

Sediment Veriminin GeoWEPP Erozyon Tahmin Modeli ile Belirlenmesi

Cengizhan YILDIRIM^{1*}, Mustafa TÜFEKÇİOĞLU²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye

²Orman Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye

*Sorumlu Yazar: cengizhanxyildirim@hotmail.com

*Sunucu: cengizhanxyildirim@hotmail.com

Sunum/Bildiri Türü: Sözlü/Tam Metin

Özet – Günümüzde Çoruh havzasında yapılan barajların kullanım ömürlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple havzaların sediment verimleri hesaplanmalıdır. Sediment verimlerinin belirlenebilmesi için topografik durum, bitki örtüsü, iklim, toprak özellikleri ve insan faktörleri hakkında bilgiye ihtiyaç vardır. Lakin bu bilgileri toplamak zamansal ve finansal olarak elde edilmesi zordur. Bu aşamada devreye giren GeoWEPP gibi CBS tabanlı erozyon tahmin modelleri kullanılması önemli derecede kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca erozyona hassas olan alanlar belirlenmektedir. Olur Mikrohavzası, Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi tarafından belirlenmiş erozyonun yoğun yaşandığı yarı kurak bir bölgedir. Mikrohavza GeoWEPP erozyon tahmin modeli kullanılarak havzada oluşan toprak kaybı ve sediment üretimi değerleri belirlenmiştir. Modelin büyük alanlarda çalışmaması sebebiyle alanımız 25 alt havzaya bölünmüş ve her alt havza için program çalıştırılmıştır. Model 20 yıllık yağış verisi kullanılarak çalıştırılmıştır. Böylece bir sene içerisinde Ayvalı Barajı'na taşınan sediment miktarı 9501 ton/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – GeoWEPP, Erozyon, Sediment Verimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Baraj Ömrü

Determination of Sediment Yield by GeoWEPP Erosion Estimation Model

Abstract – The estimation of the sediment yield for Coruh watersheds should be determined in order to calculate the lifespan of the dams that are being already build. In order to determine sediment yield, information regarding topographic situation, vegetation, climate, soil characteristic, and human factor is needed. The use of GIS-based erosion prediction models such as GeoWEPP, which was introduced at this stage, provide significant convenience. In addition, areas sensitive to erosion are identified. Olur micro-catchment is identified by Coruh River Rehabilitation Project as a semi-arid region with an intensive erosion rate. By using the GeoWEPP erosion prediction model, soil losses and sediment production from the watershed were determined. The model has been run in 25 sub-catchment within the watershed using 20-year climate data. As result, 9501 ton/yr sediment load into Ayvalı dam has been determined.

Keywords: GeoWEPP, WEPP, Erosion, Sediment Yield, Geographic Information Systems, Dam Life

I. GİRİŞ

Toprak kaybı ve bununla ilgili etkiler, çevre için kritik tehditler oluşturabilir [1,2,3]. Toprak kaybını etkin bir şekilde yönetmek için toprak kaybı işlemlerini anlamak önemlidir. GIS tabanlı mekansal modelleme, toprak erozyonu çalışmalarında ve sonuç olarak uygun toprak koruma stratejilerinin geliştirilmesinde, özellikle havza ölçeğinde önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır [4,5].

Mekansal olarak dağıtılmış bir model olan Water Erosion Prediction Project (WEPP), akış gücü, ıslaklık indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi ve erozyon tehlikesi indeksi gibi arazi indekslerinin üç boyutlu olarak yakalanmasını sağlar. WEPP modeli, havza ölçeğinde toprak erozyonu ve sedimantasyonun öngörülmesinde kullanılır. WEPP'nin bir Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ile entegrasyonu tercih edilmektedir. Çünkü modelin uygulanmasını kolaylaştırır ve geliştirir. WEPP programı GeoWEPP'in coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilmeden önceki ismidir [6]. GeoWEPP, ArcGIS'te eklentisi bulunan bir coğrafi

erozyon tahmini modeli haline getirilmiştir. WEPP'nin kısıtlamaları, yani girdi verilerinin elle üretilmesi ve küçük su havzalarındaki uygulamaları GeoWEPP tarafından aşılabilmektedir. GeoWEPP modelinde birkaç veri girişi vardır; iklim, toprak, topoğrafya ve arazi yönetimi verileri. Bu parametreler erozyon oluşumunu ve sedimantasyon işlemlerini analiz etmek için hassas parametrelerdir [7].

