sediment verimi değerleri Elektrik İşleri Etüd İdaresinden (EİEİ, 2000), havza alanı, maksimum rölyef, akarsu derecesi ve istasyon kotu gibi morfolojik özellikleri sayısal yükseklik haritalarından CBS ile elde edilmiştir. CBS sisteminden yararlanılan bu çalışmada, topografik, mekansal ve sayısal verilerin işlenmesinde, gerekli hesaplamaların yapılmasında ILWIS 3.6, CBS Paket programı, çoklu regresyon analizi için ise Minitab yazılımı kullanılmıştır. En iyi alt gruplar, diğer bir ifadeyle, havza sediment verimi tahmininde en etkili parametreler, çoklu regresyon analizinde kullanılmış ve uygun bölgeler için tahmin denklemlerinden oluşan tahmin modelleri geliştirilmiştir. Tahmin denklemlerinden elde edilen sediment verimleri ile ölçülen sediment verimleri kıyaslanarak tahmin modelinin doğruluğu test edilmiştir.

Çoklu regresyon analizi

Çoklu regresyon analizinin amacı, göz önüne alınan birden fazla değişken arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin etkinliğini hesaplamaktır. Çoklu regresyon analizlerinden biriside an iyi alt grup regresyon analizidir. Bu analizde, k sayıda bağımsız değişken ile tüm olası regresyon modelleri ele alınarak bunların içinde en iyi denklemin seçimi yapılır. Değişken sayısı k ise denklem sayısı 2^k olur. Bu çalışmada, en iyi alt

grup regresyon analizinde, en iyi denklemin belirlenmesi aşamasında üç kriter dikkate alınmıştır. Bunlar; maksimum belirlilik katsayısı (R^2), maksimum düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R_a^2) ve Mallows C_p istatistiğidir. Bu kriterlerden, belirlilik katsayısı (R^2) Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad \text{Eq.(1)}$$

Burada; SSR açıklanan değişmeyi, SSE açıklanamayan değişmeyi, SST ise toplam değişmeyi göstermektedir. Belirlilik katsayısı, bağımlı değişkendeki değişmeleri, modelde yer alan bağımsız değişkenler tarafından açıkladığından, modele ilave edilecek her bir yeni bağımsız değişken, belirlilik katsayısının değerini yükseltecektir, model seçiminde R^2 istatistiği kullanıldığında,

$$E(y) = \beta_0 \text{ (Ortalama değişkeni içeren model) Eq.(2)}$$

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_i \text{ (Bir değişkeni içeren model) Eq.(3)}$$

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_j \text{ (İki değişkeni içeren model) Eq.(4)}$$

$$E(y) = \beta_0 + \dots + \beta_k x_k \text{ (k değişken içeren model) Eq.(5)}$$

Eşitlik 2-5'de verildiği gibi 2k sayıdaki denklemin çözümü yapılmakta ve her bir denklem için R^2 katsayısı hesaplanmaktadır. Hesaplanan katsayılar, her bir grup içinde büyükten küçüğe sıralanarak grup içindeki en yüksek belirlilik katsayısı değerleri ve bu değerler içinde en yüksek R^2 değerine sahip olan model belirlenmektedir (Draper & Smith, 1981).

R^2 belirlilik katsayısı çoklu modellerde genellikle yeterli değildir. Çünkü çoklu regresyon modelleri için denkleme yeni değişken ilave edilmesi durumunda R^2 değeri genellikle artmaktadır. Denklem yeni değişkenler eklendikçe SSR (Açıklanan değişim) azalma yönünde değişir, asla artmaz. Dolayısıyla, eklenen değişkenin katkısını ölçmede R^2 her zaman iyi bir kriter olmayabilir. Bu yüzden anlamlı bir test yapabilmek için çoklu modellerde düzeltilmiş R^2 hesaplanmalıdır. Tekli regresyon modellerinde olduğu gibi belirlilik katsayısı 1'e ne kadar yakın ise mevcut olan model o kadar uygundur. Düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R_a^2) ise aşağıda verilen eşitlik ile belirlenmektedir,

$$R_a^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) \quad \text{Eq.(6)}$$

Burada; n: gözlem sayısı, k: modeldeki parametre sayısıdır. Modele eklenen her bir bağımsız değişken, düzeltilmiş belirlilik katsayısını küçültecektir. Bu değer, modellerin karşılaştırılmasında kullanılması yanı sıra, modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin en uygun sayısını belirlemek için de kullanılmaktadır.

