



Türkiye havzalarında sediment veriminin alansal değişimi

Ömer Levend AŞIKOĞLU*

Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

omer.asikoglu@ege.edu.tr ORCID:0000-0002-2981-5903, Tel: (232) 311 15 84

Ebru ERİŞ

Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

ebru.eris@ege.edu.tr ORCID: 0000-0003-0601-7666

Geliş: 13.07.2018, Kabul Tarihi: 25.08.2018

Öz

Su yapılarına ve/veya sulama tesislerine planlanan ömrü boyunca taşınan sediment miktarının bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Taşınan sediment miktarı, söz konusu tesislerin projelendirilmesinde kullanılmakta ve böylece sedimentasyon zararlarının minimize edilmesi sağlanmaktadır. Sediment miktarı, iklim ve arazi kullanım ile birlikte yıldan yıla büyük ölçüde değişebilir. Bu nedenle, sediment miktarının tahmini, genellikle erozyon, sediment taşınımı ve biriktirme vb. süreçleri içeren karmaşık bir işlemdir. Akarsularda taşınan sedimentin %50-95'i genellikle süspanse sedimenttir. Dolayısıyla taşınan sedimentin miktarını belirlemek için, süspanse sediment konsantrasyonunun bilinmesine gerek vardır. Akarsularda taşınan sediment miktarının analitik olarak hesabı sürecin karmaşıklığı nedeniyle güçtür. Bu nedenle, sediment miktarının tahmininde analitik yöntemler yerine uzun süreli ölçüm sonuçlarından yararlanılması daha güvenli bir yol olmaktadır. Bu çalışmada, Devlet Su İşlerinden temin edilen uzun süreli süspanse sediment ölçümleri kullanılarak, sediment veriminin alansal değişiminin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 15 yıldan daha fazla verisi bulunan 114 gözlem istasyonundan elde edilen süspanse sediment verisinden yararlanılmıştır. Sediment miktarının debi ile olan ilişkisi bilindiğinden, debi ikincil veri olarak alınarak Co-kriging yöntemiyle sediment verimi haritalanmıştır. Sediment veriminin alansal değişimini veren harita, kalibrasyon ve validasyon aşamalarıyla değerlendirilmiş ve tatminkâr sonuçlar elde edilmiştir. Haritanın validasyonu, kalibrasyon aşamasında kullanılmayan 15 adet gözlem istasyonunun verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu 15 adet istasyona ait ölçüm ve oluşturulan haritadan çıkarılan tahmin sonuçlarına göre korelasyon katsayısı yaklaşık 0.87 olarak bulunmuştur. Oluşturulan harita yardımıyla, süspanse sediment ölçümü bulunmayan bir noktada sediment verimi tahmin edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Süspanse sediment; sediment verimi; alansal değişim; Co-kriging

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Sediment verimi, belli bir zaman dilimi için bir referans noktasında ölçülen sediment miktarı olarak tanımlanmaktadır ve birimi ton/yıl ya da alansal olarak ton/yıl/km², m³/yıl/km² olarak verilmektedir (Verstraeten ve Poesen, 2001). Genellikle sediment verimi tahminleri, önerilen bir baraj ya da su yapısının fizibilite çalışmasının bir parçası olarak gerekirken ve veri olarak yıllık ortalama sediment veriminin yeterli olduğu düşünülmektedir.

Sediment verimini tahmin etmek amacıyla yapılan modelleme çalışmaları genellikle dört ana grupta toplanmaktadır:

- Sediment verimi denklemlerinin bilinen havza özelliklerinden türetildiği geniş havza ve iklim özelliklerine dayanan ampirik modeller

- Toprak erozyonu ve sediment verimi yaklaşımları. Burada ölçülen veya tahmini toprak erozyon hızları çoğunlukla havza özelliklerine dayanan bir sediment dağıtım oranı ile çarpılır.

- Fiziksel bazlı veya fiziksel dağılımlı havza modelleme yaklaşımları. Burada su ve toprağın hareketi bir havzaya yayılmış olarak tahmin edilmektedir.

- Sediment konsantrasyonu ya da sediment yükünü akarsu debisiyle ilişkilendiren modeller. Burada sediment konsantrasyonu ölçümleri akım karakteristikleriyle ilişkilendirilmektedir.

Literatürde sediment verimi hesaplamaları konusunda gerek ulusal (Aybaş, 1976; Gökso vd., 1979; Sevinç, 1985; Sevinç, 1990; Öztürk, 1996; Oğuz ve Balçın, 2001; İrvem ve Tülücü, 2004; Demirkıran, 2007; Kuşvuran, 2011; Aksu ve Uçan, 2012; Koç, 2014) gerekse uluslararası (Williams ve Berndt, 1972; Renard ve Stone, 1982; Smith vd., 1984; Jackson vd., 1986; Woida vd., 2001; Erksine vd., 2002; Blaszczyński, 2003; Phillips, 2003; Dedkov, 2004; Jinfa, ve Xiuhua, 2004; Sadeghi, 2004; Jiongxin ve Yunxia, 2005; Renwick vd., 2005; de Vente, ve Poesen, 2005; White, 2005; Birkinshaw ve Bathurst, 2006; Arekhi, 2008; Zhang vd., 2009,