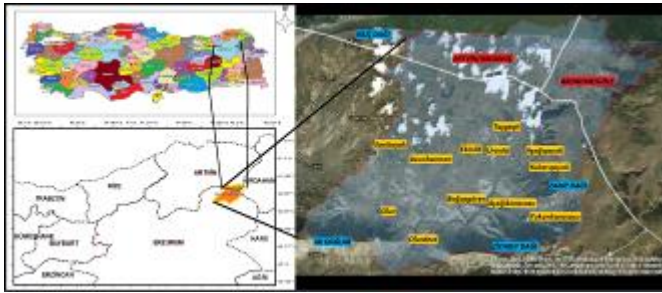
GeoWEPP erozyon tahmin programı ile zamansal ve maddi olarak avantaj sağlanmaktadır. Zira erozyon miktarını tespit edebilmek için arazi kullanımı, toprak özellikleri, iklim, topografik durum ve insan faktörlerinin detaylıca bilinmesi gerekmektedir. Model havza alanını mikro boyutlarda, topografik özellikleri ve kullanılan tarımsal alanları detaylarıyla beraber temsil edebilmektedir [8]. Modelin sonuçları mekansal erozyon riskinin yüksek olduğu alanları harita şeklinde dağılımını sağlamaktadır.

Bu çalışma, GeoWEPP erozyon tahmin programı kullanılarak Olur Mikrohavzası'nda oluşan toprak kaybı ve

sediment verimi miktarını araştırmak amacıyla yapıldı. GeoWEPP modeliyle erozyon hesaplamaları her yamaç için detaylı değerlere sahiptir [6]. Derenin üzerindeki yamaçlarda oluşan erozyon, bir su havzası analiz birimidir. Bu alt havza ve yamaçlarda ki erozyon tahmini, koruma önceliği gereken alanlarının tespitinde ön bilgiyi bize vermektedir. Erozyonun yüksek olduğu ve toplum için yüksek ekonomik değere sahip alanların varlığı, öncelikli koruma alanlarının belirlenmesinde önemli olan referanslardır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

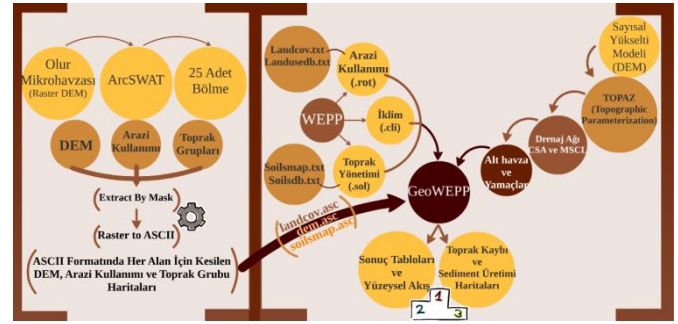
Çalışma alanı: Araştırma alanımızı oluşturan Erzurum Olur mikrohavzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğu sınırları içerisinde yer almakta olup 37517 ha'lık bir yüzölçümüne sahiptir. Alanımız 40.78° ile 40.98° kuzey enlemleri, 42.05° ile 42.40° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Siyasi olarak Erzurum, Artvin ve Ardahan illeri sınırlarına dâhildir. Kuzeyinde Ardanuç, doğusunda Göle, güneydoğusunda Şenkaya, güneyinde Oltu, batısında Yusufeli ile çevrilidir (Şekil 9). Havzanın uzunluğu 27 km, genişliği ise 20 km kadardır. Ortalama eğimi %28 olup ortalama yükseltisi 1996m'dir. Sahanın hidrolojisi; batıdan doğuya doğru gelen Olur Çayı'na bağlanan kuzeydoğudan güneye doğru gelen Alabalık Deresi ve bunlara bağlanan kollardan oluşmaktadır (Şekil 1) [9].



Şekil 1 Çalışma alanı

1990-2010 yılları meteoroloji istasyonu verilerine göre, senelerin toplam ortalama yağış miktarı 426 mm'dir. Maksimum ortalama sıcaklık 16°C olup minimum 4°C'dir. Mikrohavza yarı kurak olarak nitelendirilmektedir. Alandan alınan 35 toprak örneğinin genel ortalama değerleri %66 kum, %15 kil, %19 toz şeklindedir [10]. Genel ortalamadan anlaşılacağı üzere alanımız kumlu balçık ile kuşanmıştır. Bu sebeple toprağın emiş gücü yüksek olup yağışları infiltrate edebilmektedir. Lakin yüksek doyuma ulaşan toprağın iri taneli olması (kohezyon yapısı zayıf) sebebiyle erozyona geçme eğilimi yüksektir.