Model seçiminde diğer bir alternatif istatistik ise C. L. Mallows tarafından ortaya atılan C_p istatistiğidir ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_p = \frac{RRS}{s^2} - (n - 2k) \quad \text{Eq.(7)}$$

Burada; RSS, artıkların kareleri toplamını, k modeldeki β_0 dahil olmak üzere parametrelerin sayısını, s^2 ise, σ^2 'nin sapmasız tahmincisini göstermektedir. Genel olarak C_p istatistik değerinin küçük olması beklenmektedir. Dolayısıyla, C_p değeri küçük olan model, en uygun model olarak belirlenmektedir (Draper & Smith, 1981).

Modelin uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan belirlilik katsayılarının büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermeyebilir. Çünkü modele bir değişkenin eklenmesi modele katkıda bulunsun veya bulunmasın R^2 veya R_a^2 'nin değerini artıracak ve model için tahmin parametrelerinin belirlenmesini yetersiz kılabilir.

Bu nedenle, çalışmada modellerin uygunluğunun en iyi alt grup regresyon analizi ile belirlendikten sonra, kalıntı analizi ile de kontrol edilmesi gerekmektedir (Topaloğlu, 1999).

Kalıntı analizi

Kalıntı analizi, gözlenen değer ile uydurulan değer arasındaki farkın yani kalıntıların incelenerek tahmin edilen eşitlik ile veri arasındaki uyumu veya uyumsuzluğu ortaya koyan bir analiz şeklidir (Draper & Smith, 1981). Regresyon analizinde kalıntı (e) ile ilgili olarak ortalaması sıfır, varyansı ve normal dağıldığı varsayımları yapılır. Varsayımlar doğru ise $r=0$ doğrusunun çevresinde dağılan artıkların yaklaşık olarak $r=\pm 2$, eğer logaritması alınır $r=\pm 0.3$ sınırları içerisinde olması beklenir. Eğer model gerçekten verilere uyum sağlıyorsa, kalıntıların sözü edilen tüm varsayımları açıklaması gerekir. Ayrıca kalıntıların kareleri ortalaması olarak adlandırılan MSE değeri de kalıntı analizinde önemlidir, Bu değeri hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad \text{Eq.(8)}$$

Burada; SSE: artıkların kareleri toplamını, n: gözlem sayısını, k: ise modelde yer alan bağımsız değişken sayısını göstermektedir. Kalıntıların kareleri ortalamasını kullanarak yapılacak model seçiminde, her bir denklem için bu değere bakılmış ve MSE değeri en küçük olan denklemler uygun modeller olarak belirlenmiştir.

Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı

Bölgeler için oluşturulan denklemlerin, verimlilik katsayısını belirlemede Nash-Sutcliffe modeli kullanılmıştır, Nash-Sutcliffe katsayısı Eşitlik 9 ile hesaplanmaktadır.

