

Kocadere Havzasında Sediment Veriminin Arazi Ölçümlerine ve MUSLE Modeline Dayalı Olarak Tahmin Edilmesi

Gülay YILMAZ¹. *

Lutfullah ARUĞASLAN¹

Gözen YÜCEERİM¹

¹Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi, İzmir-Türkiye

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): gulay.yilmaz@tarimorman.gov.tr

Geliş tarihi (Received) : 09.03.2020

Kabul tarihi (Accepted): 02.10.2020

DOI: 10.21657/topraksu.700706

Öz

Türkiyenin içinde bulunduğu coğrafi konum, topoğrafya, toprak özellikleri, erozyona elverişli jeomorfolojik yapı, arazi kullanımındaki değişimler ve iklim koşulları toprakların erozyona karşı duyarlılığını artırmaktadır. Bu nedenle erozyon ve onun sonucu olan sedimentasyon, toprak ve su kaynaklarıyla ilgili en önemli problemlerdendir. Balıkesir-Bigadiç Kocadere Havzasında 2009-2013 yılları arasında yürütülen bu araştırmada, alt havzada yağış, akım ve süspansediment ölçümlerine dayalı olarak, havza sediment veriminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada, 2009-2013 yıllarını kapsayan 5 yıllık ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Söz konusu periyotta otomatik sediment örnekleyici ile gerçekleştirilen süspansediment örneklemelerine ve akım verilerine dayalı olarak havzanın sediment anahtar eğrisi çıkarılmıştır. Buna göre alt havza sediment verimi 2.11 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda, havza sediment verimini tahmin etmek amacıyla MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) eşitliği kullanılmıştır. Araştırma periyodu için MUSLE ile tahmin edilen sediment verimi ise 2.22 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ olmuştur. MUSLE modelinin havza koşullarında uygulanabilirliği, 13 adet bireysel olay süresince arazide ölçülen sediment verisiyle test edilmiş ve elde edilen belirtme katsayısı değeri 0.92 olmuştur. Yüksek akımlar için sediment verimi tahmininde MUSLE daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Balıkesir Bigadiç, havza, MUSLE, sediment verimi, toprak erozyonu

Estimation of Sediment Yield Based on Field Measurements and MUSLE Model in Kocadere Watershed

Abstract

The geographical location, topography, soil characteristics, favorable geomorphological structure to erosion, land use changes and climatic conditions of Turkey, increase soil sensitivity to erosion. Therefore, soil erosion and consequent sedimentation are the most important problems that threaten our soil and water resources. In this research conducted between the year of 2009-2013 in Balıkesir-Bigadiç-Kocadere Watershed, it is aimed to determined sediment yield based on the rainfall, runoff and suspended sediment measurements in subwatershed. 5 year measurement results covering the years 2009-2013 were evaluated in the research. Sediment rating curve of the watershed has been derived from flow rate and suspended sediment measured with automatic sediment sampler at the subwatershed. With reference to this, annual average sediment yield of subwatershed was 2.11 ton ha⁻¹ yıl⁻¹. At the same time, in order to estimate of watershed sediment yield, MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) equation was used. Sediment yield estimated by MUSLE for the research period was 2.22 ton ha⁻¹ yıl⁻¹. The applicability of the MUSLE model under watershed

conditions was tested with sediment data measured in the field during 13 individual events and obtained coefficient of determination was 0.92. MUSLE gave better results in predicting sediment yield for high storms.

Keywords: Balıkesir Bigadiç, watershed, MUSLE, sediment yield, soil erosion

GİRİŞ

Verimli arazilerde verim kaybına, toprak yapısında bozulmalara, taşkın riski ve zararının artmasına ve su depolama yapılarının hacminin azalmasına sebep olan etkenlerin başında sedimentasyon gelmektedir. Mülga EİE Genel Müdürlüğü ile DSİ Genel Müdürlüğü'nün uzun yıllık süspansediment miktarı ölçüm sonuçlarına göre, ülkemizin akarsularından ortalama yılda 118.866.090 tonluk süspansediment taşınımı olmaktadır. Bu değer ülkemizin 766.878 km²'lik net yağış alanından taşınan miktardır. Buna % 25'lik yatak yükü miktarı eklendiğinde taşınan toplam sediment miktarının 148.582.613 tona ulaştığı belirtilmektedir. Diğer yandan Türkiye için hesaplanan alan ağırlıklı ortalama süspansediment verimi 155 ton yıl⁻¹ km² olarak bulunmuştur. Sediment iletim oranının % 20 olarak kabul edildiği ülkemizde, erozyonla taşınan toprak miktarı ise 571.471.585 m³ yıl⁻¹'a ulaşmaktadır (Anonim, 2015).