Sadeghi ve Mizuyama, 2010; Arekhi vd., 2011; Bussi vd., 2013; Buendia vd., 2016; Grauso vd., 2008) pek çok çalışma bulunmaktadır ve bunların pek çoğu yukarıda sıralanan modelleme esaslarına dayanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, bazı durumlarda sediment verimi tahminlerinin, henüz baraj inşaatı başlamadan aşılabilirdiği görülmektedir. Ortalama yıllık sediment verimi için makul tahminler elde edilememesinin önemli bir sebebi, saha verilerinden türetilen ilişkilerin gelecek koşullar için uygunluğunun dikkate alınmadan uygulamaya konulmasıdır. Arazi kullanımının, sediment verimi üzerinde değişen etkisi literatürde kapsamlı olarak ele alınmıştır (örn., Harden, 1993; Garcia-Ruiz vd., 1995; Lu ve Higgitt, 1998). Benzer şekilde, iklim ve akım değişkenliği de sediment birikiminde ya da veriminde değişimlere sebep olmaktadır (örneğin, Bathurst vd., 1996; Valero-Garces vd., 1999). Sediment verimi tahminlerindeki önemli bir etken de seyrek verilere dayanan sediment konsantrasyonu-su deşarj ilişkileridir. Bu ilişkilerdeki non-linear (doğrusal olmayan) ve non-stasyonel (durağan olmayan) yapı, bunların kullanımının yüksek riskli olmasına sebep olmaktadır. Sediment taşıma kapasitesi, iklimsel değişkenlere ve sediment kaynağı olarak gözönüne alınan arazilerin işletim şartlarına göre de değişmektedir. Bununla birlikte, son çalışmalar, nehir kıyı koşullarının ve erozyonunun da sediment taşınımında önemli bir rol oynadığını hatta bazı durumlarda diğer sediment kaynaklarından da önemli olduğunu göstermiştir (Walling ve Woodward, 1995; Walling vd., 1999; Carter vd., 2003; Gruszowski vd., 2003). Bu kaynaklar nadiren harekete geçebilmektedir ve nehir kıyılarından toplanan malzemeler daha önce nehir sistemi tarafından biriktirilmiş olabilir. Bu nedenle sediment verimi tahminlerinde göz önüne alınan zaman aralığı geniş tutulmalıdır. Nehir morfolojisi ile sediment verimi arasındaki ilişki genellikle sediment verimi modellemesinde ele alınmamakla birlikte daha iyi tahminler yapmak için temel teşkil edebilmektedir. Sediment verimi

modellemesinde bir diğer zorluk da sediment şekilleri, boyutları ve yoğunluklarının doğru biçimde tanımlanmasıdır. Genel olarak bu değişkenlik, bir ölçüm noktasının membaında kalan havzanın zemin cinsiyle tanımlanmakta, ancak insanlar tarafından yapılan faaliyetler taşınan parçacık yapısını ve / veya sediment boyut aralığını değiştirebilmektedir. Örneğin ormanlar kesildiğinde, mera alanları sürüldüğünde, maden atıkları atıldığında veya yeni bir kentsel alan için beton döküldüğünde, doğanın taşıma dengesi ve dolayısıyla taşınabilen farklı sediment parçacıklarının oranları değişmektedir.

Yukarıda sıralanan zorluklarla birlikte incelenen sürecin doğal karmaşıklığı, mekânsal heterojenliği ve mevcut verilerin eksikliği, özellikle 30km² den büyük havzalar için, makul sonuçlar veren bir model geliştirmeyi neredeyse imkânsız hale getirmektedir. (Jakeman vd., 1999; Wasson, 2002).

Bahsedilen modelleme çalışmalarının yanında, sediment verimi haritaları, bir drenaj havzasındaki sediment kaynaklarının bölgesel değişkenliğini ve havzanın bölümlerinin rölatif katkılarındaki zamansal değişimleri göstermek amacıyla kullanılmaktadır. Gerek global gerekse de bölgesel ölçekte sediment verimini haritalarla elde etmeye yönelik bir dizi çalışma bulunmaktadır (Fournier, 1960; Strakhov, 1967;

Milliman ve Meade, 1983; Walling ve Webb, 1983; Jansson, 1988; Ludwig ve Probst, 1998; Neil ve Mazari, 1993; Stone ve Saunderson, 1996; Lu vd., 2003)

Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de bulunan 114 adet havzanın sediment ölçümleri kullanılarak sediment verimlerinin alansal değişimini gösteren “sediment verimi haritası” hazırlanmıştır. Bu harita yardımıyla hem yukarıda bahsedilen modelleme zorluklarından ya da imkânsızlıklarından kaçınılacak hem de herhangi bir ölçümü bulunmayan bir proje noktasında dahi sediment verimiyle ilgili güvenilir bir bilgiye ulaşılabilecektir.

Veri

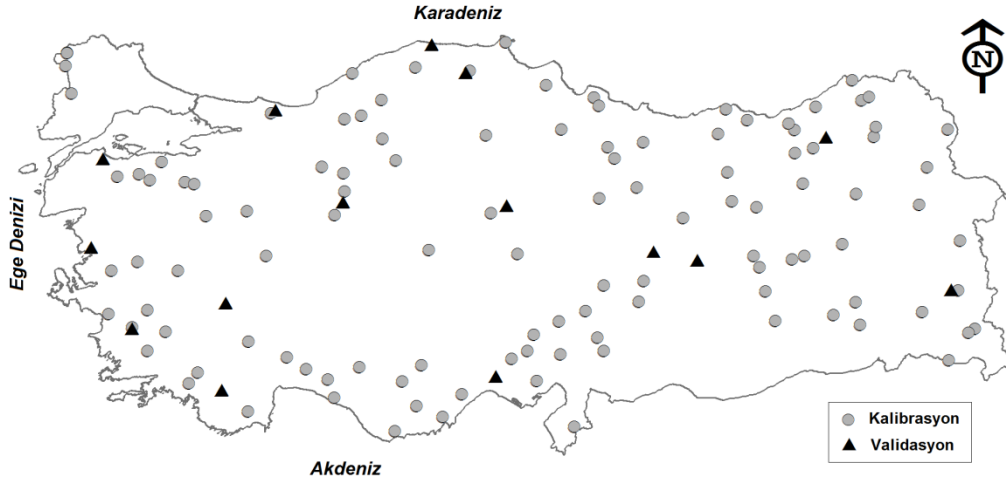
Sediment verimi haritası için Türkiye akarsu havzalarındaki süspansediment gözlem istasyonlarına ait uzun yıllar ortalama değerleri kullanılmıştır. Veri ölçüm yılı 15 yıl ve üstü olan 114 gözlem istasyonunun verisinden yararlanılmıştır. En eski veri yılı 1961 olup en yeni gözlem yılı 2012’ye aittir. Veri gözlem periyodu 15 ile 52 yıl arasında değişmektedir. Haritalandırma kullanılan ikincil veri ortalama yıllık debi ise her bir istasyon için Devlet Su İşlerinden temin edilmiştir (<http://rasatlar.dsi.gov.tr/>). Sediment verimi ve debi gözlemlerine ait bazı istatistiksel bilgiler Tablo 1’de verilmiş olup gözlem istasyonlarının konumları Şekil 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Ham sediment verimi ve debi verisi ile logaritmik dönüşüm uygulanmış verilere ait istatistiksel bilgiler