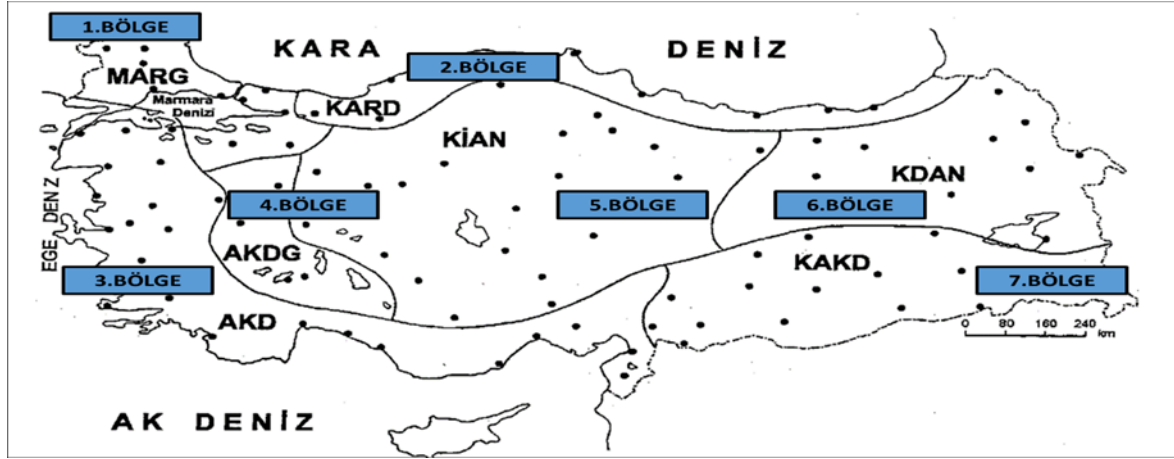
$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \quad \text{Eq.(9)}$$

Burada; E: model verimlilik oranı, Q_0^t : ölçüm değeri, Q_m^t : tahmin değeri ve \bar{Q}_0 : ölçüm değerlerinin ortalamasıdır. Nash-Sutcliffe modelinde E değeri eksi sonsuz ile 1 arasında değişebilir ve sonuç 1'e yaklaştıkça modelin verimliliği artmaktadır (Nash & Sutcliffe, 1970).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye yağış rejimi bölgeleri ve çalışma havzaları

Su erozyonunu, dolayısıyla bir havzada sediment verimine en etkili faktörlerden biri yağışlardır. Yağışın süresi, özellikle şiddeti bir havzanın sediment verimine doğrudan etkilidir. Ülkemizde yağış gözlem istasyonlarının, özellikle kayıt edici özelliğe sahip istasyonların azlığı nedeniyle, akım ölçümleri gibi yağış ölçümlerinin de yetersiz olduğu çok sayıda havza bulunmaktadır. CBS ile özellikleri belirlenebilen ve akım ölçümü yapılan uygun havzalar seçildiğinde bu havzaların büyük bölümünde yağış verisinin olmayışı nedeniyle sediment verimi tahmin denklemi için yağış faktörü dikkate alınmamış, bunun yerine, sediment verimi tahmin denklemleri aynı yağış rejimine sahip bölgeler için geliştirilmiştir. Türkeş (1996) ağırlıklı olarak mevsimsel yağış ve yer istasyonlarını kullanarak benzer yağış rejimine sahip bölgeleri belirleyerek numaralandırmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Benzer yağış rejimine sahip bölgeler (Türkeş, 1996)

Figure 1. Regions with similar precipitation regimes (Turkes, 1996)

Havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

Havza özelliklerinin CBS ile belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar, detaylı olarak Varol (2012) de bulunabilir. CBS ile yapılan çalışmalar sonucu seçilen akım gözlem istasyonuna sahip uygun havzaların özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Seçilen havzaların akım gözlem istasyonu (AGİ) numaraları ve özellikleri

Table 1. Flow observation station (AGI) numbers and characteristics of selected basins