Küçük havzalarda (~10 km²) yüzey akış derinliğinin az ve akımların düzensiz olması nedeniyle sediment verimini saptamada su örnekleme stratejileri önemli rol oynamaktadır. Örneklemenin planlanmasında havza boyutunun ve mevsimin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Akım ölçümleri, örnekleme zamanı, su örnekleme aralıkları ve metodları ile sediment konsantrasyonunu belirleme teknikleri dikkate alınarak, sediment verimi kayıtlarının doğruluğu ile ilgili pek çok araştırma sonuçları yayınlanmıştır. Akım ölçümleri ve sediment örneklemenin doğru zamanlı olarak gerçekleştirilmesi ve doğru şekilde çalışan aletlerle küçük havzalardan sediment veriminin %10 dan daha az bir hatayla saptanabileceği belirtilmiştir (Baade ve Liese, 2002).

Akarsu ve nehirlerde sediment hareketinden yola çıkılarak toprak kaybının tahmininde karşılaşılan birtakım problemler söz konusudur. Bunlar; örnekleme ya da ölçüm yapmak zaman alıcı ve pahalı olabilmektedir, diğer yandan ölçümlerin doğruluğunun düşük olması olasılığı her zaman vardır, bir akarsuda sediment hareketi ile ilgili iyi

veriler olsa bile, toprağın nereden ve ne zaman taşındığı bilinmemektedir. Tüm bu problemlere rağmen, farklı akarsularda, yılın farklı zamanlarında ya da farklı arazi kullanımı altında havzalardaki sediment hareketini gözlemlemek ve karşılaştırmak önem taşımaktadır. Sediment iletim ölçümleri birçok basitleştirilmiş kabuller gerektirmektedir. Bunun nedeni sediment taşınımının dinamik bir olay olması ve ölçüm tekniklerinin su kütlesinde, özellikle de akarsu sistemlerindeki sürekli değişen koşulları yeterli doğrulukta tanımlayamamasıdır (Hudson, 1993).

Günümüzde havzalarda sediment araştırmalarına dayalı olarak erozyon süreçlerini daha iyi anlamada, erozyon tahmin teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman içinde yağış dağılımındaki varyasyonlara bağlı olarak taşınan sediment miktarındaki değişkenliğin yağış faktörü yerine bir yüzey akış faktörüyle açıklanabileceğini belirten Williams ve Berndt (1977), havzalarda sediment verimini tahmin etmede, MUSLE modelini önermişlerdir. MUSLE ile sediment veriminin tahmininde doğruluk artmakta ve aynı zamanda sediment iletim oranının belirlenmesine olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır (Pandey vd., 2009; Banasik ve Walling, 1996; Kinnell ve Risse, 1998; Sadeghi vd., 2004; 2007).

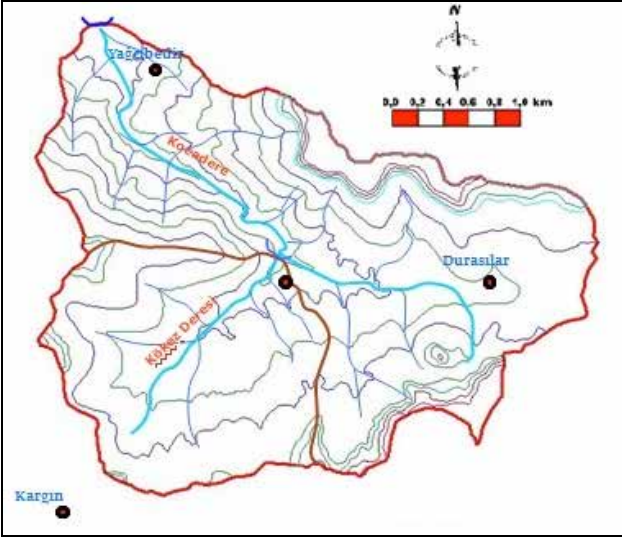
Akarsuda süspansediment örneklemesine dayalı olarak havza sediment verimini belirlemek amacıyla, araştırma alanı olan Balıkesir-Bigadiç Kocadere Havzasında alt havza düzeyinde elde edilen ölçüm sonuçları bu çalışmada değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırma alanı olarak belirlenen Kocadere Havzası, Susurluk Büyük Akarsu Havzası içinde Balıkesir İlinin Bigadiç İlçesinde yer almaktadır. 39° 25' 12" N enlemi, 28° 11' 52" E boylamında yer alan havza 11.366 km² alana sahip olup, havza maksimum yüksekliği 737.0 m, havza minimum yüksekliği 255.0 m'dir. Havza topoğrafik haritası Şekil 1'de verilmiştir. Havza genel alanının

%55.19'u çok eğimli ile dik eğime sahip alanlardan oluşmaktadır. Arazi yetenek sınıfları bakımından II., VI., VII. ve VIII. sınıf araziler hakimdir. Arazi kullanım türleri ise mera, funda, orman (meşe-çamfıstığı) ve tarım arazisi şeklindedir.