	Sediment verimi (m ³ /yıl/km ²)		Debi (m ³ /s)	
	Ham veri	Logaritmik dönüşüm uygulanmış veri	Ham veri	Logaritmik dönüşüm uygulanmış veri
Veri sayısı	114	114	114	114
Ortalama	93.46	3.99	55.3	3.10
Standart sapma	97.51	1.16	110.0	1.37
Çarpıklık	1.95	-0.58	5.33	0.00
Basıklık	7.03	3.42	35.35	2.82

Yöntemin validasyonu için gözlem periyodu 10 ile 15 arasında değişen 15 istasyonun sediment

verimi verisi kullanılmıştır. Söz konusu gözlem istasyonları da Şekil 1’de ayrıca verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan gözlem istasyonlarının konumları

Yöntem

Sediment veriminin haritalandırılmasında jeostatistik yöntemlerden olan Kriging kullanılmıştır. Kriging ilk kez D.G. Krige tarafından kullanılmıştır. Bu teknik başlangıçta yer bilimleri uygulamaları için geliştirilmiş olup günümüzde çeşitli hidrolojik parametrelerin haritalanmasında da sıkça kullanılmaktadır.

Yöntem bilinen ölçüm noktalarından bilinmeyen noktaların bir yarı varyogram yardımıyla hesaplanması esasına dayanır. x_1, x_2, \dots, x_n örnek (istasyon) noktaları ve bu noktalardaki verim değerleri $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ olarak, $Z(x_o)$ ise hesaplanmak istenen verim değeri olarak düşünülürse; $Z(x_o)$ değeri etrafında konumlanmış n adet bilinen verim değerinin ağırlıklı bir kombinasyonu olarak yazılabilir (Denklem 1).

$$Z^*(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

Denklem 1'de λ_i ; ağırlıkları, $Z^*(x_o)$ ise $Z(x_o)$ değerinin tarafsız (unbiased) halini temsil etmektedir ve bu farkın beklenen değerinin sıfır olması gerekmektedir. Yine aynı şekilde bu farkın kestirilen varyansının beklenen değeri ise minimum olmaktadır.

En uygun λ_i ağırlıklarının belirlenmesi Denklem 2'de gösterilen doğru sisteminin çözülmesiyle elde edilir ki bu sisteme Kriging adı verilmektedir.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_j) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

Burada $\gamma(h)$ yarı varyogram ve ise Lagrange çarpanıdır. Yarı varyogram $\gamma(h)$;

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(x+h) - Z(x)) \quad (3)$$

olarak tanımlanmaktadır. h iki örnek noktası arasındaki mesafeyi göstermektedir (zaman zaman lag olarak da adlandırılır), $\text{var}()$ ise varyansı temsil etmektedir (Karnieli, 1990). Özet olarak, Kriging yönteminde en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konum bağımlılığının bilinmesi gerekmektedir. Bu konum bağımlılığı ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir varyogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir.

Varyogram, uzayda farklı noktalardaki değişkenler arasındaki var olan bağımlılığı karakterize eden bir fonksiyondur. Kriging ağırlıkları ise varyogram modelinin doğrudan bir fonksiyonudur. Herhangi bir çalışma bölgesinde enterpolasyon olarak kriging kullanılacaksa bu

durumda seçilen varyogram modeline ait parametreler bilinmeli ya da çalışma bölgesinde bulunan verilerden yararlanarak deneysel varyogram modeli oluşturulmalıdır. Elde edilen bu deneysel varyogram modelinden yararlanarak teorik modele ait bilinmeyen parametreler belirlenmelidir (İnal ve Yiğit, 2003).

Varyogram deneysel olarak oluşturulabileceği gibi (yani belli uzaklıklar için varyogram değerlerinin hesaplanması) teorik varyogram modellerinden de yararlanılabilir. Bu modeller doğrusal, üssel, küresel, Gaussian vb. olabilir. Belli uzaklıklar için yarı varyogramlar hesaplandıktan sonra λ_i ağırlıkları hesaplanmakta ve bilinmeyen noktanın verim değeri bulunmuş olmaktadır.