BÖLGE	İ.NO	İSTASYON ADI	A	Q	HSV /km ²	K	D	R
2.Bölge	1243	Sakarya Nehri-Botbaşı	11.257	163.43	197	8	4	920
	1307	Devrekani Çayı-Azdavay	1.074	7.18	25	715	4	730
	1314	Soğanlı Çayı-Karabük	5.086	22.92	133	271	5	2077
	1332	Karasu-Hacılar Köprüsü	340	5.17	78	20	3	1460
	1334	Bolu Çayı-Beşdeğirmenler	779	7.01	38	541	4	1400
	1524	Gökırmak Nehri-Kuyuluş	3.934	17.23	65	475	4	2070
	2218	İyidere-Şimşirli	834	29.06	70	307	4	3360
	2228	Foldersesi-Bahadırılı	191	4.44	116	17	5	1760
	2245	Terme Çayı-Gökçeli	232	12.5	50	66	3	1215
	2251	Değirmendere-Esiroğlu	729	12.43	46	155	4	2875
3.Bölge	210	Gönen Çayı-Kumköy	1.192	17.5	22	57	6	1430
	406	Bakırçay-Eğrigöl	2.250	11.94	57	16	5	1167
	407	Karamenderes-Aslanköprü	1.450	9.74	12	35	5	1530
	601	K.Menderes Nehri -Selçuk	3.255	19.61	60	4	5	2086
	701	Çine Çayı-Kayırlı	948	9.31	28	262	5	1840
	912	Manavgat Çayı-Sinanhoca	625	68.44	128	245	4	2220
	917	Alara Çayı-Alarahan	879	27.43	95	25	4	2820
	1721	Anamur Çayı-Alaköprü	313	22.53	83	37	4	2160
	1723	Ermenek Çayı-Çavuşköy	2.148	43.92	90	515	4	1820
	1801	Göksu Nehri-Himmetli	2.596	30.62	51	665	5	2230
1820	Körkün Suyu-Hacılı Köp.	1.440	14.82	97	167	3	1910	
2006	Göksun Nehri-Karaahmet	739	10.02	33	1324	4	1604	
2008	Savrun Deresi-Kadirli Köprüsü	444	8.64	99	75	3	1890	

Çizelge 1 (devamı). Seçilen havzaların akım gözlem istasyonu (AGİ) numaraları ve özellikleri

Table 1 (continued). Flow observation station (AGI) numbers and characteristics of selected basins

	523	Gediz Nehri-Acisu	3.272	9.69	72	373	5	1925	
4.Bölge	735	Banaz Çayı-Dörtdeğirmen	3.226	4.92	19	467	5	1710	
	902	Köprüçay-Beşkonak	1.942	81.9	201	116	5	2820	
	1003	Bozçay-Karaçalı Köprüsü	1.291	1.72	8	910	4	1360	
	1203	Porsuk Çayı-Beşdeğirmen	3.661	6.61	15	855	5	1076	
	1611	Çarşamba Suyu-Bozkır	271	3.76	25	1170	4	1590	
	912	Manavgat Çayı-Sinanhoca	625	68.44	128	245	4	2220	
	1108	Akarçay-Balca	789	3.36	30	1028	4	870	
5.Bölge	1233	Aladağ Çayı-Karaköy	2.003	14.88	45	505	5	1820	
	1239	Ova Çayı-Eybek	322	2.67	21	1033	3	983	
	1253	Sohu Deresi-Fındıklı	134	1.11	6	1094	3	950	
	1401	Kelkit Çayı-Fatlı	6.567	77.24	327	375	5	2290	
	1612	İbrala Suyu-Denircik	267	1.89	12	1055	3	1400	
	1622	Peçeneközü D.-Şereflikoçhisar	648	0.84	24	958	4	731	
	1712	Göksu Nehri-Bucakkışla	2.689	26.66	82	397	5	2000	
	2015	Hurman Suyu-Tanır	915	8.16	25	1180	4	1570	
	6. Bölge	1422	Kelkit Çayı-Çiçekbükü	1.714	9.07	45	1350	5	2900
		2154	Karasu-Aşağıkağdariç	2.547	20.65	32	1675	5	1470
2327		Berta Suyu-Çiftahanlar	1.216	17.48	86	570	5	2500	
2418		Kars Çayı-Şahnalar	4.443	20.02	42	1495	4	610	
2505		Bendimahi Çayı-Gönderme	1.373	8.36	18	1915	5	1574	
2251		Değirmendere-Esiroğlu	729	12.43	46	155	4	2875	
2218		İyidere-Şimşirli	834	29.06	70	307	4	3360	
2511		Güzelsu Çayı-Güzelsu	1.390	4.5	76	1941	5	3650	
7.Bölge		2115	Göksu Nehri-Malpınar	3.710	51.05	509	397	4	2570
		2141	Peri Suyu-Korudibi	3.604	79.69	913	1100	6	2127
	2164	Göynük Çayı-Çayağzı	1.946	31.14	322	998	5	1788	
	2511	Güzelsu Çayı-Güzelsu	1.390	4.5	76	1941	5	3650	
	2630	Zap Suyu-Teknisyenler	4.161	37.02	163	1425	5	2280	
	2015	Hurman Suyu-Tanır	915	8.16	25	1180	4	1570	
	2006	Göksun Nehri-Karaahmet	739	10.02	33	1324	4	1604	
	2008	Savrun Deresi-Kadirli Köprüsü	444	8.64	99	75	3	1890	

