

KIRSAL PEYZAJDA REGRESYON KRİĞİNG YÖNTEMİ İLE TOPRAK ORGANİK KARBONUNUN MODELLENMESİ*

Dr. Öğr. Üyesi Merve ERSOY MİRİCİ^{1}, Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU², Doç. Dr. Pınar BOSTAN, Doç. Dr. Anıl AKIN TANRIOVER*

¹Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 16330, Yıldırım, Bursa, merve.mirici@btu.edu.tr

²Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü 01330, Adana, suha@cu.edu.tr

³Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, pınaraslantas@yvu.edu.tr

³Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 16330, Yıldırım, Bursa, anil.tanriover@btu.edu.tr

ÖZET

Endüstrileşme, ulaşım, kentleşme, doğal peyzajların tahribi karasal karbon stoklarının ve rezervlerinin azalmasına ve karbon emisyonlarının atmosferde birikmesine yol açmaktadır. Antropojen etki ile atmosferde biriken sera gazları Dünya, Güneş ve uzay arasındaki enerji dengesini değişime uğratarak küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliği etkilerinin azaltılması amacıyla karasal karbon havuzlarının modellenmesi ekosistem ürün ve hizmetlerinin belirlenmesine büyük ölçüde hizmet etmektedir. Dünyadaki en büyük organik karbon depoları olarak kabul edilen topraklar (pedolojik havuz) karasal ekosisteme ait karbon havuzlarının yaklaşık %50-75'ini oluşturmaktadır. Toprak havuzundaki artış toprakta karbon tutulumunu sağlayarak iklim değişikliğini azaltma veya adaptasyon konusundaki en önemli ekosistem hizmetlerinden biridir. İklim düzenleme hizmeti kategorinde yer alan karbon depolama hizmeti bu çalışmada Türkiye'nin Güney Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Yukarı Seyhan Havzası'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada toprak organik karbonunun modellenmesi; (i) toprak örneklerinin toplanması, (ii) Walkley Black yöntemine göre kimyasal analizlerin yapılması, (iii) kimyasal analiz çıktılarının tanımlayıcı istatistiklerinin belirlenmesi ve normallik testlerinin uygulanması, (iv) toprak karbon örnekleri ve yardımcı/çevresel değişkenler arasındaki ilişkilerin Pearson's korelasyon analizi ile belirlenmesi, (v) regresyon modellerinin uygulanması, (vi) semivariogram analiz bulgularının üretilmesi, (vii) RK tekniğinin uygulanarak TOK (%) haritasının modelleme sonuçları üretilmesi ve (viii) doğruluk analizi, ME ve RMSE katsayılarının hesaplanması aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre 0-30 cm derinlikteki toprakta toplam 61.637 TgC depolandığı tahmin edilmiştir. Buna ek olarak en yüksek TOK içeriği (MgCha^{-1}) ortalamasını sahip Lithic Leptosol ve Leptosol Cambisol sınıfında belirlenmiştir.

Toprakta artış gösteren karbon miktarı yükseldikçe toprakta biriken karbon yutaklarında olası bir artış söz konusudur. Bu özellikleri ile atmosfer havuzundan karasal ekosisteme bağlanan karbon mekanizması hem ekosistem verimliliğinin artması yönünde olumlu etki sağlarken aynı zamanda küresel iklim değişikliği ve bu değişikliğin ekonomik zararlarının azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Toprak Organik Karbonu (TOK), Regresyon Kriging (RK), modelleme, küresel iklim değişikliği, ekosistem hizmetleri

ABSTRACT

MODELING SOIL ORGANIC CARBON THROUGH REGRESSION KRIGING ON RURAL LANDSCAPE

Industrialization, transportation, urbanization and degradation on natural landscape lead to decrease terrestrial carbon stock and reserve and accumulating atmospheric carbon emission. To accumulate in the atmosphere the greenhouse gasses with anthropogenic effect cause global climate that changes the energy balance between Earth, Sun, and Space. The terrestrial carbon pool/sink modeling is service mitigation climate change though ecosystem good and services. This modeling gives service mitigation climate change policy though ecosystem good and services. Soil is the biggest organic carbon pool that constitutes 50-75% of all terrestrial pools. Increment on the soil sink that is provide carbon sequestration in the soil are most important one of ecosystem goods and services which are contributes to mitigation and adaptation of climate change. In this study was conducted in Upper Seyhan Basin where Eastern Mediterranean Region in Turkey.

In this study modeling of soil organic carbon map; (i) collecting of soil sample, (ii) making the chemical analyses according to Walkley Black method, (iii) determining of descriptive statistics of chemical outputs and applying normalcy test, (iv) determining with Pearson correlation coefficient in relationship between soil carbon samples and auxiliary variables, (v) applying regression model, (vi) generating the finding of semivariogram analysis, (vii) estimating of SOC (%) output model via RK technique, (viii) validation processes are being. According to the results of the study, it was estimated that a total of 61,637 TgC was stored in the soil at a depth of 0-30 cm. In addition, it was determined in the Lithic Leptosol and Leptosol Cambisol classes with the highest SOC content (MgCha^{-1}) average.