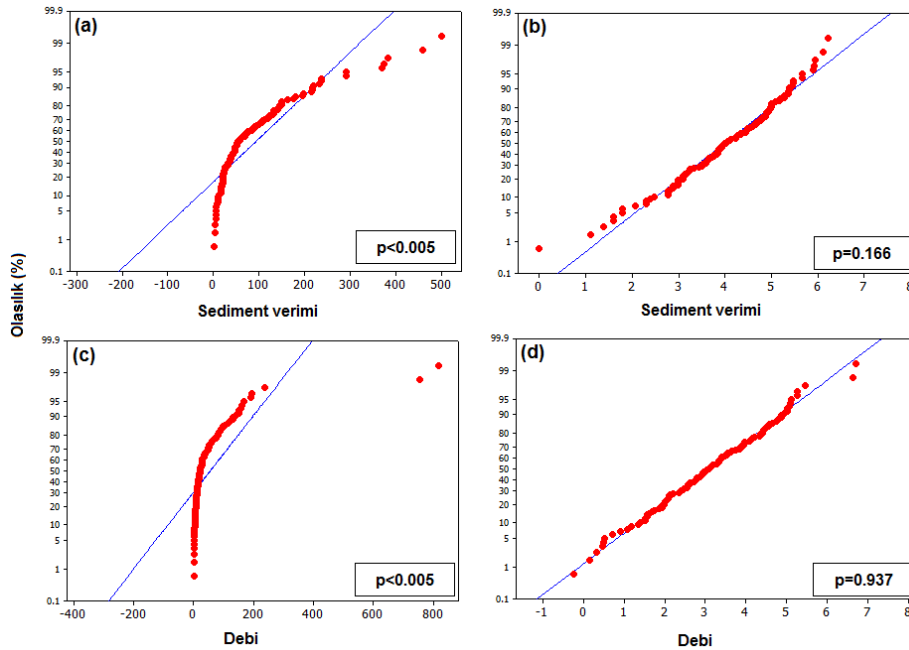
Günümüzde kriging yönteminin Basit (Simple) Kriging, Düzenli (Ordinary) Kriging, Genelleştirilmiş (Universal) Kriging, Co-kriging vb. türleri yaygınca kullanılmaktadır. Ordinary Kriging yönteminde değişken ortalamasının bilinmediği, Simple Krigingte ise ortalamanın bilindiği ve sabit olduğu varsayımına göre çözüme gidilir. Verilerin bir trend göstermesi ve bu trendin de hesaba katılarak Kriging sisteminin çözümlenmesi Universal Kriging olarak

adlandırılır. Co-kriging yöntemi “ordinary kriging” yönteminin bir uzantısıdır ve iki ya da daha çok değişken arasındaki mekansal korelasyonu göz önünde bulundurarak enterpolasyon yapar.

Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada ortalama yıllık debi ile sediment verimi arasındaki mekansal ilişki esas alınarak Co-kriging yöntemi kullanılmıştır. Kriging yöntemi, Gauss istatistiklerine dayalı olduğundan, kullanılan verilerin normal dağılıma uyduğunu varsayar. Veri dağılımı önemli ölçüde çarpık ise, logaritmik dönüşüm gibi bazı dönüşümler veriyi normal dağılıma yaklaştırır (Kraehmer, 2016). Normal dağılımlı olmayan veriler kesitirimden kaynaklanan hata payını artırır.

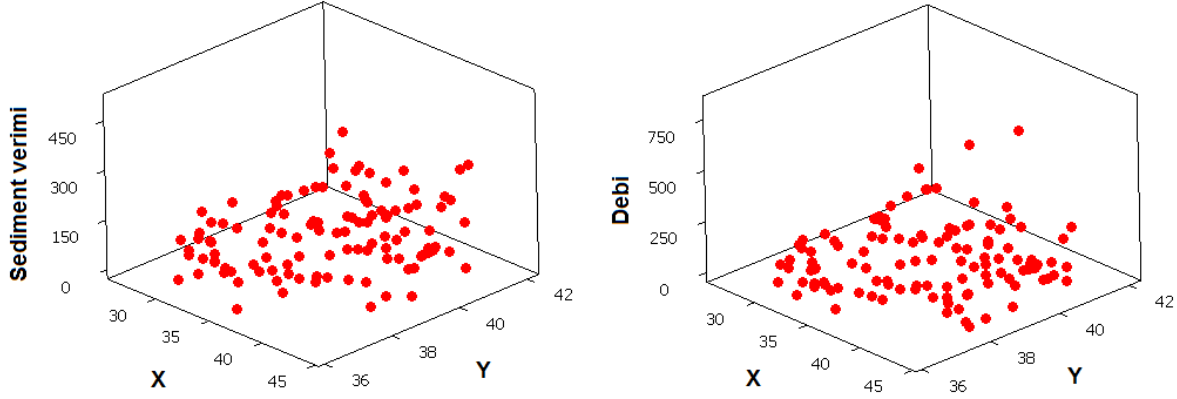
Çalışmada kullanılan ham veri ile logaritmik dönüşüm uygulanmış veriye ait istatistiki bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Gerek sediment verimi gerekse debi için dönüştürülmüş verilerin çarpıklığı sıfıra yakın veya eşit, basıklığı ise 3’e yaklaşmıştır. Şekil 2’de verilen Q-Q grafiklerine göre logaritmik dönüşüm veri dağılımını normalleştirmiştir.



Şekil 2. Q-Q Grafikleri; sediment verimi (a) ham veri, (b) logaritmik dönüşüm uygulanmış veri; debi (c) ham veri, (d) logaritmik dönüşüm uygulanmış veri

Verilerin mekânsal trendi ise Şekil 3'te görülmektedir. Veride trend gözlenmesi durumunda ham veriden trendin çıkarılmasıyla elde edilen kalan terimlerin varyogramına en iyi modelin (doğrusal, üssel, küresel, Gaussian vb.) uydurulması gerekir. Ancak Şekil 3'ten