GeoWEPP Erozyon Tahmin Modeli: GeoWEPP modeli TOPAZ, GIS ve WEPP programının entegrasyonu ile çalışmaktadır. GIS'in işlevi sayesinde toprak kaybı ve sediment veriminin haritalandırılması ile sonuçlanmaktadır [6]. Modelin uygulanmasında topoğrafyayı ayıklamak tek başına zor olması sebebiyle ArcGIS ile uyumlu olabilmesi en büyük tercih nedenlerindedir (Şekil 2).



Şekil 2 GeoWEPP Çalıştırma Süreci

Ayrıca GeoWEPP'in TOPAZ (Topographic Parameterization) kullanarak sayısal yükselti modeli haritalarından çalışılan havzada bulunan alt havza veya alan sınırlarını tepe, dere ve sırta göre belirlemektedir. Belirlenen alt havzaların yamaç ve dere ağını da girilen CSA (Critical Source Area) ve MSCL (Minimum Source Channel Length) değerlerine göre tespit etmektedir [11].

GeoWEPP programının tek olumsuz yanı büyük alanlarda çalışmamasıdır. Havzamızda programı çalıştırabilmek için alanımız ArcSWAT programı ile dere, tepe ve sırtlara göre bölünmesi sonucu 25 adet ayrı alan elde edilmiştir. Modelin altlık olarak kullandığı haritalar için her bölmenin sayısal yükselti modeli (DEM), arazi kullanım ve toprak haritaları "Extract by Mask" komutu ile ArcGIS programında kesilmiştir. Program her alan için ayrı ayrı çalıştırılıp alınan tahmin sonuçları toplanarak tüm havzanın erozyon durumunu ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

İklim Dosyası: Olur ilçe merkezinde 1300 m yükseltide bulunan istasyonun 20 yıllık iklim verisi ile çalıştırılmıştır. İklim verisinin yıllık ortalama yağışı 426 mm olup maksimum ortalama sıcaklık 16°C, minimum 4°C'dir. İklim dosyası başlangıçta .par uzantılı text dosyası olarak oluşturulmaktadır. Dosyada başlıca; aylık ortalama yağış, aylık 30 dakikada düşen maksimum yağışlar, yıl içinde düşen maksimum 30 dakika ve 6 saatlik yağış değerleri, aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklık değerleri, aylık yağışlı gün sayıları, kurak günü izleyen nemli gün ve nemli günü izleyen nemli gün sayıları, günlük ortalama nem, çiğlenme noktası sıcaklık değerleri, günlük ortalama güneş radyasyonu, her yön için ortalama rüzgâr hızları ve esme yüzdeleri ve iklim istasyonu yükseltisi bulunmaktadır.

Eğim, Toprak ve Arazi Kullanım Dosyaları: Eğim (slope) dosyası 1/25.000 ölçeğinde memleket haritaları üzerinde eşyükselti eğrileriyle elde edilmiştir. Eşyükselti eğrilerinden sayısal yükselti modeli oluşturulmuş ve modele girişi sağlanmıştır. Alanın %19'u orman alanı, %45'i mera, %14 tarım alanı ve %22'si diğer arazi kullanımları şeklinde gruplandırılmıştır.

Arazi kullanım (land cover) dosyası (.rot) her arazi kullanım şekli için ayrı dosya olarak hazırlanmıştır. Alanımızda kentsel yapı, ekilebilir arazi, otlak, karışık tarım alanı, tarımlı bitki örtüsü, geniş yapraklı orman, iğne yapraklı orman, doğal otlak, karışık orman, geçici orman, çıplak kayalık, seyrek bitkili alanlar ve sulak alan olmak üzere 13 farklı arazi kullanım şekli bulunmaktadır. WEPP programının

veri tabanında bulunan USDA kaynaklı arazi kullanım şekli verilerinden faydalanılmıştır.