As the amount of carbon that increases in the soil increases, there is a possible increase in the carbon sinks accumulated in the soil. With these features, the carbon mechanism, which is connected to the terrestrial ecosystem from the atmospheric pool, not only has a

*Bu bildiri başlıca yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

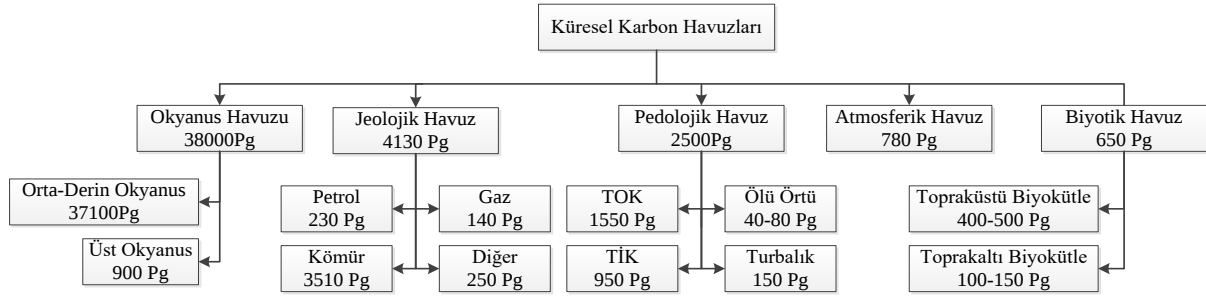
positive effect on the increase of ecosystem productivity, but also contributes to the reduction of global climate change and the economic damage of this change.

Keywords: Soil Organic Carbon (SOC), Regression Kriging (RK), modeling, global climate change, ecosystem services

1. GİRİŞ

Etkileşim içindeki farklı ekosistemlerin bir araya gelerek oluşturduğu, benzer formlarda tekrar eden heterojen yapıdaki yeryüzü parçası, peyzaj kavramını ifade etmektedir (Forman ve Godron, 1986). Kırsal peyzaj, İnsan doğa etkileşimi sonucunda oluşan alan kullanımı, bitki örtüsü, su yüzeyleri, yapılar, yollar ve doğal özellikleri kapsayan alanlardır. Kırsal peyzajda hakim olan alan kullanımları orman, tarım, hayvancılık, rekreasyon, koruma alanları, ulaşım, endüstri ve kültürel alanlardan oluşur (McClelland ve ark. 1999). Kırsal peyzaj kentsel peyzajlara göre ekolojik yönü itibari ile daha zengin biojeokimyasal döngülere sahiptir ve ekolojik verimlilik açısından sistem dengesi açısından büyük öneme sahiptir. Kırsal peyzaj yapısının önemli bir bileşeni olan topraklar biojeokimyasal döngüde barındırdığı karbon yutakları itibariyle küresel iklim değişikliğinde atmosferik karbon emisyonlarının bağlanması yönü ile ekosistem hizmetlerine katkıda bulunur.

Doğada yaygın olarak bulunan karbon (C), tüm yaşamında temel elementi sayılmaktadır. Nitekim tüm canlı maddeler karbon bileşiklerinden meydana gelmektedir. Birçok elemente göre yüksek bağ kurma özelliği olan C¹, yerkabuğunun%0.2'sini oluşturarak hem tek başına hem de başka elementler ile bileşikler halinde bulunmaktadır. Doğada eser miktarda bulunmasına rağmen canlı organizmalarından oksijenden sonra en çok bulunan ikinci elementtir. Elmaştan kömüre, selülozdan klorofile, fotosentez sürecinden glikoz yapısına kadar canlı ve cansız yapılarda doğal veya bileşikler halinde bulunmaktadır. Karbon döngüsü karmaşık yapısı ile bitki, toprak, insan ve hayvanlar olmak üzeri tüm yaşamı kapsayan bir sürece sahiptir (Odum ve Barrett, 2008).



Şekil 1. Küresel karbon havuzları/yutakları (Lal, 2010)

Pedolojik havuzların oluşturduğu karbon yutaklarının önemli bir bölümü toprakta bulunan karbon depolarında birikir. Toprak yapısı toprak organik ve toprak inorganik bileşiklerinden meydana gelir. Toprak Organik Maddesi (TOM)'nin yaklaşık %58'i ise Toprak Organik Karbonu (TOK)'dur (Lal, 2014).