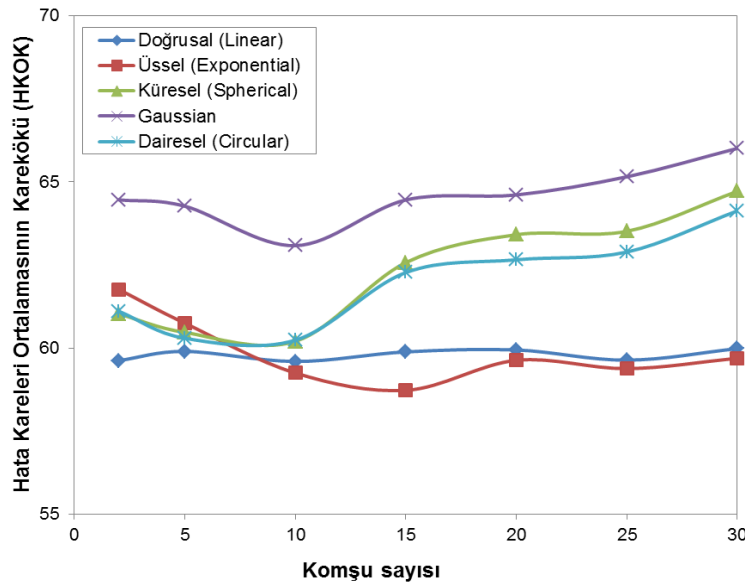
anlaşılacağı üzere gerek verim gerekse debi için kuzey-güney veya doğu-batı yönünde net bir trend izlenmemektedir. Bu nedenle çalışmada verilerin trendi göz önüne alınmamıştır.



Şekil 3. Ham verilerin mekânsal dağılımı

Co-kriging kullanılarak oluşturulan sediment verimi haritası için deneysel varyogramı temsil edebilecek en iyi teorik model için yöntemde sıkça kullanılan doğrusal, üssel, küresel, Gaussian ve dairesel modelleri seçilmiştir. Şekil 4, her bir model için, tahmini yapılacak nokta hesabında kullanılan komşuluk sayısına göre

çapraz doğrulama işlemi sonucunda elde edilen Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (HKOK) değerlerini göstermektedir. Sediment verimi için en düşük HKOK değerini veren üssel teorik modelin 15 komşu sayısına göre en uygun model oluşu belirlenmiştir.



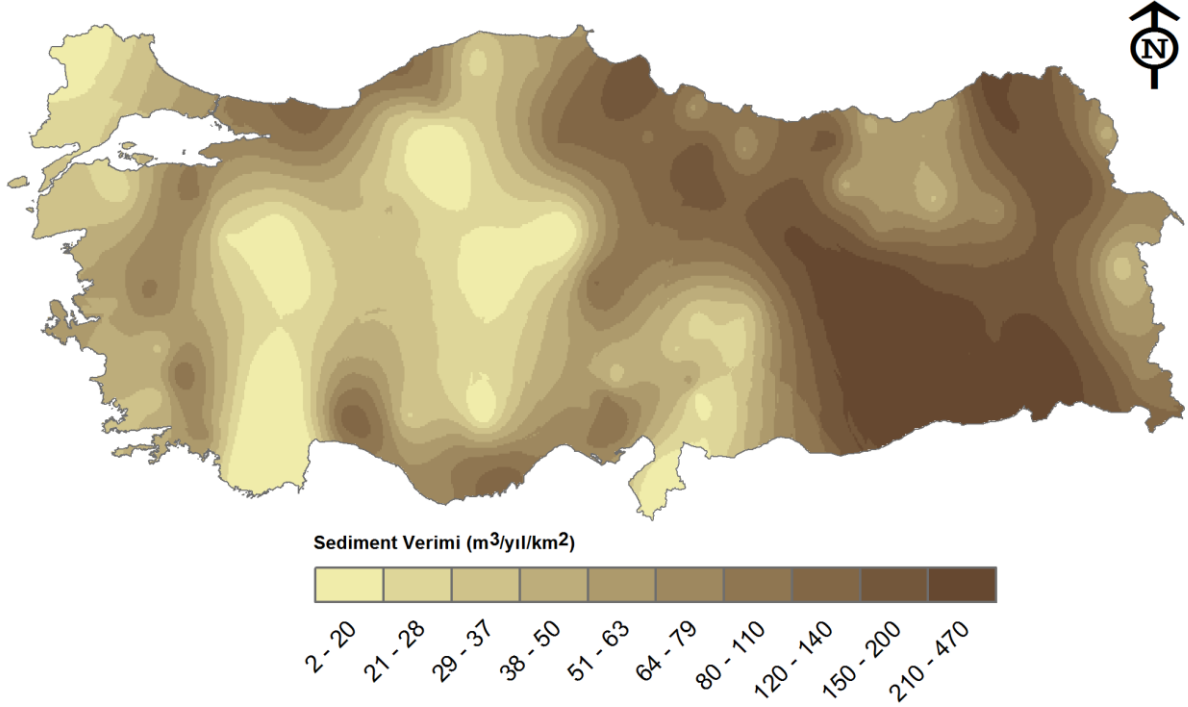
Şekil 4. Farklı varyogram modellerinin komşuluk sayılarına göre HKOK değerleri

Üssel teorik model ve 15 komşu sayısı kullanılarak çıkarılan sediment verimi haritası

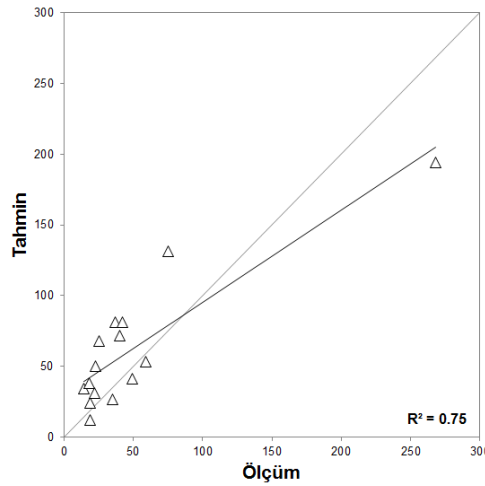
Şekil 5'te verilmiştir. Validasyon aşaması için korelasyon katsayısı 0.81 olarak hesaplanmıştır.

