|  |  |
| --- | --- |
| **ARAŞTIRMA MAKALESİ** | **RESEARCH ARTICLE** |

**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

**Birinci YAZAR1[](https://orcid.org/0000000328420974), İkinci YAZAR2🖍[](https://orcid.org/0000000238381924)**

*1Tarım ve Orman Bakanlığı xxxx İl Müdürlüğü, xxxx, Türkiye.*

*2xxxx Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, xxxx Bölümü , xxx-xxxx, Türkiye.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ARTICLE INFO** | | **ÖZET** |
| ***Article history:***  Recieved / Geliş : 07.06.2022  Accepted / Kabul: 17.08.2022  ***Anahtar Kelimeler:***  Havza özellikleri  Coğrafi Bilgi Sistemleri  Sediment verimi  Çoklu regresyon analizi  Alt grup analizi yöntemi  ***Keywords***:  Basin characteristics  Geographic Information SystemsSediment yield  Multiple regression analysis  Subset analysis.  🖍Corresponding author/Sorumlu yazar:  Sorumlu YAZAR  sorumluyazar@mku.edu.tr  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.  © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkutbd>  This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License. | | Bu çalışmada, Türkiye’nin farklı yağış rejimi bölgelerinde bulunan, akım ve sediment ölçümü yapılan havzalarında, havza morfolojik özelliklerinin Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi ve belirlenen havza özelliklerinin çoklu regresyon analizinde kullanılarak, sediment gözlem istasyonu olmayan havzalar için, sediment verimi tahmin modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, Türkiye’de 7 benzer yağış bölgesinde, akım ve sediment ölçümü yapılan 47 adet havzada yürütülmüştür. ILWIS CBS yazılımı ile her havzanın maksimum rölyefi, akarsu derecesi, istasyon kotu ve havza alanı belirlenmiştir. İkinci bölge için geliştirilen tahmin denkleminin verimlilik katsayısı 0.87, üçüncü bölge için 0.88, dördüncü bölge için 0.90, beşinci bölge için 0.92 ve yedinci bölge için 0.95 olarak hesaplanmıştır. Bu denklemlerin, çalışılan bölgelerdeki akım ve sediment gözlemi olmayan havzalarda, havza sediment verimi tahmini için ön fikir vermesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Çalışmada toprakların alınabilir bor içerikleri ile sadece silt içeriği arasında negatif önemli bir ilişki belirlenmiştir. Diğer yandan, toprakların tuz içeriği ile kum ve kireç içerikleri arasında negatif, kil içerikleri arasında ise pozitif önemli ilişkiler belirlenmiştir. Ayrıca, toprakların kil içerikleri ile kum, silt ve kireç içerikleri arasında negatif ve silt içeriği ile kireç içeriği arasında ise pozitif önemli ilişkiler belirlenmiştir. |
| **ABSTRACT** |
| In this study, morphological characteristics of basins located 7 regions of Turkey 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. This study conducted in 47 basins having flow and sediment data in 7 regions having similar rainfall regime of Turkey. As a result of analysis, individual sediment yield prediction equations for each region were generated. Prediction abilities of the equations were determined by Nash-Sutcliffe coefficient. Results showed that Nash-Sutcliffe coefficient found 0.87, 0.88, 0.90, 0.92 and 0.95 for regions 2.,3.,4.,5. and 7. respectively. These regions were found to be appropriate in terms of providing for the predetermine information of basin sediment yield for ungauged basins. The numbers of suitable basins were not enough for the first region to generate the prediction equation. It was suggested that number of obsevation stations have to be increased for 1. and 6. region. In this study, the morphological features of the basins with different precipitation regimes in Turkey were determined using GIS. By using these features, the sediment yield estimation equation was created for the basins without a sediment observation station. |
| **Cite/Atıf** | Yazar, B. & Yazar, B., (202X) Coğrafi Bilgi Sistemleri ile havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve havza sediment verimi tahmininde kullanımı. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi,* *XX* (X), XXX-XXX. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1127305> | |

**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 (Cığızoğlu, 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 parametreleri kullanılarakda 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 geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Gelişmiş CBS yazılımları ile havzaların özelliklerini belirleme konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Molnar & Julien, 1998; Mitra ve ark., 1998; Adinarayana & ark., 1999; Hatipoğlu, 1999; Millward & Marsey, 1999; Jain & Kothyari, 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 denklemlerini geliştirme olanakları araştırılmıştır.

**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 MİNİTAB 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 2k olur. Bu çalışmada, en iyi alt grup regresyon analizinde, en iyi denklemin belirlenmesi aşamasında üç kriter dikkate alınmıştır. Bunlar; maksimum belirlilik katsayısı (R2), maksimum düzeltilmiş belirlilik katsayısı (Ra2) ve Mallows Cp istatistiğidir. Bu kriterlerden, belirlilik katsayısı (R2) Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

**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 R2 istatistiği kullanıldığında,

(Ortalama değişkeni içeren model) **Eq.(2)**

(Bir değişkeni içeren model) **Eq.(3)**

(İki değişkeni içeren model) **Eq.(4)**

(k değişken içeren model) **Eq.(5)**

Eşitlik 2-5’de verildiği gibi 2k sayıdaki denklemin çözümü yapılmakta ve her bir denklem için R2 katsayısı hesaplanmaktadır. Hesaplanan katsayılar, her bir grup içinde büyükten küçüğe sıralanarak grup içindeki en yüksek belirlilik katsayısı değerleri ve bu değerler içinde en yüksek R2 değerine sahip olan model belirlenmektedir (Draper & Smith, 1981).