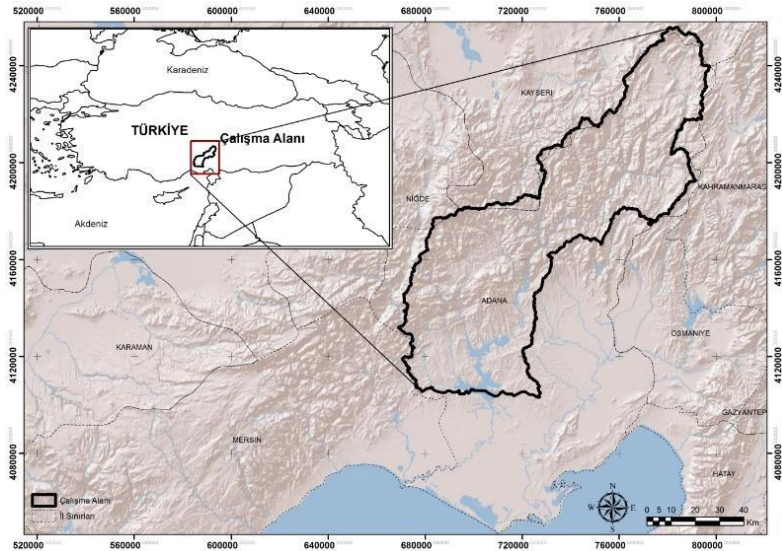
Küresel iklim değişimi tartışmalarının kaçınılmaz noktalarından biri sanayi devrimi sonrası antropojenik etkiler ile atmosfere salınan karbon emisyonlarının artışıdır. Enerji, sanayi, fosil yakıt kullanımı ve arazi örtüsü değişimlerine ek olarak toprak işleme ve tarımsal üretim aktiviteleri topraktaki organik karbon depolarında değişimlere sebep olmaktadır. Lal (2010), sanayi devriminden bu yana arazi örtüsü değişimleri, ormansızlaşma ve toprak işleme aktiviteleri sonucunda topraktan atmosfere karışan karbon miktarının yaklaşık olarak 136±30 Pg düzeyinde olduğunu tahmin etmiştir. Karbon salınımının gerçekleştiği gibi bunun tam tersi olan karbon denkleştirme süreçleri için karbon tutulum mekanizmalarından fayda sağlanmaktadır. Dolayısı ile peyzaj planlama stratejileri kapsamında karbon temelli arazi arazi politikalarının üretilmesi için toprakta depo edilen karbon depolarının modellenmesi ve haritalanması gerekmektedir. Bu çalışmada kırsal peyzajı biçimlendiren çevresel indikatörlerden yararlanarak çalışma alanına ilişkin TOK uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığı ile modellenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Türkiye, Adana ili ve Yukarı Seyhan Havzası'nın kesiştiği bölgede yer almaktadır. Çalışma alanının kuzeyinde Kayseri, doğusunda Kahramanmaraş ve Osmaniye, batısında ise Niğde ve Mersin illeri bulunmaktadır. Alan orman alanlarının yoğunlaştığı Yukarı Seyhan Havzası'nın alt kesiminde bulunmaktadır. 7368,62 km² büyüklüğündeki çalışma alanı 37°00'-38°25' kuzey enlem ile 34°52'-36°25' doğu boylamları arasında yer almaktadır.

¹ C: Karbon

Pg: Petagram



Şekil 2. Çalışma alanı

3. YÖNTEM VE VERİSETİ

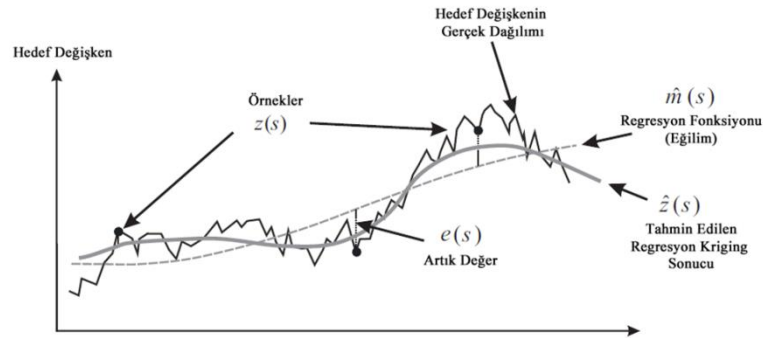
3.1. Regresyon Kriging Yöntemi

Çalışmada 0-30 cm derinliğindeki toprakların güncel TOK (%) ve TOK içeriği (karbon depolama) haritaları üretilmiştir. Bu doğrultuda son yıllarda öne çıkan jeostatistiksel yaklaşımlardan biri olan Regresyon Kriging (RK) yöntemi R Studio aracılığı ile üretilmiştir.

RK yöntemi ilk olarak 1987 yılında Ahmed ve Marsily (1987) tarafından “Doğrusal Regresyon ile Kriging Birleşimi” ismi ile uygulanmıştır. Odeh ve ark. (1995) RK yönteminin diğer kriging yöntemlerine göre üstünlüğünü ortaya koymuş ve kullanılan yöntem Regresyon Kriging ismi ile yayınlanmıştır. RK yönteminin yaygınlaştırılması ve uygulamalarının artması süreci ise Tomislav ve ark. (2007)’nin ortaya koyduğu çalışmayla gerçekleşmiştir. RK yönteminin kökeni Matheron (1969) tarafından tanımlanan konumsal tahmin tekniklerinden olan konumsal korelasyon ve yardımcı değişken kullanan Evrensel Kriging (Universal Kriging-UK) yöntemine dayanmaktadır (Hengl, 2004; Meng ve ark. 2013). Regresyon Kriging deterministik ve stokastik süreçlerinin birleşiminden meydana gelen hibrit bir yaklaşımdır. Konumsal model tahmininde kullanılan fonksiyon (Hengl, 2007):

$$Z(s_0) = E \{ Z | Z(s_i), q_k(s_0), \gamma(h), s \in A \} \quad (1)$$

$Z(s_i)$ girdi nokta veriseti, $q_k(s_0)$ deterministik tahmin ediciler, $\gamma(h)$ mekânsal otokorelasyon yapısını tanımlayan kovaryans modelini ve A ilgili coğrafi konumu ifade etmektedir. Konumsal tahmin modellerinde çoğu jeostatistik bilimcisi yardımcı değişkenler için yalnızca bir en iyi doğrusal yansızlık tahmini (Best Linear Unbiased Prediction-BLUP) olduğunu varsaymaktadır. Matheron (1969) toprak özelliklerine ait gözlem verilerinden yola çıkarak ulaşılmayan konumların değerinin deterministik ve stokastik bileşenlerin toplamı olarak modellenebileceğini öne sürmüştür.