Haritanın validasyonu, kalibrasyon aşamasında kullanılmayan 15 adet gözlem istasyonunun verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu 15 adet istasyona ait ölçüm ve oluşturulan haritadan çıkarılan tahmin sonuçlarına ait saçılma grafiği

ise Şekil 6'da görülmektedir. Buna göre validasyon aşamasına ait korelasyon katsayısı yaklaşık 0.87 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Sediment verimi haritası



Şekil 6. Sediment verimi verisinin ölçüm-tahmin saçılma diyagramı (Validasyon)

Validasyona ait saçılma diyagramında da anlaşılacağı üzere ülkemizdeki sediment verimi oldukça değişken olup çalışmada kullanılan 114 istasyonun sediment verimi verisi yaklaşık 1 ile 500 m³/yıl/km² arasında değişmektedir. Bu oran süspansediment veriminin tahminini zorlaştırmakta ve kullanılacak yöntemlere dahil

edilecek değişken/parametre sayısını arttırmaktadır. Öte yandan akarsularda taşınan sedimentin %50-95 arası süspansediment (Yanmaz, 1997) olduğundan, doğru şekilde belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenle, sediment miktarının tahmininde analitik yöntemler yerine uzun süreli ölçüm

sonuçlarından yararlanılması daha güvenli bir yol olmaktadır (Miller, 1951).

Ülkemizde havza bazında sediment veriminin hesabı için çeşitli ampirik yöntemler kullanılsa da söz konusu yöntemlerin birbirinden çok farklı sonuçlar verdiği görülmüştür (Aksu ve Uçan, 2012). Mevcut gözlemler yardımıyla çıkarılan harita ile kullanıcıya verim ölçümü olmayan noktadaki en doğru tahmin değeri kısa sürede sağlanmış olacaktır.

Sonuçlar ve Tartışma

Akarsuların taşıdığı sediment birikiminin sonucunda barajlar gibi depolama tesislerinin ömrü kısalmakta; taşkın önleme, hidroelektrik enerji üretimi, sulama, içme suyu temini ve rekreasyon gibi süreçler olumsuz olarak etkilenmekte ve ek maliyetler oluşmaktadır.

Sediment miktarı üzerinde jeolojik, topoğrafik ve klimatolojik ve benzeri pek çok faktör etkili olduğundan ampirik yöntemlerin kullanılmasıyla oldukça farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu bakımdan ampirik yöntemler yerine ölçümlere dayanan tahminlerin kullanılması daha gerçekçi olmaktadır. Bu çalışma ile mevcut gözlemler yardımıyla elde edilen sediment verimi haritası, kullanıcıya sediment ölçümü olmayan bir noktadaki en doğru tahmin değerini pratik bir biçimde sağlamış olacaktır.

Kaynaklar

- Aksu, N. ve Uçan, K. (2012). Hurman Çayı havzasında ölçülen ve ampirik yöntemlerle hesaplanan sediment verimlerinin karşılaştırılması, *KSU Doğa Bil. Dergisi*, **15**(3), 1-8.
- Arekhi, S., Shabani, A. ve Alavipanah, S.K. (2011). Evaluation of integrated KW-GIUH and MUSLE models to predict sediment yield using Geographic Information System (GIS) (Case Study: Kengir Watershed, Iran), *African Journal of Agricultural Research*, **6**(18), 4185-4198.
- Arekhi, S. (2008). Evaluating long-term annual sediment yield estimating potential of GIS interfaced MUSLE model on two micro-watersheds, *Pak J. Biol. Sci.*, **1**(2), 270-4.

- Aybaş, M.C. (1976). *Beytepe Kompleks Havzasında Sediment Verimi Araştırması*, Ankara, (Basılmamış).
- Bathurst, J.C., Kilsby, C.G. ve White, S.M. (1996). *Modelling the impacts of climate and land use change on basin hydrology and soil erosion in Mediterranean Europe* in Thornes J.B. ve Brandt C.J. , eds, *Mediterranean Desertification and Land Use.*, Wiley, 355-387.
- Birkinshaw, S.J. ve Bathurst, J.C. (2006). Model study of the relationship between sediment yield and river basin area, *Earth Surface Processes and Landforms*, **31**(6), 750- 761
- Blaszczynski, J. (2003). Estimating watershed runoff and sediment yield using a GIS interface to curve number and MUSLE models, *Soils and Geology, Resources Notes*, 66.
- Buendia, C., Herrero, A., Sabater, S. ve Batalla, R.J. (2016). An appraisal of the sediment yield in western Mediterranean river basins, *Science of the Total Environment*, **572**, 538-553.
- Bussi, G., Rodriguez-Lloveras, X., Frances, F., Benito, G., Sanchez-Moya, Y. ve Sopena, A. (2013). Sediment yield model implementation based on check dam infill stratigraphy in a semiarid Mediterranean catchment, *Hydrology and Earth System Sciences*, **17**, 3339-3354.
- Carter, J., Owens, P.N., Walling, D.E. ve Leeks, G.J.L. (2003). Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system, *Science of the Total Environment*, **314-316**, 513-534.
- Dedkov, A. (2004). The relationship between sediment yield and drainage basin area in Golosov, V., Belyaev, V. ve Walling, D.E., eds, *Sediment Transfer through the Fluvial System*, IAHS Publication 288, 197-204, Wallingford, Oxon, UK.
- Demirkıran, O. (2007). Ankara Yenimahalle Güvenç Gölet Havzası sediment verimi, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Ankara, Proje No: TAGEM-BBTOPRAKSU-2007/48.
- de Vente, J. ve Poesen, J. (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models, *Earth-Science Reviews*, **71**, 95-125
- Erksine, W.D., Mahmoudzadeh, A. ve Myers, C. (2002). Land Use Effects on Sediment Yields and Soil Loss Rates in Small Basins of Triassic Sandstone Near, *Catena*, **49**, 271-287.
- Fournier, F. (1960). *Climat et Erosion*, 201, P.U.F., Paris.