Şekil 1. Kocadere Havzası topoğrafik haritası ve alt havzanın konumu

Figure 1. Topographic map of Kocadere Watershed and location of the sub-watershed

Araştırma kapsamında sediment gözlemleri Kocadere Havzası içerisinde alt havza düzeyinde gerçekleştirilmiştir. 3.660 km² (366 ha) lik alana sahip ve 2. dereceden kolu oluşturan Kökez Deresi alt havzanın çıkış kotunda 448 m'de inşa edilmiş olan savak (beşgen yapıda) üzerinde su seviye ölçümleri ve süspanse sediment ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2). Yağış verileri ise aynı noktada 450 m kotunda kurulan yağış istasyonundan elde edilmiştir. Savak üzerindeki (hız-yükseklik) ölçümlere bağlı olarak,



Şekil 2. Akım ve sediment ölçüm noktası

Figure 2. Flow and sediment measuring point

su yüksekliği ile debi arasındaki ilişkiyi veren savak anahtar eğrisi denklemiyle ($y=1,6615x^{1,8453}$) süspanse sediment ölçümlerinin gerçekleştirildiği 2009-2013 su yılları için günlük ortalama akım değerleri hesaplanmıştır (Yılmaz vd., 2015).

Sediment örnekleri, programlanabilir özelliğe sahip örnekleyici (Teledyne ISCO 6712) ile bireysel olay bazında alınmıştır. Örnekleyicinin çalışma prensibi, örnekleyiciye bağlı akım ölçerden su seviye bilgisi iletimine bağlı olarak istenilen aralıkta otomatik bir şekilde su örneğini almaya dayanmaktadır. Bu şekilde bireysel olay bazında 24 adet örnek alma imkanı olmuştur.

Yöntem

Havzada akarsu ile taşınan toplam sediment (süspanse +yatak yükü) veriminin saptanması için süspanse sedimentin %'si olarak yatak yükü ilave edilmiştir. Bu oranı belirlemede Maddock (1975) sınıflandırmasından yararlanılmıştır.

Sediment veriminin tahmin edilmesinde uygun tekniği belirlemede havzada etkili erozyon tipine, sediment kaynağına ve uygun verinin olup olmadığına bakmak gerekiyor. Toprak kayıplarının hesaplanması için Wischmeier ve Smith (1978)'in geliştirdiği USLE (Universal Soil Loss Equation) eşitliğinde yer alan yağış erozivite faktörü yerine yüzey akış enerji faktörünün esas alındığı Modifiye Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları eşitliği (MUSLE) sediment veriminin tahmininde kullanılmaktadır. Araştırma kapsamında alt havzada sediment veriminin tahmini için MUSLE modeli kullanılmıştır. Modelin gerektirdiği akım verileri, alt havzada savak üzerinde su seviye – debi ölçümlerinden sağlanmıştır.

MUSLE ile sediment verimi aşağıdaki ilişkiyle "Eşitlik 1." ifade edilmektedir (Williams, 1975);

$$Y=11.8(Oq_p)^{0.56} K L S C P \quad (1)$$

Denkleme;

Y= sediment verimi (metrik-ton)

O= yüzey akış hacmi (m³)

q_p= pik debi (m³ sn⁻¹)

K=Toprak erozyon duyarlılık faktörü (ton ha saat ha⁻¹ Mj⁻¹ mm⁻¹)

C= Bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörü

P= Toprak koruma faktörü

LS=Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü

Eşitlikte yer alan yüzey akış enerji faktörünün ifadesi olan $11.8 (Oq_p)^{0.56}$ 'nin hesaplanması amacıyla alt havzada ölçülen akımlar Barnes metoduna (Barnes, 1940) göre bileşenlerine ayrılmıştır. Böylece her bir bireysel akıma ait yüzey akış hacmi (O) ve pik debi (q_p) değerleri belirlenmiştir.

Denklemin diğer kısmı için RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) eşitliğinde yer alan K, LS, C, P faktör değerleri kullanılmıştır. Havza geneline yayılan, GSP ile koordinatları belirlenen 65 noktadan alınan toprak örnekleri K faktör değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. K faktörü, toprak erozyon duyarlılık eşitliği "Eşitlik 2." (Wischmeier ve Smith, 1978) kullanılarak "t ha saat ha⁻¹ Mj⁻¹ mm⁻¹" biriminde hesaplanmıştır. Bu eşitliğin metrik sistemdeki karşılığı aşağıda verilmiştir.

$$K=(2.1 \times 10^4) (12-OM)M^{1.4}+3.25 (s-2)+2.5(p-3)/7.59 \times 100 \quad (2)$$

Bu eşitlikte M, Eşitlik 3 ile ifade edilmektedir.

$$M= (\% \text{ mil} + \text{çok ince kum}) (100 - \% \text{ kil}) \quad (3)$$

Burada; K: Toprak erozyon duyarlılık faktörü, OM: % organik madde, M: % birincil tane boyu fraksiyonu, s: toprak stürüktür sınıfı, p: su geçirgenlik sınıfıdır.