R2 belirlilik katsayısı çoklu modellerde genellikle yeterli değildir. Çünkü çoklu regresyon modelleri için denkleme yeni değişken ilave edilmesi durumunda R2 değeri genellikle artmaktadır. Denkleme yeni değişkenler eklendikçe SSR (Açıklanan değişim) azalma yönünde değişir, asla artmaz. Dolayısıyla, eklenen değişkenin katkısını ölçmede R2 her zaman iyi bir kriter olmayabilir. Bu yüzden anlamlı bir test yapabilmek için çoklu modellerde düzeltilmiş R2 hesaplanmalıdır. Tekli regresyon modellerinde olduğu gibi belirlilik katsayısı 1’e ne kadar yakın ise mevcut olan model o kadar uygundur. Düzeltilmiş belirlilik katsayısı (Ra2) ise aşağıda verilen eşitlik ile belirlenmektedir,

**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 Cp istatistiğidir ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

**Eq.(7)**

Burada; RSS, artıkların kareleri toplamını, k modeldeki β0 dahil olmak üzere parametrelerin sayısını, s2 ise, σ2’nin sapmasız tahmincisini göstermektedir. Genel olarak Cp istatistik değerinin küçük olması beklenmektedir. Dolayısıyla, Cp 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 R2 veya Ra2’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 ve 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= , eğer logaritması alınırsa r= sınırlar 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.

**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.

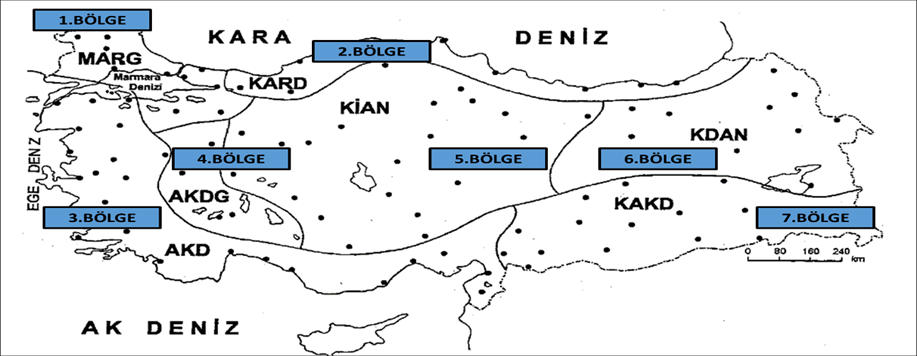
**Eq.(9)**

Burada; : model verimlilik oranı, : ölçüm değeri, : tahmin değeri ve : ölçüm değerlerinin ortalamasıdır. Nash-Sutcliffe modelinde değeri eksi sonsuz ile 1 arasında değişebilir ve sonuç 1’e yaklaştıkça modelin verimliliği artmaktadır (Nash ve 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 belirlemiş ve numaralandırılmıştır (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 /km2** | | **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-Kuyluş | | | 3.934 | | 17.23 | | 65 | | 475 | | 4 | | 2070 |
| **2218** | İyidere-Şimşirli | | | 834 | | 29.06 | | 70 | | 307 | | 4 | | 3360 |
| **2228** | Folderesi-Bahadırlı | | | 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 |
| **4.Bölge** | **523** | Gediz Nehri-Acısu | | | 3.272 | | 9.69 | | 72 | | 373 | | 5 | | 1925 |
| **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 | |
| **5.Bölge** | **1108** | | Akarçay-Balca | 789 | | 3.36 | | 30 | | 1028 | | 4 | | 870 | |
| **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-Çiftehanlar | 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 Ra2 ile en küçük değerleri veren Cp 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** | **R2** | **Ra2** | **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 = Alanı (km2), Q = Akımı (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 = Alanı (km2), Q = Akımı (m³ s-1), K = İstasyon kotu (m), D = Akarsu derecesi ve R=Maksimum rölyeftir. | | |

Sonuç olarak, 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 resgresyon 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.

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 yazılımda, en iyi alt grup yöntemi kullanılarak sediment verimine en etkili parametreler belirlenmiştir. En iyi alt grubun belirlenmesinde düzeltilmiş R2 değeri, Cp 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 R2=0.94 ve Ra2= 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 R2=0.92 ve Ra2=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 R2=0.96 ve Ra2=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 R2=0.99 ve Ra2=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, R2=0.74 ve Ra2=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.

**SONUÇ ve ÖNERİLER**

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>

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)>

Cığızoğlu, 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. 617s.

Hatipoğlu, M.A. (1999). Hydrologic modelling of soil erosion and runaff using remote sensing and GIS. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Ens., 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., & Kothyari, 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>

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>

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>

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>

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%3c1057::AID-JOC75%3e3.0.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 ABD, 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](https://10.1007/s11368-011-0346-3%20launch)

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>