- Garcia-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Marti, C., Gonzalez, C., White, S.M., Ortigosa, L. ve Ruiz Flano P. (1995). Changes in runoff and erosion as a consequence of land-use changes in the central Spanish Pyrenees, *Physics and Chemistry of the Earth*, **20**, 301–307.
- Goksu, E., Uygun, İ., Alışık, A. ve Barlas, S. (1979). Türkiye akarsularında sediment verimi ve sediment taşıma miktarları ile havza parametreleri arasındaki ilişkiler, *Bildiriler*, I.Ulusal Hidroloji Kongresi, İTÜ, İstanbul.
- Grauso, S., Fattoruso, G., Crocetti, C. ve Montanari, A. (2008). Estimating the suspended sediment yield in a river network by means of geomorphic parameters and regression relationships, *Hydrology and Earth System Sciences*, **12**, 177-191.
- Gruszowski, K.E., Foster, I.D.L., Les, J.A. ve Charlesworth, S.M. (2003). Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK, *Hydrological Processes*, **17**, 2665–2681.
- Harden, C.P. (1993). Land-use, soil-erosion and reservoir sedimentation in an Andean drainage-basin in Ecuador, *Mountain Research and Development*, **13**, 177–184.
- İrvem, A. ve Tülücü, K. (2004). Coğrafi bilgi sistemi ile toprak kaybı ve sediment verimi tahmin modelinin oluşturulması ve seyhan-körkün alt havzasına uygulanması, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **13** (1).
- Jackson, W.L., Gebhardt K. ve Van Haveren B.P. (1986). Use of modified universal soil loss equation for average annual sediment yield estimates on small rangeland drainage basins in R.F. Hadley, *ed.*, *Drainage basin sediment delivery*, IAHS Publication 159, 413-422, Washington D.C.
- Jakeman, A.J., Green, T.R., Beavis, S.G., Zhang, L., Dietrich, C.R. ve Crapper, P.F. (1999). Modelling upland and in-stream erosion, sediment and phosphorus transport in a large catchment, *Hydrological Processes*, **13**(5), 745– 752.
- Jansson, M.B. (1988). A Global Survey of Sediment Yield, *Physical Geography*, **70**(1/2), 81-98.
- Jinfa, L. ve Xiuhua, H. (2004). The relationship between sediment yield and catchment characteristics in the middle Yellow River basin of China in Golosov, V., Belyaev, V. ve Walling, D.E., *eds*, *Sediment Transfer through the Fluvial System*, IAHS Publication 288, 212–219, Wallingford, Oxon, UK.
- Jiongxin, X, Yunxia, Y. (2005). Scale effects on specific sediment yield in the Yellow River basin and geomorphological explanations, *Journal of Hydrology*, **307**, 219- 232.
- Kraehmer, H., *ed*, (2016). Atlas of Weed Mapping, John Wiley and Sons. 488p.
- Koç, G. (2014). Modifiye edilmiş universal toprak kayıpları eşitliği (MUSLE) kullanılarak Tarsus (Mersin)–Topçu Deresi alt havzasında erozyon potansiyelinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kuşvuran, K. (2011). Mersin – Tarsus Topçu Deresi Havzasında Yağış, Akım ve Alt Havzasında Sediment Veriminin Araştırılması, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Toprak ve Su Kaynakları Tarsus Araştırma Enstitüsü, Proje No: TAGEM-BB-TOPRAKSU-2011/125.
- Lu, X.X. ve Higgitt, D.L. (1998). Recent changes in sediment yield in the Upper Yangtze, China, *Environmental Management*, **22**, 697–709.
- Lu, X.X., Ashmore, P. ve Wang, J. (2003). Sediment yield mapping in a large river basin: the Upper Yangtze, *China Environmental Modelling and Software*, **18**, 339–353.
- Ludwig, W. ve Probst, J.L. (1998). River sediment discharge to the oceans: present-day controls and global budgets, *American Journal of Science*, **298**, 265–295.
- Miller, C.B. (1951). Analysis of flow–duration, sediment- rating curver method of computing sediment yield, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation Sedimentation, Denver, Colorado.
- Milliman, J.D. ve Meade, R.H. (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans, *Journal of Geology*, **91**, 1–21
- Neil, D.T., Mazari, R.K. (1993). “Sediment yield mapping using small dam sedimentation surveys, Southern Tablelands, New South Wales”, *Catena*, **20**: 13–25.
- Ozturk, F. (1996). Suspended sediment yields of rivers in Turkey in Walling, D.E. ve Webb, B.W., *eds.*, *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives* (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996), IAHS Publ. no. 236, 65– 71.
- Oğuz, İ. ve Balçın, M. (2001). Artova Ekinli II Golet Havzası Sediment Verimi, Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, (Ara Rapor 1982– 2001), Tokat, 35s.
- Phillips, J. (2003). Alluvial storage and the long-term stability of sediment yields, *Basin Research*, **15**, 153– 163.
- Renard, K.G. ve J.J. Stone. (1982). Sediment yield from small semiarid Rangeland watersheds, *Proceedings*, Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands, Tucson, AZ,