Toprak erozyon duyarlılık eşitliği ile elde edilen K faktör değerleri başlangıç değer olarak alınmış, mevsimsel etkinin hesaplanmasında USDA 703 numaralı el kitabı esas alınmıştır (Renard vd., 1997). Böylece mevsimsel K faktörünün hesaplanmasıyla her bir toprak örneği için düzeltilmiş K değerleri elde edilmiştir. Düzeltilmiş K değerleri, K faktör haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Kocadere Havzası için K faktörünün hesaplanan dağılım aralığı 0.0033 ile 0.0266 ton ha saat ha⁻¹ Mj⁻¹ mm⁻¹ arasında olmuştur. Alt havzada MUSLE ile sediment veriminin tahmini için kullanılan ağırlıklı ortalama K değeri 0.022 ton ha saat ha⁻¹ Mj⁻¹ mm⁻¹ olmuştur. Araştırma havzasını kapsayan 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik eş yükselti haritasından oluşturulan sayısal yükselti modelinden, Moore ve Burch (1986a; 1986b)'a göre LS faktör katmanı elde edilmiştir. Havzada LS değer aralığının 0-16 olduğu alanlar, genel alanın % 90'lık bölümünü oluşturmuştur. Alt havza için hesaplanan ağırlıklı ortalama LS değeri 5.04 olarak belirlenmiştir. Kocadere Havzasında ekimi yapılan kültür bitkileri (buğday, tütün, mısır) ile mera, fundalık ve orman alanları için ortalama C faktör değerleri, havzada yürütülen arazi ölçüm ve gözlemleri ile RUSLE toprak muhafaza planlama rehberine (Renard vd.,

1997) dayalı olarak belirlenmiştir. Buna göre kültür bitkileri için rotasyon olmadan elde edilen ortalama C değeri 0.23, mera, funda ve ormanlık alanlar için ortalama C değerleri sırasıyla; 0.09, 0.012, 0.003 alınmıştır. Alt havzada MUSLE ile sediment veriminin tahmininde kullanılan ağırlıklı ortalama C değeri 0.13 olarak alınmıştır. Havzada ortalama eğimin yaklaşık %16 olduğu 60.2 ha'lık bir alanda teraslama ve fıstık çamı dikimi yapıldığından, P faktör değeri AH No: 537 (Wischmeier ve Smith, 1978)'e göre 0.14 olarak alınmıştır. Havzanın geri kalan % 83.55'lik kısmında toprak korumaya yönelik herhangi bir uygulama olmadığından, P değeri 1.0 olarak alınmıştır (Yılmaz vd., 2015).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Havza yağış ve akımları

Çalışmada süspansediment ölçümlerinin gerçekleştirildiği 2009-2013 periyodunda alt havzada ölçülmüş olan yağış ve akım verileri bu bölümde değerlendirilmiştir. Alt havzada 2009 su yılından 2013 su yılına kadarki 5 yıllık periyot için elde edilen yıllık toplam yağış ve akım değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerlere göre, 2009 su yılında yıllık toplam yağış miktarı 937.7 mm olurken, toplam akım değeri 271.5 mm olmuştur. 2010 su yılında kaydedilen yıllık toplam yağış miktarı 922.8 mm olurken, toplam akım değeri 194.0 mm olmuştur. 2011 su yılında 796.0 mm toplam yağışa karşılık, toplam akım 188.6 mm olmuştur. 2012 su yılında toplam yağış miktarı 768.8 mm, akım miktarı 175.7 mm, 2013 su yılında ise yıllık toplam yağış 685.6 mm, yıllık toplam akım ise 129.2 mm olarak kaydedilmiştir. Buna göre araştırma periyodu için ortalama 822.18 mm yağışa karşılık, gözlenen akım 191.8 mm olmuştur.