Alanımızda kestanerengi topraklar (%32), kahverengi orman toprakları (%15), kolüvyal topraklar (%2), bazaltik topraklar (%24), yüksek dağ çayır toprakları (%23) ve çıplak kayalıklar (%4) olmak üzere 6 farklı büyük toprak grubu bulunmaktadır. Olur'da Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında, 19'u mera 27'si bozuk ormandan olmak üzere toplam 46 toprak örneği alınmıştır [10]. 46 toprak örneğinden 35 tanesi alanımız sınırları içerisine düşmektedir. Bu örneklerin laboratuvar analizi sonucu toprak tekstürleri belirlenmiştir. Sınıflama sonucu 9 toprak örneği bazaltik topraklar, 8 toprak örneği kahverengi orman toprakları, 12 toprak örneği kestanerengi topraklar, 5 toprak örneği kolüvyal topraklar, 1 toprak örneği ise yüksek dağ çayır toprakları içerisine düşmüştür. Sınıflara düşen topraklar kendi içlerinde ortalama değerleri alınarak her büyük toprak grubu için tek değer oluşturulmuştur. Değerler arasında toprağın 0-150 mm ve 150-300 mm derinliklerindeki yüzde olarak kum, kil, toz, organik madde ve taşlılık değerleri bulunmaktadır. Alandaki 35 toprak örneğinin genel ortalama değerleri %66 kum, %15 kil, %19 toz şeklindedir. Organik madde miktarı ise ortalama %3 olarak bulunmuştur. Her toprak grubu için bulunan bu değerler WEPP programına girilerek her toprak grubu için .sol formatında ayrı dosya oluşturulmuştur.

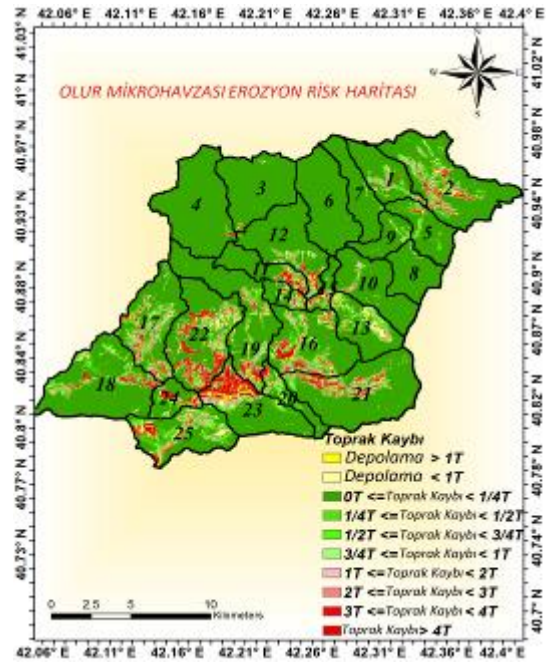
Modele hangi pikselde hangi .rot veya .sol dosyasının kullanılacağını "description" ve "database" olarak oluşturulan iki text dosyası ile tanıtlır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

20 yıllık iklim verisi simülasyonunda toplam yamaç sayısı 845, kanal sayısı 334'tür. Toplam yamaç (hillslope) kaybı 18212 ton/yıl, kanal (channel) kaybı 2492 ton/yıl, sediment verimi 9501 ton/yıl olarak bulunmuştur. Ortalama sediment iletim oranı 0.55 olup birim alan sediment verimi ise 0.3 ton/ha/yıl bulunmuştur (Şekil 3).