Şekil 3. RK Şeması (Hengl, 2007)

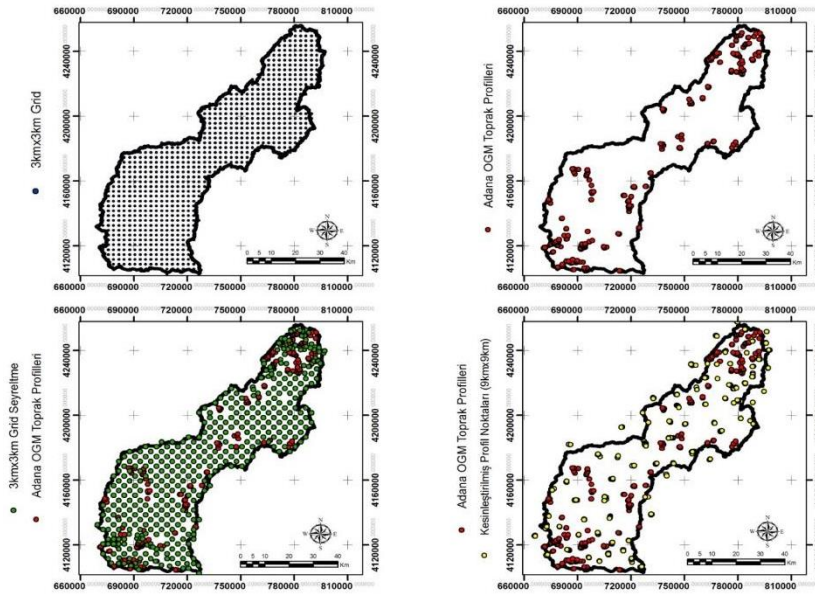
$$z(s_0) = m(s_0) + e(s_0) = \sum_{k=0}^p \beta_k \cdot q_k(s_0) + \sum_{i=1}^n \lambda_i e(s_i) \quad (2)$$

$m(s_0)$ deterministik bölümün modele uydurulması, $e(s_0)$ artık değerlerin enterpolasyonu, β_k deterministik modelin katsayılarını, λ_i artık değerlerin konumsal korelasyonu tarafından belirlenen kriging ağırlıkları ve $e(s_i)$ i noktasındaki artık değerdir. RK yönteminde kritik noktalardan biri regresyon analizi aşamasıdır. Model deterministik yöntemlerden biri olan regresyon modelinin kurulmasını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar ise stokastik yöntemlerin sağladığı konumsal otokorelasyon modeli sürecine dâhil edilmektedir. Bu çalışmada tahmin edici değişkenlerin birden fazla olması sebebiyle Multi Linear Regresyon (MLR) yöntemi ve sonrasında Stepwise regresyon analizi uygulanmıştır.

3.2. Veriseti

3.2.1. Toprak Örnekleri

RK yönteminin uygulanabilmesi için çalışma alanından 0-30 cm. derinliğinde toprak örnekleri toplanmıştır. Bu kapsamda öncelikle arazi çalışması gerçekleştirilmeden önce Adana Orman Bölge Müdürlüğü tarafından ağaçlandırma ve erozyonla mücadele kapsamında toplamış ve Walkley Black yöntemine göre analiz edilmiş 335 toprak örneğine ait toprak karbon değerleri elde edilmiştir. 2010-2014 yılı dönemine ait koordinatlı bu örneklerin konumsal dağılımı incelenmiştir. RK yönteminin uygulanabilirliği açısından homojen bir örneklem dağılımının gerçekleştirilmesi için eksik bölgeler belirlenmiştir. Bu doğrultuda ızgara sisteme göre 3kmx3km ızgara sistemi oluşturulmuştur. Kurumdan elde edilen veriler ve arazi ulaşım koşullarına göre seyreltme işlemleri gerçekleştirilerek homojen bir dağılım elde edilmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak hedeflenen konumların belirlenmesi aşamasında yol ağlarına olan uzaklık, topografya ve bitki türlerinin yayılımı dikkate alınmıştır (Şekil 4). Çalışma kapsamında arazi çalışmalarından 186 örnek, toplanmış, Adana OBM'den ise 335 profil noktasına ait veriler elde edilerek toplam 521 toprak örneği RK yönteminde kullanılmıştır. Araziden toplanan 186 toprak örneğine ait TOK kimyasal analizleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Besleme Bölümü laboratuvarında yürütülmüştür.



Şekil 4. Toprak örneklemelerinin belirlenmesi süreci ve toprak örneklerinin konumsal dağılımı