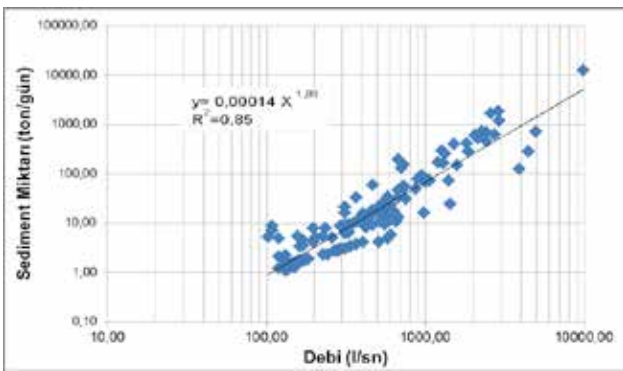
Ölçülen ve tahmin edilen sediment veriminin karşılaştırılması

Alt havzada süspansediment ölçümlerine dayalı elde edilen sonuçlar ile MUSLE eşitliği ile tahmin edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

Ölçülen sediment verimleri

Süspansediment örneklemelerinin yapılabildiği bireysel akım olayı sayısı araştırmanın yürütüldüğü yıllar için (2009-2013) sırasıyla; 14, 21, 9, 3, 16 adet olmuştur. Toplamda 63 adet akıma ait gözlem yapılabilmektedir. Bu gözlemler bireysel akım olayı süresince yada akımın bir kesiti boyunca gerçekleştirilmiştir. Tüm bu akımlar süresince anlık olarak 138 adet sediment örneği alınabilmektedir.

Değerlendirmede 5 yıllık gözlem periyodu boyunca alınan tüm anlık örnekler biraraya getirilip grafiksel ilişki aranmıştır. Örneklerin alındığı andaki debi değerlerine karşılık taşınan süspansediment miktarları arasındaki ilişkiyi veren "sediment anahtar eğrisi"nin grafik ve denklemi Şekil 3'de verilmiştir. Benzer şekilde süspansediment miktarı / debi arasındaki ilişkiyi belirlemede Jahani (1992), farklı kategorilere göre sınıflandırma yaparak yürüttüğü bir çalışmada, en güvenilir sonucun tüm kullanılabilir gözlemlerin birarada analiz edilmesiyle elde edildiğini belirtmiştir.



Şekil 3. Havza sediment anahtar eğrisi
Figure 3. Watershed sediments rating curve

Alt havza için elde edilmiş olan sediment anahtar eğrisi denklemi kullanılarak her bir su yılı için hesaplanan günlük süspansediment miktarlarının toplamından elde edilen yıllık toplam süspansediment miktarları Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre 2009, 2010, 2011, 2012 ve 2013 su yılları için hesaplanan süspansediment miktarları sırasıyla; 884.88; 168.00; 1634.30; 111.60; 57.20 ton yıl⁻¹ olmuştur. Süspansediment halde taşınan materyalin % 69.84 kum, diğer yandan yatak yükü materyalinin ise % 90'dan fazla kum içerdiği belirlenmiştir. Süspansediment ve yatak materyalinin her ikisinin bünyesine ve süspansediment konsantrasyonuna dayalı olarak Maddock (1975) sınıflamasına göre süspansedimentin % 35'i yatak yükü olarak alınmıştır. Buna göre 2009-2013 su yılları için hesaplanan yatak yükü miktarları sırasıyla; 309.71; 58.80; 572.01; 39.06; 20.02 ton yıl⁻¹ olmuştur. Elde edilen toplam sediment miktarları ise sırasıyla; 1194.59; 226.80; 2206.31; 150.66; 77.22 ton yıl⁻¹ olmuştur (Çizelge 1).

Bu çalışmada diğer yandan yüksek sediment taşınımına yol açan 3 adet bireysel akım olayı (8-9-10.2.2009; 17-18-19.12.2011; 13-14.6.2011) için taşınan sediment miktarlarında düzeltmeye gidilmiştir. Bunun için doğrudan süspansediment

Çizelge 1. Kökez Deresi alt havzası yağış, akım değerleri ile akarsu sediment verimi

Table 1. Rainfall, flow values and river sediment yield of the Kökez Creek sub-watershed

Yıllar	Yağış (mm)	Akım (mm)	Süspansediment (ton yıl ⁻¹)	Yatak Yükü (ton yıl ⁻¹)	Toplam Sediment (ton yıl ⁻¹)	Yıllık Sediment Verimi (ton ha ⁻¹ yıl ⁻¹)
2009	937.7	271.5	884.88	309.71	1194.59	3.26
2010	922.8	194.0	168.00	58.80	226.80	0.62
2011	796.0	188.6	1634.30	572.01	2206.31	6.03
2012	768.8	175.7	111.60	39.06	150.66	0.41
2013	685.6	129.2	57.20	20.02	77.22	0.21
			Ortalama		771.11	2.11
			Toplam		3855.57	

Çizelge 2. Yüksek sediment taşınımına yol açan bireysel olaylar ve sediment miktarları

Table 2. Individual events leading to high sediment transport and sediment amounts

Bireysel akım	Akım No	Yüzey Akış Hacmi (m ³)	Ölçülen Sediment (ton)*	Ölçülemeyen akımın YA hacmi / ölçülen akımın YA hacmi	Hesaplanan Sediment (ton)
8-9-10/2/ 2009	1	172953		1 no'lu akım / 3 no'lu akım = 0.48	675,14
17-19/12/2011	2	41256		2 no'lu akım / 3 no'lu akım = 0.12	168,79
13-14/6/2011	3	356760	1406,55		1406.55

*: doğrudan örnelemeye dayalı hesaplanan sediment

örnekleme yapılabilen 13-14 Haziran 2011 tarihli feyezan ve bu olaya ait karakteristik özelliklerden olan yüzey akış hacminden faydalanılmıştır. Yüksek sediment taşınımına yol açan her üç olay için hesaplanan sediment miktarları Çizelge 2'de verilmiştir. Yıllık toplam süspanse sediment miktarları hesaplanırken, her üç bireysel olay için elde edilen sediment miktarları dikkate alınmıştır.