*A; Alanı (km²), Q; Akımı (m³ s⁻¹), HSV; Havza sediment verimini (Ton y⁻¹km⁻¹) K; İstasyon kotu (m), D; Akarsu derecesi ve R; Maksimum rölyeftir.

Çizelge 1’de verilen havza özelliklerine ait veriler kullanılarak kalıntı analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda sıra dışı değer bulunamamış ve tüm verilerin kullanılabileceği görülmüş ve veriler çoklu regresyon analizinde kullanılarak, en iyi alt grupların belirlenmesine çalışılmıştır. Analiz sonucunda sediment verimi tahmininde en iyi alt gruplar, en büyük R² ve R_a² ile en küçük değerleri veren C_p istatistiğine göre belirlenmiştir ve Çizelge 2’de verilmiştir. En iyi alt grup belirleme analizi sonucunda, ikinci bölge sediment verimi tahmininde kullanılacak en etkili parametrelerin, alan, istasyon kotu ve akarsu derecesi olduğu belirlenmiş olup, diğer parametrelerin tahmin sonucuna etkisinin önemsiz olduğuna karar verilmiştir. Aynı şekilde, üçüncü bölgede debi, istasyon kotu ve akarsu derecesi, 4. bölgede debi ve rölyef, 5. bölgede tüm parametreler, 6. bölgede alan, rölyef ve istasyon kotu, 7. bölgede ise istasyon kotu dışındaki tüm parametrelerin etkili olduğu görülmüştür.

En iyi alt gruplara göre yapılan regresyon analizi sonucu bölgelerin sediment verimi tahmin denklemleri elde edilmiştir (Çizelge 3). En iyi tahmin denklemi sırasıyla 7. 5. 4. 3. ve 2. bölgelerde elde edilmiştir. 6. bölge için denklemin tahmin yeteneği yetersiz görülmüştür.

Çizelge 2. Bölgeler için en iyi alt gruplar*

Table 2. The best subgroups for regions*

Bölge No	R ²	Ra ²	Mallows Cp	S	A	Q	R	K	D
2	0.94	0.91	2.6	15.63	X			X	X
3	0.92	0.89	2.7	11.37		X		X	X
4	0.96	0.95	3.9	16.24		X	X		
5	0.99	0.99	6.0	6.0	X	X	X	X	X
6	0.73	0.54	2.1	15.58	X		X	X	
7	0.99	0.99	4.5	26.76	X	X	X		X

*S=varyans, A = Alan (km²), Q = Akım (m³ s⁻¹), K = İstasyon kotu (m), D = Akarsu derecesi ve R=Maksimum rölyeftir.