3.2.2. RK Yöntemi Bağımsız (Yardımcı) Değişkenler

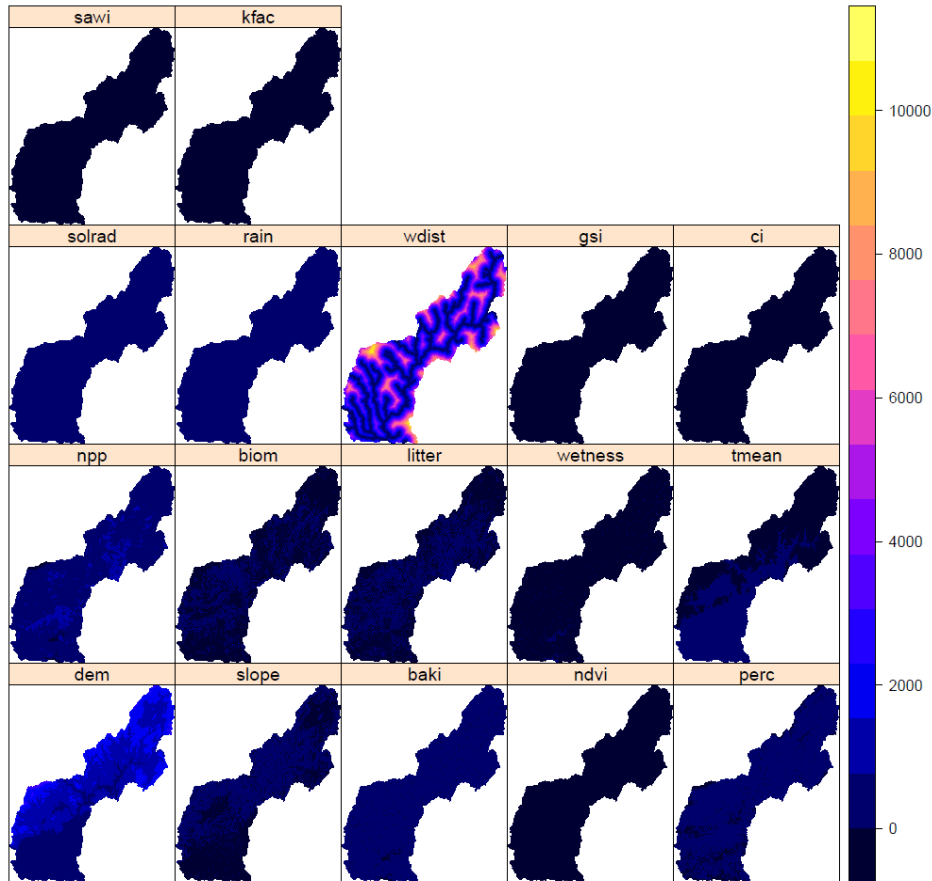
RK yönteminde regresyon analizinin uygulanması için bağımsız değişkenlerin tanımlanması gerekir. Regresyon analizi için bağımlı değişkenler toprak örnekler, bağımsız değişkenler ise uzaktan algılama ve CBS aracılığı ile üretilen toplam 17 değişken olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. RK yöntemi yardımcı değişkenler

Parametre	Yıl	Metadata
DEM (m)	2014	USGS Earth Explorer
Eğim (%)	2014	DEM
Bakı	2014	DEM
Ağaç Kapalılık Yüzdesi (%)	2013	Hansen ve ark.
Döküntü (Ölü örtü) (gm ⁻²)	2008	Berberoğlu ve ark (2006)
Net Birincil Üretim (NPP) (gm ⁻² yr ⁻¹)	2014	Berberoğlu ve ark (2014)
K Faktör	2014	Berberoğlu ve ark (2014)
Ortalama Sıcaklık (°C) (1975-2011)	2013	Berberoğlu ve ark (2014)
Solar radyasyon (Joule kg ⁻¹) (1975-2011)	2014	Berberoğlu ve ark (2014)

Yağış (mm) (1975-2011)	2013	Berberoğlu ve ark (2014)
Biyokütle	2014	Orjinal
Sudan uzaklık (m)	2014	Orjinal
CTI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS
NDVI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS
GSI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS
SAWI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS
CI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS

GSI, Xiao ve ark. (2006) tarafından özellikle çölleşme, toprak yapının değişimi ve bu değişimin Landsat bantları ile izlenebilmesi için geliştirilmiştir. Landsat uydusuna ait R,G,B bantları ile üretilen GSI formülü (Begzsuren, 2007; Xiao ve ark. 2006) çalışma için uygulanmıştır. Toprakla ilişkili bir diğer indeks Clay Index (CI), Landsat bantlarından üretilmiştir. Topraktaki kil içeriği ile ilgili olan CI, orta kızılötesi bantlar aracılığı ile üretilmektedir (Hengl, 2007; Marchetti ve ark. 2010). Toprak ve bitki arasındaki yansıma değerleri ile ilişkili Düzeltilmiş Toprak Bitki İndeksi (Soil Adjustment Vegetation Index-SAVI) Landsat görüntüleri aracılığı ile üretilmiştir. Akış yönü ve akış birikintisi bilgileri ile üretilen Birleşik Topografik İndeksi (Compound Topographic Index-CTI) toprak nemliliği ile ilişkili bir indekstir. CTI, topografya yapısının suya doygunluk ve nemlilik değerlerine ait bir indekstir.



Şekil 5. RK yönteminde kullanılan yardımcı değişken haritaları

3. SONUÇLAR

Bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken ile regresyon modelinin oluşturulabilmesi için çoklu doğrusal regresyon MLR modelinden yararlanılmıştır. MLR modeli çalışma alanında bulunan 10 farklı WRB toprak sınıfı için ayrı ayrı koşturulmuştur. Hem TOK hem de bağımsız değişkenlerin her biri WRB kategorilerinde ayrıştırılarak her birine ait spesifik veri setleri oluşturulmuştur. Çalışma alanına ait tek bir regresyon modeli ile tahmin üretmekten kaçınarak daha hassas verilerin üretilmesidir. MLR analiz sonuçları (Çizelge 2) stepwise regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bu sayede toprak karbonunu açıklayan en önemli çevresel değişkenler regresyon modeline uygulanmıştır.