Tahmin edilen sediment verimleri

MUSLE modeli ile alt havzada sediment veriminin tahmini için, erozif özellik gösteren 80 adet akım incelenmiştir. MUSLE eşitliğinde "Eşitlik 1." yer alan yüzey akış enerji faktörünün bileşenleri olan yüzey akış hacmi ve pik debi oranları her bir seçilmiş bireysel akım olayı için hesaplanmıştır. Eşitliğin diğer bileşenleri olan K, LS, C ve P faktör değerlerini RUSLE katmanları oluşturmuştur. K, LS, C ve P faktör katmanlarının alt havza için hesaplanan ağırlıklı

ortalama değerleri sırasıyla; 0.022; 5.04; 0.13; 0.97 olmuştur. Buna göre araştırma periyodu için eşitlikle tahmin edilen sediment verimleri Çizelge 3'te verilmiştir. Aynı zamanda ölçülen ve tahmin edilen toplam sediment miktarlarının, karşılaştırmalı olarak verildiği Çizelge 3 incelendiğinde, araştırma periyodu için ölçülen ve eşitlikle tahmin edilen ortalama sediment miktarları sırasıyla 771.11 ton yıl⁻¹ ile 812.91 ton yıl⁻¹ olmuştur. İstasyonun temsil ettiği havzanın (366.0 ha) birim alanından gelen ortalama yıllık sediment verimi ise yine sırasıyla; 2.11; 2.22 ton ha⁻¹yıl⁻¹ olmuştur. Diğer yandan yıllar itibarıyla sediment verimleri incelendiğinde, yüksek sediment taşınımına yol açan feyezanların kaydedildiği yıllar olan 2009 ve 2011'de, hesaplanan tahmin hatasının (%18, %-44) ve aynı zamanda tahmin edilen/ölçülen sediment oranının (1.2; 0.6), diğer yıllara göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Ölçülen ve MUSLE ile tahmin edilen yıllık toplam sediment veriminin karşılaştırılması

Table 3. Comparison of measured and estimated total annual sediment yields

Yıllar	Toplam ölçülen sediment (ton)	Tahmin edilen sediment (ton)	Tahmin hatası (%)	Tahmin edilen / Ölçülen oranı
2009	1194.59	1414.37	18	1.2
2010	226.80	516.97	128	2.3
2011	2206.31	1234.59	-44	0.6
2012	150.66	467.85	211	3.1
2013	77.22	430.76	458	5.6
Ortalama	771.11	812.91		
Toplam	3855.57	4064.53		
Yıllık Sed. Verimi (ton ha ⁻¹ yıl ⁻¹)	2.11	2.22		

Çizelge 4. MUSLE'nin test edilmesinde kullanılan akımların karakteristik özellikleri

Table 4. Characteristics of flows used in testing of MUSLE

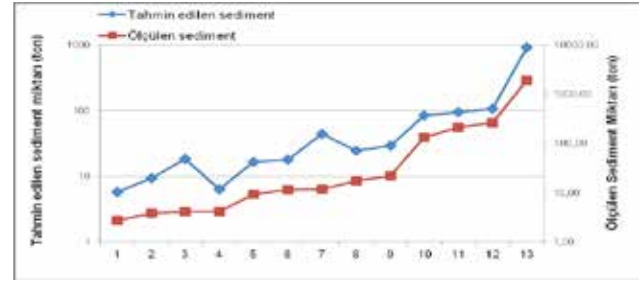
No.	Akım tarihi	Süre (saat)	Yüzey akış hacmi (m ³)	Derinlik (mm)	Pik debi (m ³ s ⁻¹)
1	5-6/1/2009	15	37695.21	10.065	2.18
2	26-27/3/2009	33	21880.8	5.843	0.98
3	3-4-5/1/2010	55	20194.2	5.392	0.50
4	14.2.2010	12	36054	9.627	2.85
5	6.3.2010	8	5004	1.336	0.84
6	7.3.2010	14.5	8272.8	2.209	0.54
7	13-14/6/2011	39	356760.0	95.263	13.38
8	15.4.2012	20	34167.14	9.123	2.00
9	20.1.2013	14	3607.2	0.963	0.37
10	22-23/1/2013	10	4989.6	1.332	0.75
11	25.1.2013	8	7171.2	1.915	1.02
12	23.3.2013	6	1692	0.452	0.33
13	5.4.2013	8	2653.2	0.708	0.26