| Alan No(ha) | Yamaç ve Kanal Sayısı | Yamaç (Hillslope) Kaybı (ton/yıl) | Kanal (Channel) Kaybı (ton/yıl) | Sediment İletim Oranı | Sediment Verimi (ton/yıl) | Birim Alan Sediment Verimi (ton/ha/yıl) |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| 1(863) | 23ve9 | 106.8 | 34.5 | 0.805 | 113.6 | 0.1 |
| 2(2182) | 63ve25 | 1371.8 | 132.5 | 0.261 | 392.7 | 0.2 |
| 3(1626) | 43ve17 | 0 | 0.8 | 0.04 | 0 | 0 |
| 4(2164) | 48ve19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5(786) | 31ve12 | 61.5 | 12.4 | 0.42 | 28.3 | 0.1 |
| 6(1618) | 42ve17 | 0 | 0.4 | 0.857 | 0.4 | 0 |
| 7(858) | 18ve7 | 0 | 7.7 | 0.691 | 5.3 | 0 |
| 8(784) | 17ve7 | 1.8 | 0.1 | 0.9 | 1.7 | 0 |
| 9(495) | 8ve3 | 10.4 | 16.4 | 0.96 | 25.7 | 0.1 |
| 10(1293) | 38ve15 | 107.2 | 6.2 | 0.519 | 58.8 | 0 |
| 11(647) | 13ve5 | 705.7 | 44.7 | 0.591 | 443.3 | 0.7 |
| 12(1576) | 28ve11 | 47.2 | 42.3 | 0.623 | 55.7 | 0 |
| 13(1045) | 23ve9 | 477 | 76.4 | 0.891 | 493 | 0.5 |
| 14(326) | 8ve3 | 89.7 | 64.3 | 0.768 | 118.2 | 0.4 |
| 15(224) | 3ve1 | 25.9 | 4.4 | 0.981 | 29.7 | 0.1 |
| 16(1791) | 51ve20 | 2802.2 | 118.4 | 0.466 | 1361.4 | 0.8 |
| 17(1658) | 50ve20 | 1098.5 | 268.7 | 0.715 | 977.1 | 0.6 |
| 18(2540) | 77ve31 | 480.3 | 397.8 | 0.257 | 225.7 | 0.1 |
| 19(1974) | 43ve17 | 1274 | 170.8 | 0.57 | 823.1 | 0.4 |
| 20(419) | 8ve3 | 275.8 | 28.4 | 0.56 | 170.5 | 0.4 |
| 21(2573) | 73ve29 | 1109.1 | 537.8 | 0.451 | 742.6 | 0.3 |
| 22(2152) | 43ve17 | 3933.7 | 425.8 | 0.57 | 2484.2 | 1.2 |
| 23(1551) | 38ve15 | 2863.6 | 25.3 | 0.187 | 538.8 | 0.3 |
| 24(480) | 18ve7 | 416.5 | 10 | 0.17 | 72.4 | 0.2 |
| 25(1499) | 38ve15 | 953.3 | 65.9 | 0.333 | 339 | 0.2 |
| Toplam | 845ve334 | 18212 | 2492 | ----- | 9501.2 | ----- |
| Ortalama | ----- | ----- | ----- | 0.544 | ----- | 0.27 |

Şekil 3 20 Yıllık İklim Verisi Kullanılarak Bulunan Sediment Verimleri



Şekil 4 Olur Mikrohavzası Erozyon Risk Haritası

Şekil 4'te erozyonun en çok yaşandığı bölgeler görülmektedir. Genellikle dere kenarları, çıplak araziler ve tarım yapılan alanlarda yoğunluk gözlenmektedir.

Arazi kullanımını 175 hektar orman, 165 hektar mera, 150 hektar tarım alanı olmak üzere toplamda 490 hektar alana sahip Orcan Deresi Havzası'nda Yüksel ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada havzanın ortalama eğimi %34, yükseltisi 957 metre olup yıllık ortalama 730 mm yağış almaktadır. Tahmini sediment verimi 6.95 ton/ha/yıl olarak bulunmuştur [14].

Kahramanmaraş, Ayvalı Barajı Yağış Havzası'nda 11531 ha alanda coğrafi bilgi sistemleri ile yapılan çalışmada yıllık 85534.99 ton sediment verimi ve birim alanda 7.42 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir [13].

Artvin Borçka Barajı Yağış Havzası'nın yıllık ortalama yağış miktarı 698.7 mm olup 86576.83 ha alana sahiptir. Arazi kullanımları %56.42 orman, %16.39 mera, %14.49 milli park, %7.71 ziraat ve %4.99'u diğer alanlardan oluşmaktadır. Ortalama yükseltisi 1362 metre olup ortalama eğimi ise %56.28'dir. Yapılan çalışmada GeoWEPP kullanılarak yıllık toplam sediment miktarı 360431.70 ton, yıllık ortalama birim alan sediment verimi ise havza genelinde 4.16 ton/ha/yıl olarak bulunmuştur [15].

Genel olarak değerlendirildiğinde literatür çalışmalarındaki GeoWEPP erozyon tahmin değerleri bu çalışmadaki model tahmin değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bizim tahmin değerimizin daha düşük oluşundaki en önemli faktör çalışma alanının yarı-kurak özelliğe sahip olması ve neticesindeki düşük yağış miktarına sahip olmasıdır.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

20 yıllık iklim verisi ile Toplam yamaç (hillslope) kaybı 18212 ton/yıl, kanal (channel) kaybı 2492 ton/yıl, sediment verimi 9501 ton/yıl olarak bulunmuştur. Birim alan sediment verimi ise 0.3 ton/ha/yıl bulunmuştur.