Çizelge 3. Havza sediment verimi tahmin denklemleri ve verimlilik katsayıları

Table 3. Basin sediment yield estimation equations and efficiency coefficients

Bölgeler	Geliştirilen Havza Sediment Verimi (HSV) Tahmin Denklemleri*	E
1. Bölge	Akım ve sediment ölçümü olan uygun havza sayısı yeterli değildir.	---
2. Bölge	HSV = -11.6153+(0.00981·A)-(0.1062·K)+(24.1682·D)	0.87
3. Bölge	HSV = 172.791+(1.1622·Q)-(28.7165·D)-(0.028·K)	0.88
4. Bölge	HSV = -72.0142+(1.1342·Q)+(0.0606·R)	0.90
5. Bölge	HSV = 75.9+(0.089·A)-(1.87·Q)-(0.0186·R)+(0.0365·K)-(32.945·D)	0.92
6. Bölge	HSV = 3.699+(0.0117·A)+(0.023·R)-(0.0197·K)	-1.02
7. Bölge	HSV = -1686.13-(0.245·A)+12.295·Q+(0.676·R)+(178.113·D)	0.95

*S=varyans, A = Alan (km²), Q = Akım (m³ s⁻¹), K = İstasyon kotu (m), D = Akarsu derecesi ve R=Maksimum rölyeftir.

Havza sediment verimi hidrolojik çalışmalarda, özellikle su depolama yapılarının ölü hacmini hesaplamada önemli bir parametredir. Su depolama yapılarının uygun olarak planlanabilmesi, bu parametrenin doğru bir şekilde elde edilmesine bağlıdır. Bu parametreyi doğru olarak elde etmek için, su yapısının planlandığı akarsu üzerinde sediment gözlem istasyonunun kurulması ve uzun süreli sediment gözlemlerinin yapılması gerekmektedir. Ülkemizde bulunan önemli akarsular üzerinde EİEİ ve DSİ tarafından kurulan ve işletilen akım ve sediment gözlem istasyonları sayı olarak yeterli değildir. Akım ve sediment gözlem istasyonu olmayan fakat su depolama yapısının planlandığı havzalarda havza sediment verimini, havza özelliklerini kullanarak tahmin etme zorunluluğu doğmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, ülkemizde akım ve sediment ölçümü yapılmayan nispeten küçük havzalar için CBS ile havza özellikleri belirlenmiş ve bu özelliklerden yararlanılarak çoklu regresyon analizi ile havza sediment verimi tahmin denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Türkiye'nin değişik bölgelerinde, akım ve sediment gözlemi yapılan havzalar seçilerek özellikleri belirlenmiştir. Sediment verimini etkileyen yağış faktörünü elemek amacıyla aynı yağış rejimine sahip bölgelerde buluna alt havzalar sınıflandırmış ve her bölge için sediment verimi tahmin denklemi ayrı ayrı geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, seçilen 47 adet alt havzanın sınırları, alanları, su yolu uzunluğu, akarsu derecesi istasyon kotu ve maksimum rölyef özellikleri ILWIS, CBS yazılımı ile belirlenmiştir. Bu özellikler ve EİEİ tarafından yapılan sediment verimi ölçüm sonuçları Minitab istatistik yazılımında, en iyi alt grup yöntemi kullanılarak sediment verimine en etkili parametreler belirlenmiştir. En iyi alt grubun belirlenmesinde düzeltilmiş R² değeri, C_p istatistik değeri, ve kalıntı analizi sonuçları dikkate alınmıştır. Kalıntı analizi sonucunda varsayımlarla ilgili herhangi bir anormallik bulunmamıştır.