Çizelge 5. Alt havzada MUSLE'nin uygulanmasının sonuçları**Table 5.** Consequences of the application of MUSLE in the subwatershed

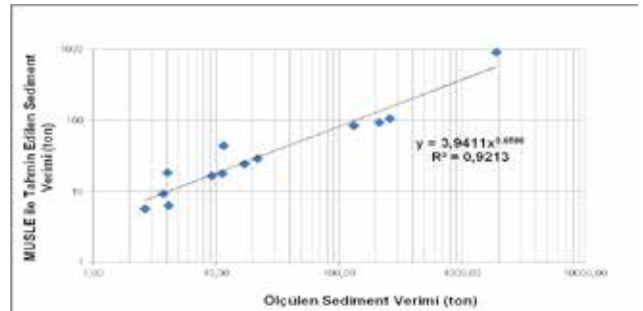
Sıra No.	Akım tarihi	Toplam ölçülen sediment kütlesi (ton)	Tahmin edilen sediment kütlesi (ton)	Toplam ölçülen sediment verimi (ton ha ⁻¹)	Tahmin edilen sediment verimi (ton ha ⁻¹)
1	23.3.2013	2.65	5.70	0.01	0.02
2	20.1.2013	3.77	9.28	0.01	0.03
3	7.3.2010	4.06	18.26	0.01	0.05
4	5.4.2013	4.13	6.34	0.01	0.02
5	22-23/1/2013	9.26	16.53	0.03	0.05
6	6.3.2010	11.27	17.65	0.03	0.05
7	26-27/3/2009	11.61	43.83	0.03	0.12
8	25.1.2013	17.09	24.07	0.05	0.07
9	3-4-5/1/2010	21.74	28.70	0.06	0.08
10	15.4.2012	131.67	84.21	0.36	0.23
11	5-6/1/2009	213.05	93.26	0.58	0.25
12	14.2.2010	259.92	105.70	0.71	0.29
13	13-14/6/2011	1898.84	906.98	5.19	2.48

MUSLE modelinin havza koşullarında uygulanabilirliği, arazi çalışması sırasında süspansediment örneklemelerinin yapılabildiği 13 adet bireysel akım olayı için elde edilen sediment verisi ile test edilmiştir. Söz konusu akımların karakteristik özellikleri Çizelge 4'te özetlenmiştir. 13 akım olayı için ölçülen ve MUSLE ile tahmin edilen sediment verimleri Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi, bu çalışmayla MUSLE'nin küçük akımlar söz konusu olduğunda, ölçülen değerlere kıyasla yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Williams ve Berndt (1977) küçük akımlar için sediment verimini tahmin etmede MUSLE'nin tatmin edici sonuç vermediğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda Johnson vd., (1985); Sadeghi (2004); Sadeghi ve Mizuyama (2007) bu sonucu doğrulamışlardır. Diğer yandan bu çalışmada, yüksek sediment taşınımına yol açan bir akım söz konusu olduğunda tahmin edilen ve ölçülen değerlerin birbirine yaklaşmakta olduğu görülmüş (Şekil 4), ancak MUSLE yüksek akımlarda gözlenen değerlere göre daha düşük sediment tahmini yapmıştır. Benzer şekilde Pandey vd., (2009), MUSLE modelinin büyük akımlar için nispeten daha düşük sediment verimi tahmininde bulunduğunu belirtmişlerdir.

Seçilmiş olan her bir bireysel akım olayı için tahmin edilen sediment verimleri ölçülen sediment verimleriyle karşılaştırıldığında, her iki veri seti arasındaki ilişkiyi gösteren belirtme katsayısı (R^2) 0.92



Şekil 4. Ölçülen ve tahmin edilen sediment grafiği
Figure 4. Measured and estimated sediment graph



Şekil 5. Ölçülen ve tahmin edilen sediment veriminin karşılaştırılması

Figure 5. Comparison of measured and estimated sediment yield

olmuştur (Şekil 5). Yapılan bir çalışmada MUSLE ile sediment verimi tahmininde 6 adet akım olayı için modelin geçerliliği test edilmiş ve benzer şekilde yüksek belirtme katsayısı (0.99) elde edilmiştir (Arckhi vd., 2011). Bir diğer araştırmada Pandey vd. (2009), MUSLE ile tahmin edilen sediment

verimlerini gözlemlenen değerlerle karşılaştırmışlar ve elde ettikleri yüksek belirtme katsayısının (0.83) modelin, sediment verimi tahmininde başarılı olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