Çizelge 2. TOK ve yardımcı değişkenler için Pearson's korelasyon değerleri

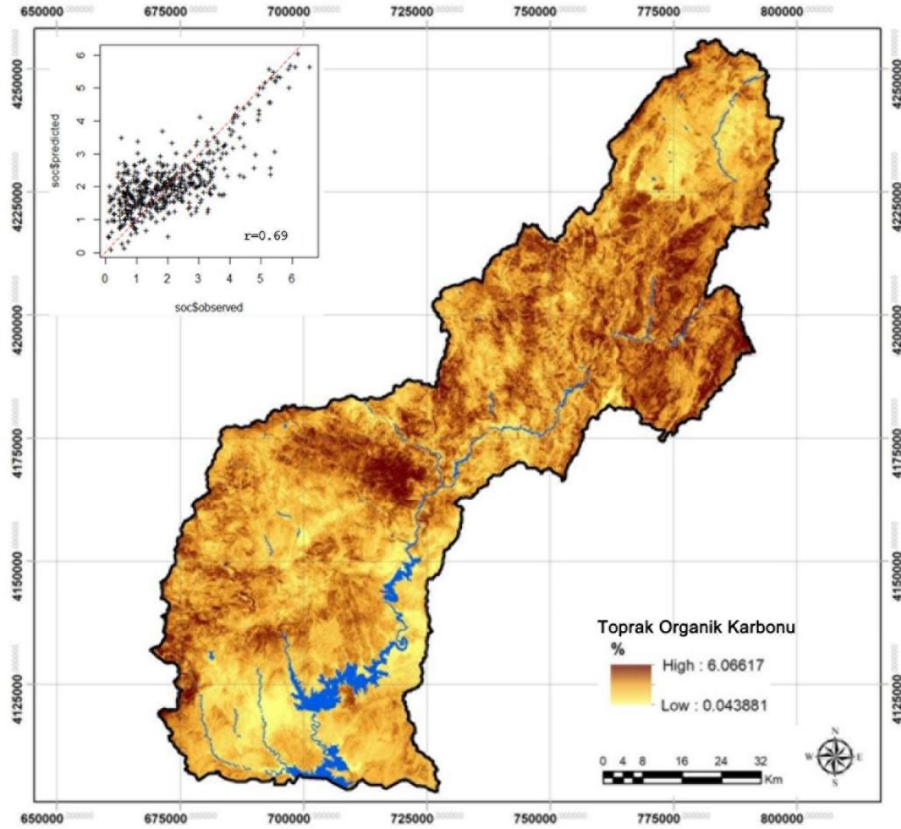
Yardımcı Değişkenler		Calcic Regosols	Calsisols Leptosols	Cambic Vertic Calsisols	Cambisol Leptosols	Chromic Cambisols	Chromic Luvisols	Eutric Fluvisols	Leptosol Cambisols	Lithic Leptosols	Rendzic Leptosols
X	r	0.037	0.272	0.486	-0.122	-0.105	0.075	0.095	0.105	0.484	0.032
	p	0.186	0.368	0.242	0.441	0.395	0.229	0.284	0.077	0.037	0.199
Y	r	0.089	-0.180	-0.344	-0.199	0.113	0.211	0.117	0.223	0.489	0.081
	p	0.041	0.476	0.849	0.349	0.100	0.036	0.231	0.010	0.036	0.040
DEM	r	0.239	0.463	-0.357	0.021	-0.422	0.621	0.156	0.236	-0.131	0.217
	p	0.001	0.206	0.037	0.005	0.046	0.000	0.162	0.008	0.196	0.001
Eğim	r	0.422	0.432	-0.066	0.041	0.271	0.079	-0.083	0.235	-0.073	0.327
	p	0.000	0.228	0.376	0.102	0.008	0.217	0.359	0.008	0.521	0.000
Baki	r	0.102	0.963	-0.032	-0.156	-0.433	0.241	-0.058	0.238	-0.179	0.073
	p	0.029	0.003	0.491	0.456	0.485	0.024	0.429	0.004	0.385	0.052
NDVI	r	0.113	-0.229	-0.103	0.112	-0.380	-0.442	0.231	0.104	0.160	0.137
	p	0.021	0.410	0.180	0.006	0.299	0.490	0.082	0.078	0.286	0.007
Kapalılık	r	0.145	0.402	-0.025	0.049	0.428	0.172	0.332	-0.018	0.185	0.129
	p	0.009	0.005	0.408	0.073	0.321	0.062	0.031	0.491	0.247	0.009
NPP	r	0.034	0.034	0.010	0.079	0.064	-0.051	-0.230	-0.011	-0.072	0.032
	p	0.207	0.066	0.491	0.022	0.224	0.481	0.417	0.419	0.486	0.195
Biyokütle	r	0.115	0.000	0.382	0.136	0.057	-0.335	-0.524	0.060	0.301	0.127
	p	0.020	0.000	0.008	0.002	0.221	0.461	0.564	0.182	0.126	0.010
Döküntü	r	0.065	0.402	0.457	0.070	-0.383	-0.254	-0.604	-0.027	-0.143	0.045
	p	0.081	0.005	0.057	0.032	0.337	0.086	0.020	0.194	0.464	0.126
Sıcaklık	r	0.211	0.678	-0.354	0.017	0.687	0.630	0.153	0.249	-0.096	0.191
	p	0.002	0.047	0.030	0.303	0.045	0.000	0.166	0.006	0.403	0.002
Solar	r	0.288	0.376	-0.352	0.035	0.157	0.642	0.157	0.170	0.042	0.001
	p	0.000	0.271	0.002	0.131	0.051	0.000	0.161	0.024	0.468	0.000
Yağış	r	-0.015	-0.253	0.079	-0.123	0.155	-0.343	-0.567	0.075	-0.171	-0.018
	p	0.491	0.091	0.440	0.349	0.051	0.268	0.492	0.135	0.383	0.231
CTI	r	0.037	0.070	-0.035	-0.052	-0.304	0.126	0.171	0.001	0.374	-0.010
	p	0.188	0.073	0.405	0.418	0.094	0.115	0.141	0.900	0.018	0.489
GSI	r	0.096	-0.180	0.028	0.120	-0.195	0.122	0.252	-0.034	-0.063	0.124
	p	0.033	0.477	0.373	0.004	0.469	0.120	0.068	0.996	0.492	0.011
CI	r	0.084	-0.150	0.031	0.099	-0.424	0.329	0.03	-0.024	-0.136	0.071
	p	0.047	0.054	0.354	0.010	0.048	0.007	0.451	0.499	0.446	0.054
SAVI	r	0.123	-0.189	0.061	0.145	-0.435	-0.048	0.340	0.168	-0.057	0.144
	p	0.016	0.489	0.187	0.002	0.098	0.479	0.029	0.005	0.476	0.006
Su Uz.	r	-0.015	0.665	0.321	-0.154	0.631	0.466	-0.069	-0.034	-0.118	0.020
	p	0.497	0.009	0.001	0.010	0.226	0.001	0.498	0.490	0.071	0.314
KFak	r	-0.018	0.527	0.158	-0.111	-0.049	-0.094	-0.077	-0.022	0.533	-0.019
	p	0.397	0.165	0.029	0.095	0.357	0.378	0.406	0.549	0.026	0.453