Birinci bölge sınırları içerisine düşen, akım ve sediment gözlem istasyonu olan uygun havza sayısının yetersiz kalması nedeniyle birinci bölge için sediment verimi tahmin denklemi geliştirilememiştir. Bu bölgede, alt havzalarda istasyonların yetersiz olduğu ve istasyon sayısının mutlaka artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İkinci bölge için yapılan çalışmalar sonucunda sediment verimi tahmininde kullanılacak en etkili parametrelerin, havza alanı, istasyon kotu ve akarsu derecesi olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin kullanıldığı tahmin denklemi sonuçları ile gözlenen değerler arasındaki ilişkinin ölçüsü $R^2=0.94$ ve $R_a^2=0.91$ olarak önemli derecede yüksek çıkmıştır, Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı ise $E=0,87$ olarak bulunmuştur. İkinci bölgede bulunan ve ölçümü olmayan herhangi bir alt havza için sediment veriminin, havzanın alanı, kotu ve akarsu derecesinden tahmin edilebileceği öngörülmüştür.

Üçüncü bölge için yapılan çalışma sonuçlarında sediment verimi tahmininde kullanılacak en etkili parametrelerin, akım, istasyon kotu ve akarsu derecesi olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin kullanıldığı $R_2=0.92$ ve $R_a^2=0.89$ olarak önemli derecede yüksek çıkmış, Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı ise $E=0.88$ olarak bulunmuştur. Bu bölgede bulunan ve ölçümü olmayan herhangi bir alt havza için sediment veriminin, akım, kot ve akarsu derecesinden tahmin edilebileceği görülmüştür.

Dördüncü bölgede tahmin denklemi sonuçları ile gözlenen değerler arasındaki ilişkinin derecesi $R^2=0.96$ ve $R_a^2=0.95$ gibi yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. Bu ilişkide etkili parametreler akım ve maksimum rölyef olarak belirlenmiştir. Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı ise $E=0.90$ olarak, ikinci ve üçüncü bölgede bulunan katsayılardan yüksek bir değerde bulunmuştur. Tahmin denklemi sonuçları ile gözlenen değerler arasındaki ilişkinin derecesi en yüksek beşinci bölgede bulunmuştur. Bu bölgede $R^2=0.99$ ve $R_a^2=0.99$ olarak hesaplanmıştır. Alan, maksimum rölyef, istasyon kotu ve akarsu derecesinin kullanıldığı tahmin denklemi için Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı $E=0.92$ ile diğer bölgelere göre daha yüksek oranda sediment veriminin doğru tahmin edilebileceği öngörülmüştür.