SONUÇLAR

Sediment verimi tahmininde kullanılan MUSLE modelinin, küçük akımlar söz konusu olduğunda arazi ölçümlerine dayalı elde edilen sediment verimi değerlerine kıyasla daha yüksek tahminde bulunduğu belirlenmiştir. Ancak yüksek sediment taşınımına yol açan bir akım söz konusu olduğunda ise MUSLE tahminlerinin gözlenen değerlere göre göreceli olarak daha düşük olduğu, özellikle feyzan akımlar için sediment verimi tahmininde modelin daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

MUSLE modelinin havza koşullarında uygulanabilirliği, arazide ölçülen sediment verisiyle test edilmiş ve elde edilen belirtme katsayısı değeri (0.92) yüksek bulunmuştur. Bu da uygun kalibrasyonun yapılması halinde modelin benzer koşullarda daha iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Bir sonraki çalışmamız bu kapsamda olacaktır. Bu çalışma ile, havzalarımız için yüksek doğrulukta sediment grafiklerinin oluşturulmasında çok sayıda bireysel olayın izlenmesine yönelik örnek çalışmalara gereksinim olduğu bir kez daha anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Anonim (2015). [http://www.eie.gov.tr/eie-web / kurumsal_istatistikler / çevre_ist / hidroloji / sediment.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/kurumsal_istatistikler/cevre_ist/hidroloji/sediment.html) (Erişim Tarihi: 03.07.2015).

Arckhi S, Shabani A, Rostamizad G (2011). Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran). Arab J. Geosci DOI 10.1007/s12517-010-0271-6.

Baade J, Liese C (2002). Accuracy of sediment yield measurements in small catchments. Erosion and Sediment Transport Measurements: Technological and Methodological Advances. Workshop in Oslo 19-21 June 2002.

Banasik K, Walling DE (1996). Predicting sediment graphs for a small agricultural catchment. Nordic Hyrdol. 27(4), 275-294.

Barnes BS (1940). Discussion of analysis of runoff characteristics. Trans ASCE 105:106.

Hudson NW (1993). Field measurement of soil erosion and runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Jahani I (1992). Calculating the suspended sediment load of the Dez River. Erosion and Sediment transport Monitoring Programmes in River Basins (Proceedings of the Oslo Symposium, IAHS Publ. no.210).

Johnson CW, Gordon ND, Hanson CL (1985). Northwest Rangeland sediment yield analysis by the MUSLE. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 28:1889-1895.

Kinnell PIA, Risse LM (1998). USLE-Mempirical modeling rainfall erosion through runoff sediment concentration. Soil Sci.Soc. Am.J. 62, 1662-1672.

Maddock T (1975). Table 3.2 in Sediment Engineering, V.A. Vanoni(ed.) ASCE, New York.

Moore I, Burch G (1986a). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal 50: 1294-1298.

Moore I, Burch G (1986b). Modeling erosion and deposition: topographic effects. Trans of Asae 29(6): 1624-1630, 1640.

Pandey A, Chowdary VM, Mal BC (2009). Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. Paddy Water Environ (2009), 7: 105-113. DOI 10.1007/s10333-009-0149-y.

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Mccool DK, Yoder DC (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Handbook No. 703. US Department of Agriculture, 404 pp.

Sadeghi SH (2004). application of MUSLE in prediction of sediment yield in Iranian conditions. ISCO2004-13th International soil conservation organization conference-Brisbane, July 2004

Sadeghi SHR, Singh JK, Das G (2004). Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study. Int. Agric.Engng. J.13 (1/2),1-14.

Sadeghi SHR, Mizuyama T (2007). Applicability of the Modified Universal Soil Loss Equation for prediction of sediment yield in Khanmirza watershed, Iran. Hydrological Sciences-Journal-des Sci. Hydrologiques, 52(5).

Sadeghi SHR, Mizuyama T, Ghaderi VB (2007). Comformity of MUSLE estimates and erosion plot data for storm-wise sediment yield estimation. J. Terrest. Atmos. Oceanic Sci. 18(1), 117-128.

Williams JR (1975). Sediment-yield prediction with Universal Soil Loss Equation using runoff energy factor.p.244-252. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. U.S. Dep. Agr. ARS-S 40.

Williams JR, Berndt HD (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs 20(6), 1100-1104.

Wischmeier WH, Smith DD (1978). Predicting Rainfall erosion Losses - A Guide for Conservatin Planning (Agricultural Handbook 537). Washington, DC: USDA.

Yılmaz G, Şahin Taysun K, Acar CO, Özden N, Aruğaslan L, Bilir L, Taysun A, Uysal H (2015). Kocadere Havzasında RUSLE ile Potansiyel Toprak Erozyonunun Belirlenmesi ve Toprak Korunumunun Planlanması. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü yayını (UTAEM 2015-02), (Proje Sonuç Raporu), İzmir.