Regresyon modellerinin uygulanması ve toprak sınıflarına göre semivariogram analiz bulguları sonuçları üretilmiş ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. 521 toprak örneği doğruluk analizleri için %75 eğitim ve %25 test veri seti olarak ayrıştırılmıştır.

Toprak örneklerine ait TOK (%) karbon değerleri ve 17 yardımcı değişken (Şekil 5) kullanılarak stepwise regresyon denklemlerinin sonuçları tüm havza için 10 WRB sınıfı için ayrı ayrı uygulanmıştır. RK yönteminde kullanılan yardımcı değişkenlerden NPP, ortalama sıcaklık, yağış, döküntü ve K faktör haritaları Berberoğlu ve ark. (2014) çalışmasından, ağaç kapallılık yüzdesi Hansen ve ark. (2013)'ün çalışmasından temin edilmiştir. Eğim, baki, NDVI, biyokütle GSI, CI, SAVI, CTI ve sudan uzaklık verileri bu çalışma kapsamında üretilmiştir. Yardımcı (bağımsız) değişkenler arasında en güçlü değişkenler her WRB kategorisinde değişmekle birlikte genel eğilim incelendiğinde DEM, eğim, baki, ortalama sıcaklık, solar radyasyon, NDVI, ağaç kapallılık yüzdesi verileri olarak öne çıkmıştır. Korelasyon analizlerinde TOK ile en düşük ilişkiler NPP, yağış, K faktör ve Landsat uydu görüntülerinden üretilen GSI, CI, SAVI değişkenleri olarak elde edilmiştir.

Enterpolasyon sonuçlarına göre üretilen TOK artık değer haritası ve standart sapma haritaları üretilmiştir. Tahminlerin standart sapması kenar etkisi ile özellikle kuzeybatı ve güney doğu ekseninde artış göstermiştir. Buna ek olarak çalışma alanının sarplık bölgelerini oluşturan bölgelerden toprak örneği alınamadığı için bu alanlarda standart sapma yüksek elde edilmiştir. Çetin (1996)'nın belirttiğine göre standart sapma değerinin yüksek olduğu alanlarda tahminlerin güvenilirlikleri azalmaktadır. Standart sapmanın azaltılması için ulaşılamayan bölgelere ilişkin daha fazla örnek elde etme gereksinimi bulunmaktadır.

RK yöntemine göre üretilen TOK (%) haritası Şekil 6'da gösterilmektedir. Buna göre TOK haritası değeri 0-%6.066 aralığında değer almaktadır. Çalışma alanının Adana Şehir merkezine yakın olan güney kesimi ve alanın Kayseri'ye yakın kuzey kesiminde en düşük yüzden toprak organik karbonu gözlenmektedir.



Şekil 6. Toprak Organik Karbonu (%) Haritası

Çalışma alanındaki Lithic Leptosoller BTG özellikleri yönü ile kahverengi orman toprağına tekabül etmektedir. Bu topraklar çalışma alanının en yüksek kesimlerinde bulunan karstik alanda yer almaktadır. Lithic Leptosol sınıfından sonra en yüksek TOK ortalamasına sahip toprak sınıfı alanın büyük bölümünde yer alan Leptosol Cambisol sınıfıdır. Çalışma alanında Leptosol Cambisol alanları BTG kategorileri altında kireçsiz kahverengi orman toprağı ve kahverengi orman toprağı özelliğı göstermektedir. Bu yönü ile orman örtüsü altındaki toprakların diğer sınıflara kıyasla daha yüksek düzeyde karbon depoladığı gözlenmiştir. Çalışma alanındaki orman alanları Leptosol Cambisoller, Chromic Luvisoller ve Cambisol Leptosol WRB toprak sınıflarında yayılım göstermektedir.