Altıncı bölgede, tahmin denklemi sonuçları ile gözlenen değerler arasındaki ilişkinin derecesi diğer bölgelere göre oldukça düşük çıkmıştır, $R^2=0.74$ ve $R_a^2=54.4$. Nash-Sutcliffe model verimlilik katsayısı ise $E=-1.02$ olarak hesaplanmıştır, oluşturulan modelin tahminde yetersiz olduğuna karar verilmiştir. Bölgede, sediment verimi tahmini için daha detaylı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Yedinci bölge için oluşturulan modelde, tahmin denklemi sonuçları ile gözlenen değerler arasındaki ilişkinin derecesi $R^2=0.99$ ve $R_a^2=0.99$ hesaplanmıştır. Verimlilik katsayısı $E=0.95$ olarak çok yüksek düzeyde çıkmıştır. Bu bölgede ölçümü yapılmamış bir havzanın sediment verimini tahmin etmede, havzanın alan, akım, maksimum rölyef, akarsu derecesinin bilinmesi ilgili havzanın yıllık ortalama sediment veriminin diğer bölgelerden daha doğru tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye yağış rejimi bölgeleri için ortaya çıkarılan havza sediment tahmin modellerinin, CBS ile hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilen havza özelliklerinden faydalanılarak, birinci ve altıncı bölgeler hariç diğer bölgelerde karar vericilere ön fikir vermesi açısından sediment ölçümü yapılmamış havzalar için kullanılabileceği düşünülmektedir. Birinci ve altıncı bölgeler için yeni akım ve sediment gözlem istasyonlarının kurularak sayılarının artırılması ve bu bölgeler için yeni sediment verimi tahmin denklemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler. Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinin bir bölümüdür.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Adinarayana, J., Rao, K.G., Krisha, N.R., Venkatachalam, P., & Suri, J.K. (1999). A rule-based soil erosion model for hilly catchment. *Catena*, 37, 309-318. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00023-5)
- Bogardi, I., Bardossy, A., Fogel, M., & Duckstein, L. (1986). Sediment yield from agricultural watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering | ASCE*, 112, 64-70. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1986\)112:1\(64\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1986)112:1(64))
- Ciğizoğlu, K.H. (2002). Suspended sediment estimation and forecasting using artificial neural networks. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 15-25.
- Draper, N., & Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis*. John Wiley and Sons Inc., New York. pp. 708.
- EİEİ (2000). Türkiye akarsularında suspanse sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları. *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü*, Yayın no: 20-17, Ankara. 617 s.
- Hatipoğlu, M.A. (1999). Hydrologic modelling of soil erosion and runoff using remote sensing and GIS. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 156 s.
- İrvem, A., & Tülücü, K. (2004). Coğrafi bilgi sistemi ile toprak kaybı ve sediment verimi tahmin modelinin (EST) oluşturulması ve Seyhan-Körkün Alt Havzasına uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13, 1-7.
- Jain, M.K., & Kothiyari, U.C. (2000). Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 45, 771-786. <https://doi.org/10.1080/02626660009492376>
- Jain, S.K., Kumar, S., & Varghese, J. (2001). Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS Technique. *Water Resource Management*, 15, 41-54. <https://10.1023/A:1012246029263>
- Krishnaswamy, J., Richter, D.D., Halpin, P.N., & Hofmockel, M.S. (2001). Spatial patterns of suspended sediment yield in a humid tropical watershed in Costa Rica. *Hydrological Processes*, 15, 2237-2257. <https://doi.org/10.1002/hyp.230>
- Lal, R. (1985). Soil erosion and sediment transport research in Tropical Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 30, 150-175. <https://doi.org/10.1080/02626668509490987>
- Millward, A.A., & Marsey, J.E. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38, 109-129. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00067-3)
- Mitra, B., Scott, H.D., Dixon, J.C., & Mckimmey, J.M. (1998). Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. *Geoderma*, 86, 183-209. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00050-0)
- Molnar, D.K., & Julien, P.Y. (1998). Estimation of upland erosion using GIS. *Computers & Geosciences*, 24, 183-192. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00100-3)
- Nash, J.E., & Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Öztürk, F.H., Apaydın, D., & Walling, E. (2001). Suspended sediment loads through flood events for streams of Sakarya Basin. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25, 643-650.
- Pak, J.H., & Lee, J.J. (2008). A statistical sediment yield prediction model incorporating the effect of fires and subsequent storm events. *Journal of the American Water Resources Association*, 44, 689-699. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00199.x>
- Tasker, G.D., Hodge, S., & Barks, C.S. (1996). Region of influence regression for estimating the 50-year flood at ungaged sites. *Water Resources Bulletin*, 32, 163-170. <https://10.1111/j.1752-1688.1996.tb03444.x>
- Topaloğlu, F. (1999). Seyhan havzası akarsularında taşkınların büyüklük ve frekanslarının tahmini için uygun bir yöntemin araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 219 s.

- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Clinical Practice*, 16, 1057-1076. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199609\)16:9<1057::AID-JOC75>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199609)16:9<1057::AID-JOC75>3.0.CO;2-D)
- Varol, E. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve havza sediment verimi tahmininde kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 82 s.
- Vente, J., Verduyn, R., Verstraeten, G., Vanmaercke, M., & Poesen, J. (2011). Factors controlling sediment yield at the catchment scale in NW Mediterranean geoecosystems. *Journal of Soils and Sediments*, 11, 690-707. <https://10.1007/s11368-011-0346-3> launch
- Zhongbao, X., Xinxiao, Y., & Lu, X.X. (2011). Factors controlling sediment yield in China's Loess Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 816-826. <https://doi.org/10.1002/esp.2109>