- USDA. ARS Agricultural Reviews and Manuals ARM-W-26, June 1982, 129–144.
- Renwick, W.H., Smith, S.V., Bartley, J.D. ve Buddemeier, R.W. (2005). The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States, *Dams in Geomorphology*, **71** (1-2), 99-111.
- Sadeghi, S.H.R. (2004). Application of Musle in prediction of sediment yield in Iranian conditions, *Proceedings, ISCO2004-13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane*.
- Sadeghi, S.H.R. ve Mizuyama, T. (2010). Applicability of the modified universal soil loss equation for prediction of sediment yield in Khanmirza Watershed, Iran, *Hydrological Sciences Journal*, **52**(5), 1068-1075.
- Sevinç, A.N. ve Dutluca, I. (1985). Gölet Havzası sediment verimi araştırması, Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:193, Rapor Serisi No: 146, Eskişehir.
- Sevinç, A.N. (1990). Eskişehir – Sivrihisar – Mercan Köyü Yağrı Göleti Havzası sediment veriminin araştırılması, Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:214, Rapor Serisi No: 164, Eskişehir.
- Smith, S.J., Williams, J.R., Menzel, R.G., Coleman, G.A. (1984). Prediction of sediment yield from southern plains grasslands with the modified universal soil loss equation, *Journal of Range Management*, **37**(4), 295-297.
- Stone, M. ve Saunderson, H.C. (1996). Regional patterns of sediment yield in the Laurentian Great Lakes basin in Walling, D.E. ve Webb, B.W., eds, *Erosion and Sediment Yield, Global and Regional Perspectives* (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996), IAHS Publ. no. 236, 125–131.
- Strakhov, N.M. (1967). *Principles of Lithogenesis*, Vol. 1, 245. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Valero-Garcés, B.L., Navas, A., Machin, J., ve Walling, D. (1999). Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the central Spanish Pyrenees, *Geomorphology*, **28**, 23–41.
- Verstraeten, G., Poesen, J., de Vente, J. ve Koninckx, X. (2003). Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates, *Geomorphology*, **50**(4), 327–348.
- Walling, D.E. ve Woodward, J.C. (1995). Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK, *Journal of Marine and Freshwater Research*, **46**, 327–336.
- Walling, D.E., Owens, P.N. ve Leeks, G.J.L. (1999). Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK, *Hydrological Processes*, **13**, 955–975.
- Woida, K., Moines, D. ve Clark, K.B. (2001). A GIS application of PSIAC for predicting sediment-yield rates, *Proceedings, 7th Federal Interagency Sedimentation Conference*. X-25– X-32, Reno, NV.
- White, S. (2005). Sediment yield prediction and modelling, *Hydrological Processes*, **19**, 3053–3057.
- Walling, D.E., Webb, B.W. (1983). Patterns of sediment yield in Gregory, K.J., ed, *Background to Palaeohydrology*, John Wiley and Sons, 69–100.
- Wasson, R.J. (2002). What approach to the modelling of catchment scale erosion and sediment transport should be adopted? in Summer, W. ve Walling, D.E., eds, *Modelling Erosion, Sediment Transport and Sediment Yield*, IHP-VI Technical Documents in Hydrology, UNESCO, 1 – 11, Paris.
- Williams, J.R. ve Berndt, H.D. (1972). Sediment yield computed with universal equation, *Journal of the Hydraulics Div., ASCE*, **98**, HY6.
- Yanmaz, M. (1997). *Applied Water Resources Engineering*, METU Press. Ankara.
- Zhang, Y., Degroote, J., Wolter, C. ve Sugurmaran R. (2009). Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk, *Land Degradation and Development*, **20**, 84 – 91.

Spatial variability of sediment yield in Turkish basins

Extended abstract

Sediment yield can be defined as the amount of sediment measured at a reference point for a given time period. Sediment yield estimates are normally given as tones per year or kilograms per year.

Sediment yield can vary widely from year to year with the variation of climate and land use/management. Therefore, prediction of sediment yield is a complex process involving erosion, sediment transport, and deposition processes often from a complex topography.

Modeling studies to estimate sediment yield are generally grouped into four main groups:

- *Empirical models based on broad basin and climate characteristics derived from known basin characteristics of sediment yield equations*
- *Soil erosion and sediment yield approaches.*
- *Physical-based or physical distributed basin modeling approaches.*
- *Models that relate sediment concentration or sediment load to stream flow.*

The suspended portion of sediment is predominant and commonly account for about 50-90% of the total sediment flux. Increment of suspended sediment which is a natural part of river systems causes environmental problems. On the other hand, it is of great importance to know the amount of suspended sediment transported to water structures and / or irrigation facilities during their planned lifetime. The amount of suspended sediment transported is used in the design of such facilities, thus minimizing sedimentation losses.

Traditional regression model has been generally performed for suspended sediment yield estimation using observations from gauging stations in Turkey. Regression model is based on the relationship between flow rate and sediment. This method can be applied to predict suspended sediment with the known discharge information. However, there are limited streamflow gauging stations in the country. In order to predict suspended sediment in ungauged basins, various basin-based empirical methods have been used but these methods have very different results.

To accurately estimate basin-based sediment amount, it is aimed to prepare sediment yield map by using suspended sediment measurements obtained from State Hydraulic Works. Since the relationship between the amount of sediment and flow rate is known, the flow rate is considered as secondary data and sediment yield is mapped by Co-kriging method. Kriging is one of the most commonly used geostatistical method and was originally developed for geosciences applications. Recently, it has been frequently used for mapping various hydrological parameters. The cokriging estimate is a linear combination of both primary and secondary data values and the development of the cokriging is identical to the development of the ordinary kriging system.

Data were collected from 114 observation stations with a measurement year of 15 years or more. The oldest observations belong to 1961 and the latest observation year is 2012. Data observation period varies between 15 and 52 years. The sediment yield data of 114 stations used in the study varies between approximately 2 and 681 ton/year/km². This makes it difficult to estimate the suspended sediment yield and increases the number of variables/parameters to be included in the methods. On the other hand, since the sediment carried in the rivers is 50-95% of suspended type. For this reason, it is more suitable to use long-term measurements instead of analytical methods in predicting the sediment amount

For the validation of the method, sediment yield data of 15 stations were used. The correlation coefficient of the validation is found to be approximately 0.85.

The map showing the spatial variation of the sediment yield was evaluated with the calibration and validation stages and satisfactory results were obtained. Thus, sediment yield can be estimated at a project site where there is no suspended sediment measurement.

Keywords: *Suspended sediment, sediment yield, spatial variability, Co-kriging*