Çizelge 3. WRB sınıflarına göre TOK değerleri (%)

WRB Sınıfları	En küçük	En Büyük	Range	Ortalama	STD
Calcaric Regosols	0.561	3.183	2.623	1.519	0.398
Calcisols Leptosols	0.949	3.260	2.311	2.078	0.348
Cambic Vertic Calcisols	0.256	3.516	3.260	1.667	0.483
Cambisols Leptosols	0.425	5.378	4.953	1.957	0.526
Chromic Cambisols	0.380	4.158	3.778	1.799	0.531
Chromic Luvisols	0.266	5.041	4.776	2.233	0.603
Eutric Fluvisols	0.289	5.660	5.370	1.571	0.448
Leptosols Cambisols	0.044	6.066	6.022	2.326	0.580
Lithic Leptosols	0.581	4.959	4.378	2.495	0.454
Rendzic Leptosols	1.627	2.761	1.134	2.182	0.209

En yüksek ortalama TOK değerleri Saimbeyli (%2.63), Feke (%2.34), Pozantı (%2.32) ve Aladağ (%2.24), Karaisalı (%2.01) ve Tufanbeyli (%2.05) ilçelerinde elde edilmiştir. Alanda en düşük ortalama TOK değeri ise İmamoğlu (%1.44) ve Yüreğir (%1.83) ilçelerinde elde edilmiştir. İlçeler düzeyinde tahmin edilen sonuçlar ekosistem verimliliğinin artırılması amacıyla hangi ilçelerde ormanlaştırma ve teşviklerin gerçekleştirilmesine hizmet etmesi açısından önemli bir bulgudur. Bu doğrultuda araştırma alanının güney kesiminde en düşük TOK değerleri gözlenirken, en yüksek değerler Aladağ'dan Saimbeyli'ye uzanan güneybatı-kuzeydoğu ekseninde gözlenmektedir. Alanın biyofiziksel özellikleri bakımından yüksekliğin azalması, sıcaklığın artması, tarım alanları ve ormansız alanların bileşimi olan bölgelerde TOK değerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek değerler ise özellikle yükseklik artışının olduğu, sıcaklığın güney kesimine

göre görece azaldığı, orman çeşitliliğinin arttığı ve yaygınlaştığı alanlardır. Bu anlamda yüksek TOK düzeyinin orman varlığı, orman çeşitliliği, biyokütlenin artışı ve dolayısı ile döküntü aracılığı ile toprağa karışan organik madde ve organik karbonun depolanmasını olumlu yönde etkilediği bu çalışmada da kanıtlanarak ortaya konulmuştur. Orman varlığı, orman çeşitliliği ve optimal iklim bileşenleri topraktaki karbon depolanma kapasitesini arttıran önemli bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Çalışmanın ileriye yönelik geliştirilebilmesi için çalışma alanından daha çok toprak örneğinin toplanması ve yardımcı değişkenlerinin arttırılması sağlanmalıdır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Küresel İklim Değişikliği Çerçevesinde Doğu Akdeniz Bölgesi Ekosistem Hizmetlerinin Karbon Temelli Modellenmesi başlıklı doktora tezinden üretilmiş olup Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında (BAP-FDK-2014-2832) desteklenmiştir. Danışmanlığı yürüten Prof. Dr. Süha Berberoğlu'na ve arazi çalışmalarında toprak örneklerinin toplanmasında emeği geçen Orman Başmühendisi Murat Tutar'a, toprak kimyasal analizleri sürecinde desteğinin esirgemeyen Prof. Dr. Selim Kapur'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Ahmed, A., Marsily, G.D., 1987. Comparision of Geostatistical Methods for Estimating Transmissivity Using Data on Transmissivity and Specific Capacity. *Water Resources Research*, 23, 1717-1737.

Begzsuren, S., 2007. Integrated desertification assessment in Southern Mongolia (*PhD Thesis*), Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Germany.

Berberoğlu, S., Hickler, T., Özkan, Ç., Evrendilek, F., Küçük, Ö., Dönmez, C., Tanrıöver, A., Erdoğan, M., Çilek, A. Forrest, M., Kapur, B., Ersoy, M., Şahingöz, M., 2014. İklim Değişikliği ve Türkiye Çevresel Risk Analizi 110Y338. Adana. *TÜBİTAK Projesi*.

Ersoy Mirici, M. 2017. Küresel İklim Değişikliği Çerçevesinde Doğu Akdeniz Bölgesi Ekosistem Hizmetlerinin Karbon Temelli Modellenmesi. *Doktora Tezi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.

Forman, R. T. T., Godron, M., 1986. *The Ecology of Landscape and Regions*. United Kingdom. Cambridge Universty Press.

Hansen, M. C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M.S., Turubanova, A., Tyukavina, A., Townshend, J. R. G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342.

Hengl, T., 2007. A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. Italy. European Commission Joint Research Centre (JRC) Institute for Environmental and Sustainability.

Lal, R. 2010. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *BioScience*, 60, 708-721.

Lal, R. 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69, 186-192.

Matheron, G., 1969. Traite de geostatistique appliquee. Memoires du Bureau de Recherches GeologiMinieres. Editions Technip. Paris. Vol 14.

Mas, Jean-François, Filho, B. Soares, P., Robert G., Gutiérrez, M. F., Rodrigues, H., 2013. A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2, 869-887.

McCelland, L. F., Keller, J. T., Keller, G. P., Melnick, R. Z. (1999). Guidelines for evaluating and documenting rural historical landscapes. U.S. Department of Interior National Park Services. National Register Bulletin.

Meng, Q., Liu, Z., Borders, B., 2013. Assessment of regression kriging for spatial interpolation-comparisons of seven GIS interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 40. 28-39.

Odeh, I., McBratney, A., Chittleborough, D. 1995. Further result on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma*, 67, 215-226.

Odum, E P, Barrett, G W. (2008). *Ekolojinin Temel İlkeleri*. Ankara: Palme Yayıncılık.

Tomislav, H., Heuvelink, G., Rossiter, D., 2007. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*, 33, 1301-1315.

Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, T., Bayaer, W., 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 2411-2422.