Oltu Mikrohavzası'nda yapılan oyuntu ıslahı çalışmalarında toprak erozyonunun azaltılabilmesi için kanal ve oyuntulara uygun kafes-tel ve kuru-duvar eşiklerin uygulanmasının etkili yol olduğu belirlenmiştir [12]. Aynı şekilde Oltu Mikrohavzası'nda yapılan kuru-duvar ve tel-kafes eşiklerin sayısı artırılmalıdır. Alan kumlu toprak yapısı dolayısıyla çok kolay erozyona uğrama potansiyeline sahiptir. Yeterli bitki örtüsü bulunmayan çıplak alanlarda teraslamalar, toprak işleme, ağaçlandırmalar yapıp yüzeysel akışa engel olunmalıdır. Çevirme hendeği gibi ıslah tedbirleriyle oyuntu oluşumları ve erozyonu azaltılabilir. Yeterli ıslah faaliyetlerinin yapılmaması neticesinde havzanın sediment verimi her geçen yıl artacak dolayısıyla Ayvalı barajına olan rüsubat birikimi baraj ömrünü kısaltacaktır.

TEŞEKKÜR

JICA, OGM ve Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Bhuyan, S., P. Kalita, K. Janssen and P. Barnes. 2002. Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environmental Modelling and Software*. 17 (2): 135-144.
- [2] Akay, A. and J. Sessions. 2005. Applying the decision support system, TRACER, to forest road design. *Western Journal of Applied Forestry*. 20 (3): 184-191.
- [3] Akay, A., O. Erdas, M. Reis and A. Yuksel. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Building and Environment*. 43 (5): 687-695.
- [4] Memarian, H., S.K. Balasundram, J. Talib, C.B.S. Teh, M.S. Alias, K.C. Abbaspour and A. Haghizadeh. 2012. Hydrologic analysis of a tropical watershed using KINEROS2. *Environment Asia*. 5(1) : 84-93.

- [5] Sorooshian, S. and V.K. Gupta. 1995. Model calibration. In: Singh, V.P. (ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications. pp. 23-68.
- [6] Flanagan, D.C. and Nearing, M.A. 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10. West Lafayette, IN, (USA: USDA-ARS National Soil Erosion Res. Lab).
- [7] Flanagan, D., Frankenberger, J.R., Cochrane, T.A., Renschler, C.S., and Elliot, W.J., 2013. Geospatial application of the water erosion prediction project (WEPP) model. *Trans. ASABE. Am. Soc. Agric. Biol. Eng* 56: 591-601
- [8] Mello, C.R., Norton, L.D., Pinto, L.C., Beskow, S., and Curi, N., 2016. Agricultural Watershed Modeling: A Review For Hydrology And Soil Erosion Processes. *Ciência e Agrotecnologia* 40(1):7-25, Jan/Feb. 2016.
- [9] Yıldırım, C., 2019. Çoruh Nehri Havzası'na Bağlı Olur Mikrohavzası'ndaki Sediment Üretimini Erozyon Çubuk Yöntemi, Askıda Katı Madde Ölçümü Ve GeoWEPP Tahmin Modeli İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 203 s.
- [10] Duman, A., 2017. Artvin, Erzurum ve Bayburt İllerindeki Bazı Mikro Havzalarda Bozuk Orman ve Mera Alanlarında Bazı Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi, Uydu Görüntüleri İle İlişkilendirilmesi ve Modellenmesi (Doktora Tezi). Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, ss. 153. Artvin.
- [11] Garbrecht, J., & Martz, L.W., (1997). TOPAZ: Topographic Parameterization [Software]. Available from <http://grl.ars.usda.gov/topaz/TOPAZ1.HTM>
- [12] Tüfekçioğlu, M., 2018. Gully And Streambank Erosion And The Effectiveness of Control Measures In a Semi-Arid Watershed. *Fresenius Environmental Bulletin Volume 27 - No. 12/2018 s 8233-8243*.
- [13] Yüksel, A., 2001. K.Maraş Ayvalı Barajı Yağış Havzasının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) Ortamında Havza Amenajmanı Bakımından Planlanması Üzerine Araştırmalar. (Doktora Tezi), K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [14] Yüksel, A., Akay, A.E., Gundogan, R., Reis, M., Cetiner, M., 2008. Application of GeoWEPP for Determining Sediment Yield And Runoff in The Orcan Creek Watershed in Kahramanmaraş, Turkey. *Sensors* 2008, 8, s. 1222-1236.
- [15] Erdoğan Yüksel, E., 2015. Borçka Barajı Yağış Havzası'nda Meydana Gelen Toprak Erozyonu ve Sediment Veriminin WEPP Erozyon Tahmin Modeli ve CBS Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi (Doktora Tezi), Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin.