

## Bir kızılçam orman ekosisteminde spektral ve kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkiler

İbrahim Özdemir<sup>a</sup>, Ahmet Mert<sup>a,\*</sup>, Ulaş Yunus Özkan<sup>b</sup>, Şengül Aksan<sup>a</sup>, Yasin Ünal<sup>a</sup>

**Özet:** Bu çalışmada Fethiye yöresinde seçilen bir kızılçam orman ekosisteminde spektral rarefaksiyon eğrileri ile kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkilerin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Büyüklüğü 0,81 ha (90 x 90 m) olan 40 örnek alan için, arazi gözlemleriyle kuş türleri tespit edilmiştir. Örnek alanlara karşılık gelen piksellerin (Aster için 36, SPOT için 81 ve RapidEye için 324 adet) NDVI<sub>TOA</sub> değerleri hesaplanmıştır. Sonra, EstimatesS yazılımı vasıtasıyla spektral ve kuş türü rarefaksiyon eğrileri oluşturulmuştur. Bunlar arasındaki ilişkiler regresyon analiziyle incelenmiştir. Ayrıca "artış oranları" dikkate alınarak eğrilerin benzerliği ortaya koyulmuştur. Çalışma sonuçları, spektral rarefaksiyon eğrileri ile kuş türü rarefaksiyon eğrisinin genel eğilimi arasında ciddi farklılıklar olduğunu ve bu yörede uydu görüntüleri kullanılarak kuş türü rarefaksiyon eğrisinin kestirilemeyeceğini göstermiştir. Bu çalışmaların daha kaba çözünürlüklü uydu görüntüleriyle daha geniş coğrafyalarda tekrarlanmasının, spektral rarefaksiyon eğrilerinin potansiyelinin daha iyi anlaşılması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kuş türü zenginliği, Uydu verisi, Fethiye

## Relationships between spectral and bird species rarefaction curves in a brutian pine forest ecosystem

**Abstract:** This study aimed at determining the relations between spectral and bird species rarefaction curves in a brutian pine forest ecosystem located in the Fethiye region, Turkey. Bird species were counted by fieldwork in 40 sample plots with 0.81 ha (90 x 90 m). The NDVI<sub>TOA</sub> values of pixels belonging to each plot (pixel numbers are 36, 81 and 324 for Aster, SPOT and RapidEye, respectively) were calculated. Spectral and bird species rarefaction curves were formed by means of EstimatesS software. The relations between spectral and bird species rarefaction curves were examined using regression analyses. Furthermore, the similarities of rarefaction curves were determined considering "increase rate" of curves. The results of study showed that there are serious differences between spectral and bird species rarefaction curves and bird species rarefaction curve was not predicted using satellite images in this region. It is considered that similar studies could be conducted on a wide geographic region using coarse resolution satellite data in order to understand the potentials of spectral rarefaction curves more clearly.

**Keywords:** Bird species richness, Satellite data, Fethiye

### 1. Giriş

Sürdürülebilir orman işletmeciliğinin temel kriterlerinden birisi olan biyolojik çeşitliliğin korunması ve zenginleştirilmesi, orman kaynaklarının planlanmasında öncelikli bir konu olmuştur (Özçelik, 2006). Bu paradigma değişiminin bir sonucu olarak, ülkemizde de, biyolojik çeşitliliğin orman amenajman planlarına entegrasyonu konusundaki çabalar artmıştır. Biyolojik çeşitliliğin ve bileşenlerinin sayısallaştırılması ve karşılaştırılabilir bir duruma getirilmesi etkin bir biyolojik çeşitlilik yönetimi için çok büyük önem taşımaktadır (Özkan, 2016).

Bir coğrafi bölgedeki tür zenginliğini "Birikim Eğrileri" ile nitelendirmek uzun zamandır kullanılmaktadır (Gotelli ve Colwell, 2011). Ancak birikim eğrileri seçilen örnek alanların sırasından etkilenmektedir. Dolayısıyla, farklı örnek büyüklüklerine (örnek alan sayısı) sahip coğrafi

bölgelerin, birikim eğrilerine dayalı olarak tür zenginliği bakımından karşılaştırılması ciddi sakıncalar taşıyabilmektedir. Bu sebeple, sıralamadan bağımsız olarak oluşturulan rarefaksiyon (seyrelme) eğrileri, tür çeşitliliğini nitelendirmede daha etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Rocchini, 2009b). Rarefaksiyon eğrileri kullanılarak, örnek alan sayısı farklı iki coğrafi bölgenin, standart bir örnek alan sayısına göre karşılaştırılması mümkün olmaktadır (Gotelli ve Colwell, 2001). Benzer şekilde, farklı tarihlerde farklı örnek alanların ölçüldüğü ve örnek alan sayısının da farklı olduğu (örneğin amenajman planlarının düzenlenmesinde yapılan envanter çalışmalarında olduğu gibi) bir coğrafi alandaki tür zenginliğindeki zamansal değişimin de rarefaksiyon eğrileriyle belirlenebilmesi mümkündür. Ayrıca, rarefaksiyon eğrileri ekolojideki, belirli bir coğrafi bölgenin tür zenginliği açısından yeterli düzeyde örneklenip

✉ <sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yaban Hayatı Ekolojisi ve Yönetimi Bölümü, Isparta

<sup>b</sup> İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): ahmetmert@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 02.05.2017, **Accepted** (Kabul tarihi): 13.07.2017

**Citation** (Atıf): Özdemir, İ., Mert, A., Özkan, U.Y., Aksan, Ş., Ünal, Y., 2017. Bir kızılçam orman ekosisteminde spektral ve kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkiler. Turkish Journal of Forestry, 18(3): 232-240. DOI: 10.18182/tjf.310109



örneklemediğinin ortaya koyulmasında da kullanılmaktadır (Wooley vd., 2010; Özkan, 2016).

Rarefaksiyon eğrisi rastgele seçilen belirli sayıda örnek alanın permütasyonu şeklinde oluşturulmaktadır. Örnek sayısı az olduğunda, örnek alan sayıları itibariyle, ortalama tür sayısı basit bir şekilde hesaplanabilmektedir. Şekil 1’de, 4 örnek alan ve toplamda 6 tür bulunan bir coğrafi bölge için oluşturulan rarefaksiyon eğrisi gösterilmiştir. Buna göre; ortalama alfa ( $\bar{\alpha}$ ) çeşitliliği 2, gamma ( $\gamma$ ) çeşitliliği 6 ve beta ( $\beta$ ) çeşitliliği  $\beta = \gamma - \bar{\alpha}$  yani  $\beta = 6 - 2 = 4$  olarak hesaplanmıştır (Colwell vd., 2004). Diğer taraftan, örnek alan sayısı ve tür sayısı arttıkça oluşan kombinasyonların sayısı artmakta ve hesaplamalar özel düzenlenmiş bilgisayar yazılımlarıyla yapılmaktadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, örnek alanlar sütuna, türler ise var-yok biçiminde (1,0) satıra kaydedilmek suretiyle bir matris oluşturulmakta ve buna dayalı olarak örnek alan sayısına göre tür sayıları hesaplanmaktadır.

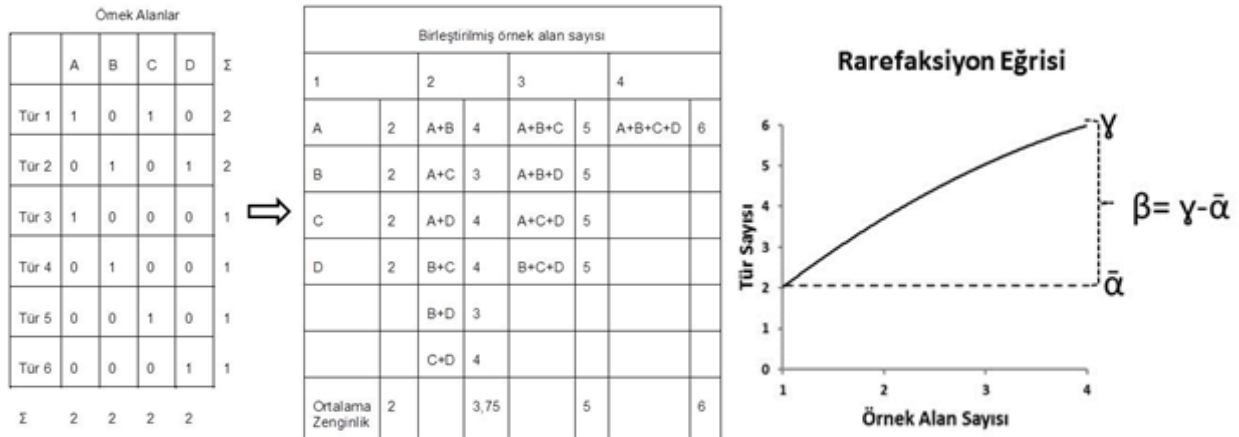
İki ya da daha fazla örnek alan arasında ortak olmayan yani farklı türleri ifade eden kavram; Beta ( $\beta$ ) ya da örnek alanlar arası çeşitlilik olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, iki örnek alan arasında, ortak tür sayısının oranı arttıkça  $\beta$  çeşitlilik değeri azalmaktadır.  $\beta$  çeşitliliğin değişik hesaplama yöntemleri bulunmaktadır (Işık ve Uğurlu, 2011). Bunlardan birisi; bir coğrafi bölgede alınan örnek alanların ortalama tür sayısı (ortalama alfa çeşitliliği  $\bar{\alpha}$ ) ve örnek alanların tamamındaki toplam tür sayısı (Gamma çeşitlilik  $\gamma$ ) kullanılarak,  $\beta = \gamma / \bar{\alpha}$  ya da  $\beta = \gamma - \bar{\alpha}$  olarak hesaplanabilmektedir (Whittaker, 1972; Lande, 1996; Crist ve Veech, 2006; Rocchini vd., 2009a). Son formülle hesaplanan  $\beta$  çeşitlilik rarefaksiyon teorisi ile daha uyumlu olduğu belirtilmektedir (Rocchini vd., 2009a; Rocchini vd., 2009b; Rocchini vd., 2011).

Rarefaksiyon eğrileri bir coğrafi alan içindeki çeşitliliği yansıtmaktadır. Bu özelliğinden dolayı farklı orman ekosistemlerinin, habitatların ya da orman işletmelerinin, tür çeşitliliği açısından kıyaslanmasına imkan vermektedir. Örneğin tür sayısı ( $\gamma$ ) bakımından eşit olan iki orman ekosistemi  $\beta$  çeşitlilik bakımından birbirlerinden farklı olabilir. Bu durum rarefaksiyon eğrileri kullanılarak tespit edilebilir. Şekil 2’de tür sayısı bakımından eşit olan (60),

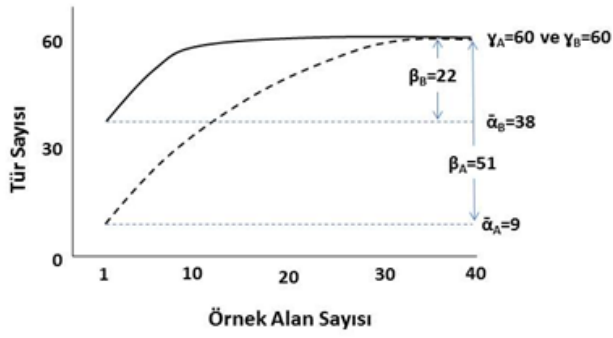
heterojen (A) ve homojen (B) iki orman ekosistemine ait rarefaksiyon eğrilerinin davranışı gösterilmiştir ( $n=40$ ). Görüldüğü gibi, örnek alanlar arasında tür farklılığının az olduğu homojen bir orman ekosisteminde, rarefaksiyon eğrisinin (düz çizgi) eğimi düşük ve asimptota daha çabuk (az örnek alan sayısı ile) ulaşmaktadır. Tam tersine heterojen orman ekosisteminde örnek alanlar arası tür farklılıkları fazla olduğundan (Özkan 2016), eğrinin (kesik çizgi) eğimi yüksek ve asimptota daha geç varmaktadır.

Birçok araştırmanın işaret ettiği gibi, arazi (mera, meşcere, çalılık, tarım, sulak alan vb) çeşitliliği arttıkça, tür çeşitliliğinin de arttığı düşünülmektedir. Bu durumda arazi çeşitliliği ile ilgili rarefaksiyon eğrileri kullanarak tür çeşitliliği tahmin edilebilir. Bir alandaki arazi çeşitliliği ile uydu verilerinin parlaklık değerlerinin çeşitliliği arasında da kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır (Özdemir vd., 2012). Bu durumda, uydu verilerinden, bir yöredeki hayvan ya da bitki türü çeşitliliğini gösteren rarefaksiyon eğrilerinin de tahmin edilmesinin mümkün olduğu belirtilmektedir (Rocchini vd., 2009a). Böylece, yersel çalışmalara gereksinim olmadan, spektral rarefaksiyon eğrileri temel alınmak suretiyle farklı coğrafi bölgeler  $\beta$  çeşitlilik bakımından karşılaştırılabilir (Rocchini vd., 2009b).

Biyolojik çeşitliliğin önemli göstergelerinden birisi kuş türü zenginliğidir. Bir yörede kuş türü sayısı ne kadar fazla ise, o yörede biyolojik çeşitliliğin de o kadar yüksek olduğu söylenebilir (Bibby vd., 1992; Brooks vd., 2001). Uydu görüntülerine dayalı spektral rarefaksiyon eğrileri kullanılarak kuş türü rarefaksiyon eğrileri kestirilebilirse, farklı yöreler biyolojik çeşitlilik açısından kıyaslanabilir. Ülkemizin farklı orman ekosistemleri için, spektral ve kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkilerin ortaya koyulmasının, biyolojik çeşitliliğin korunmasında önemli olduğu değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, Fethiye yöresinde seçilen bir kızılçam orman ekosisteminde; Aster, SPOT ve RapidEye uydu verilerinden hesaplanan Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) verilerinden türetilen rarefaksiyon eğrileri ile kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkilerin ortaya koyulması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Rarefaksiyon eğrisinin elde edilmesi (Colwell vd., 2004’den değiştirilerek oluşturulmuştur)



Şekil 2. Tür sayısı aynı olan, homojen ve heterojen orman ekosistemlerinin rarefaksiyon eğrilerinin davranışına bir örnek (tür sayısı=60, örnek alan sayısı=40)

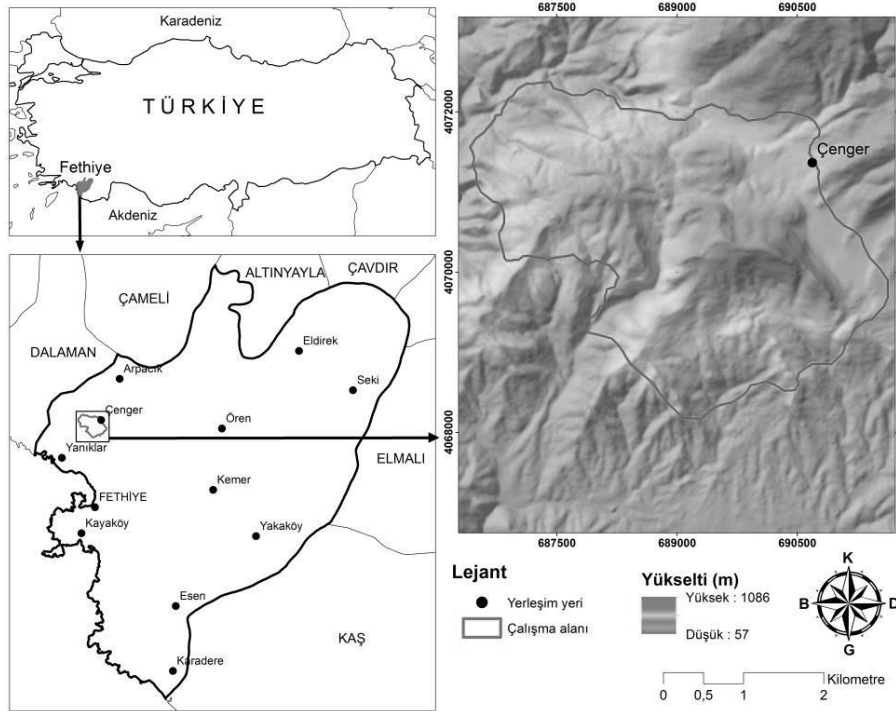
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

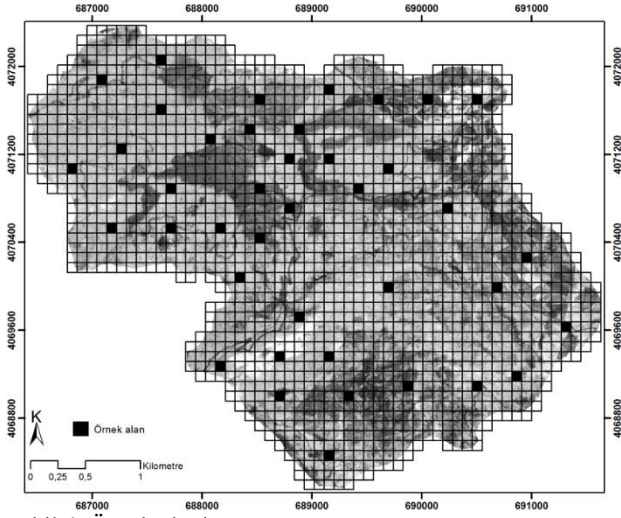
Fethiye Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içinde tipik kızılçam orman ekosistemlerini temsil eden ve yapı bakımından farklı özelliklere sahip meşcerelerin ve makiliklerin, geleneksel kuru tarım yapılan tarlaların ve zeytinliklerin bir arada bulunduğu bir alan, çalışma sahası

olarak belirlenmiştir. Baskın ağaç türü kızılçam olmakla birlikte, çalışma sahasında, çınar, sığla ve dişbudak gibi geniş yapraklı ağaç türlerine rastlanmaktadır. Bilindiği gibi kuş toplulukları insan faaliyetlerinden etkilenmektedir. Dolayısıyla, kuş türlerinin habitat tercihlerini daha iyi anlayabilmek için, araç trafiğinin az olduğu, düşük nüfus barındıran, seracılık, yiyecek artıklarının bırakıldığı piknik alanlarının bulunmadığı ve sulcu tarım arazilerinin olmadığı bir bölgede çalışılması önemlidir. Dışarıya göç vermiş ve bu sebeple nüfus yoğunluğunun düşük olduğu Çenger köyü ve çevresinin, bu faktörler açısından uygun bir konumda olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 3).

Çalışma alanının toplam büyüklüğü 2221 hektardır. Çalışma alanına mümkün olduğunca homojen olarak dağılmış ve alandaki farklı arazi ve meşcere yapılarını temsil eden (kapalılık, ağaç türü, kapalılık bakımından farklı) 0,81 ha (90 x 90 m) büyüklüğünde toplam 40 örnek alan kararlaştırılmıştır. Örnek alanlar arasında en az 200-250 m mesafe olmasına dikkat edilmiştir. Bu durumda bir örnek alana; 15 m çözünürlüklü Aster görüntüsünde 36 adet piksel, 10 m çözünürlüklü SPOT görüntüsünde 81 piksel ve 5 m çözünürlüklü RapidEye görüntüsünde 324 piksel isabet etmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma alanının coğrafi konumu



Şekil 4. Örnek alanlar

## 2.2. Kuş sayımı

Her örnek alanın merkezinde durulmak suretiyle, iki ya da üç gözlemci merkezde durarak, farklı yönleri taramak suretiyle 10 dakikalık bir gözlem yapmış ve dürbünle (Bushnell 8x42) ve kuş seslerinden türler teşhis edilmiştir. Gözlemlenen kuşlar cetvellere kayıt edilmiştir. Sabah gün doğmadan ilk örnek alana gelinmiş ve güneşin doğumundan sonraki 3 saat içinde, hava nispeten serinse 4 saat içinde gözlemler sonlandırılmıştır. Böylece, bir dönem için, kuş gözlemleri (bir aylık dönemler itibarıyla) 5-6 gün içinde bitirilmiştir. Hava hallerin müsait olmadığı zamanlarda (yağmurlu ve çok rüzgârlı) bu süre 7-8 güne kadar çıkmıştır. Öngörüldüğü gibi, saat farkından kaynaklanabilecek potansiyel hataları en aza indirmek amacıyla, araziye her çıkışta farklı rotalar izlenmiş ve örnek alanlar itibarıyla gözlemler farklı saatlere denk getirilmiştir. Bir yıl boyunca, her örnek alan 12 kez ziyaret edilmiştir.

## 2.3. Uydu verileri

Çalışmada; 1) 16.08.2014 tarihinde algılanmış, multispektral modda 5 m mekânsal çözünürlüğe sahip 5 bantlı RapidEye uydu görüntüsü (440 - 510 nm, 520 - 590 nm, 630 - 685 nm, 690 - 730 nm, 760 - 850 nm). 2) 04.07.2014 tarihinde algılanmış, multispektral modda 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip 3 bantlı SPOT-5 uydu görüntüsü (490-610 nm, 610-680 nm, 780-890 nm). 3) 26.08.2014 tarihinde algılanmış, multispektral modda 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip 3 bantlı Aster uydu görüntüsü (520-600 nm, 630-690 nm, 760-860 nm) görüntüsü kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin geometrik düzeltmeleri aşağıdaki prosedür izlenerek gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, çalışmada kullanılan görüntüler içinde en yüksek çözünürlüğe sahip olan RapidEye (Level 1B) uydu görüntüsü üzerinde ve arazide çok iyi biçimde tanımlanabilen yer kontrol noktaları (YKN) seçilmiştir. Özellikle dere ve yolların kesişim yerleri, boş arazilerdeki tek ağaçlar, orman içi küçük boşluklar ve farklı arazi örtülerinin kenar kısımlarındaki kolay ayırt edilen yerler bu amaçla kullanılmıştır. YKN'lerin koordinat

değerleri (UTM, WGS84) el tipi GPS yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre toplam 25 YKN belirlenmiştir. Çalışmada gerekli olan hassasiyet göz önünde bulundurularak birinci derecen poligon dönüşüm kullanılmış ve piksellerin yeniden örnekleme "en yakın komşu yöntemi" kullanılmıştır. Böylece, orijinal piksel değerlerinin korunması sağlanmıştır. SPOT-5 Level 1A ve Aster Level 1A uydu görüntüleri ise, geometrik düzeltilmiş RapidEye Level 1B uydu görüntüsü kullanılarak aynı koordinat sistemine referanslandırılmıştır.

Bitki indekslerinin hesaplanmasında, piksellerin sayısal değerleri (sayısal numaralar ya da parlaklık değerleri, (ing: Digital Number, DN) yerine radyans veya reflektans değerlerinin kullanılması önerilmektedir (Guyot ve Gu, 1994). Çalışmada, kuş türü zenginliği ve mikro-habitat çeşitliliğinin tahmin edilmesinde, görüntü bitki indekslerinden çıkarılan doku özellikleri kullanılacağından, uydu görüntülerinin spektral bantlarının piksel değerleri atmosfer üstü (Top of Atmosfer; TOA) reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece bitki indeksleri daha güvenilir olan fiziksel bir birim temel alınarak hesaplanmıştır. Özellikle, bir katsayı ihtiva eden bitki indekslerinin (örneğin; Toprak Ayarlı bitki indeksi (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI)) hesaplanmasında mutlaka fiziksel radyans veya reflektans değerlerinin kullanılması çok önemli görülmektedir. Katsayı bulunmayan bitki indekslerinde ise (örneğin; Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi, NDVI), reflektans değerleri dikkate alınarak hesaplanan indeks değerleri, herhangi bir atmosferik düzeltme uygulanmadığı sürece, parlaklık değerleri kullanılarak elde edilen indeks değerlerinin doğrusal bir dönüşümü olmaktadır. Kullanılan görüntüler görsel olarak incelendiğinde herhangi bir atmosferik sis gözlemlenmediğinden ve tek bir çerçeve görüntü kullanıldığından, çalışmada atmosferik düzeltme işlemi öngörülmemiştir. Yine de, bazı bitki indeksi değerlerinin hesaplanmasında önemli görüldüğünden ve farklı uydu görüntülerinin NDVI değerlerini kıyaslayabilmek için piksellerin sayısal değerleri TOA reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Normalleştirilmiş Fark Bitki İndekslerinin ( $NDVI_{TOA}$ ) hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmıştır. Çalışmada, NDVI hesaplanmasında, Atmosfer Üstü (TOA) reflektans değerleri kullanıldığından, kısaltma olarak,  $NDVI_{TOA}$  kullanılması uygun görülmüştür (Roy vd., 2014).

$$NDVI_{TOA} = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Formülde; NIR yakın kızılötesi bandın TOA reflektans değerini, R kırmızı bandın TOA reflektans değerini göstermektedir.

## 2.4. Rarefaksiyon eğrileri

Çalışmada rarefaksiyon eğrileri, EstimateS (Win910) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. "Örnek alana dayalı rarefaksiyon eğrilerinin" oluşturulmasında kullanılan formül aşağıda verilmiştir (Ricotta vd., 2002; Rocchini vd., 2011).



$$E[S_n] = \sum_{j=1}^s \left[ 1 - \frac{\binom{N-N_j}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

Burada,  $E[S_n]$  n sayıdaki örnek alandan beklenen tür sayısını, S N sayıdaki örnek alandaki tür sayısı ( $N \geq n$ ),  $N_j$  j türünün bulunduğu örnek alan sayısını göstermektedir.

Kuş türleri ve üç  $NDVI_{TOA}$  görüntüsü için örnek alanlar sütuna, türler ve  $NDVI_{TOA}$  değerleri ise var-yok biçiminde (1,0) satıra kaydedilmek suretiyle bir matris oluşturulmuştur. Oluşturulan matris EstimateS (Win910) programının örnek dosyasıyla uyumlu hale getirilmiştir. Bu yazılım “örnek alana dayalı rarefaksiyon” eğrilerinin oluşturulmasına imkan sağlamaktadır (Colwell, 2013). Sonuç olarak, bir kuş rarefaksiyon eğrisi, 3 adet spektral rarefaksiyon eğrisi oluşturulması işlemi tamamlanmıştır. Kuş zenginliği veri matrisi 40 sütun (örnek alan sayısı) ve 76 satır (kuş türü sayısı); ASTER  $NDVI_{TOA}$  spektral veri matrisi 40 sütun ve 37 satır (piksel değerleri); SPOT  $NDVI_{TOA}$  spektral veri matrisi 40 sütun ve 45 satır (piksel değerleri); son olarak RapidEye  $NDVI_{TOA}$  spektral veri matrisi 40 sütun ve 57 satırdan (piksel değerleri) oluşturulmuştur. Veriler EstimateS programına aktarırken “metin belgesi” olarak düzenlenmiştir.

### 2.5. Veri analizi

Tür ve spektral rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkileri tespit amacıyla regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizi sonucunda iki eğri arasındaki ilişkiye ait  $R^2$  değerleri hesaplanmıştır. Belirtme katsayıları tek başına bir modelin güvenilirliği için yeterli değildir. Bu sebeple çalışmada, gerçek değerler ile bu doğrusal modellerle kestirilen değerler arasındaki farkın, yani hatanın (artıkların), normal dağılım gösterip göstermediği ve tahmin değerleri boyunca eşit biçimde dağılıp dağılmadığı (Homoscedasticity) denetlenmiştir.

Yukarıdaki denetimlerin dışında, çalışmada, tür ve spektral rarefaksiyon eğrilerinin genel eğiliminin (benzerliğinin) karşılaştırılması amacıyla Rocchini vd. (2011) tarafından önerilen, tür ve piksel numaralarının “göreceli artış oranları” da değerlendirmeye alınmıştır. Bu oran, rarefaksiyon eğrisinde örnek alan sayısına karşılık gelen değerlerin bir önceki örnek alan sayısına karşılık gelen değere bölünmesi ile elde edilmektedir. Böylece eğri boyunca bölgesel olarak artış oranlarını karşılaştırma mümkün olmaktadır. Buradan da eğrilerin eğilimleri arasındaki benzerlik anlaşılabilir. Bu amaçla Rocchini vd. (2011) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$Z_n = \frac{\ln(S_{n+1}) - \ln(S_n)}{\ln(n+1) - \ln(n)}$$

$Z_n$ , ölçüğe özel artış oranı;  $S_n$ , n sayıdaki örnek alandaki tür ya da piksel değeri sayısını göstermektedir.

### 3. Bulgular

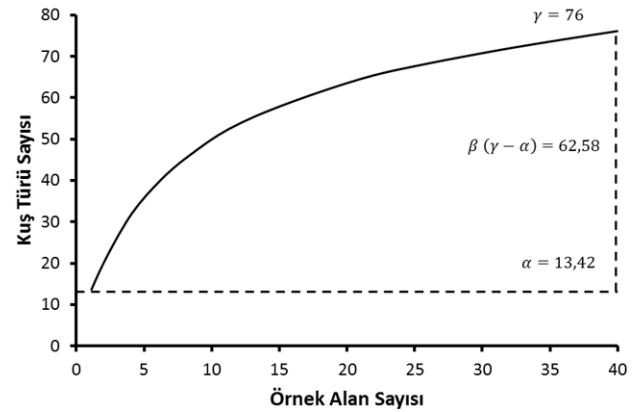
Kuş türü ve spektral rarefaksiyon eğrileri Şekil 5 ve 6’da gösterilmiştir. Kuş türleri için, Gamma ( $\gamma$ ) çeşitlilik 76, Alfa

( $\alpha$ ) çeşitlilik 13,42 ve Beta ( $\beta$ ) çeşitlilik 62,58 olarak hesaplanmıştır. Spektral rarefaksiyon eğrileriyle karşılaştırıldığında, kuş türü rarefaksiyon eğrisinin asimptotuna daha geç ulaştığı görülmektedir. Rarefaksiyon eğrileri elde edildikten sonra, tür ve spektral rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkileri tespit amacıyla bunlara ait serpilme grafikleri oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde, spektral ( $NDVI$  tabanlı) ve tür (kuş türleri) rarefaksiyon eğrileri arasında kuvvetli üstel ilişkiler görülmüştür. İki rarefaksiyon eğrisi arasındaki bu eğrisel ilişkileri ilişkiyi daha sağlıklı biçimde ortaya koyabilmek için, ilk önce verilere logaritmik dönüşüm uygulamak suretiyle ilişkiler doğrusal hale dönüştürülmüştür. Sonuç olarak, hem bağı (tür) hem de bağımsız değişkene (spektral) logaritmik dönüşüm uygulandığından, ilişkileri belirlemek için Log-Log regresyon modelleri kullanılmıştır.

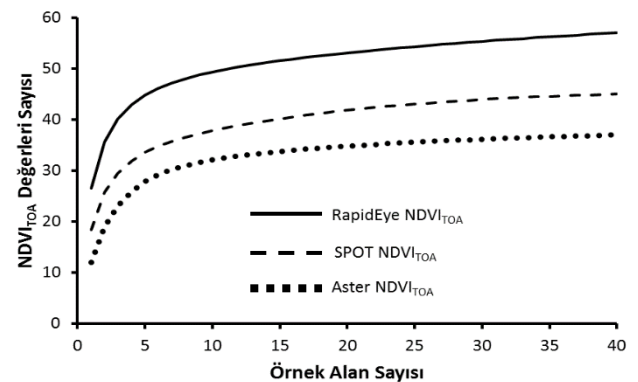
$$\log Y_i = \alpha + \beta \log X_i + \epsilon_i$$

y, tür rarefaksiyon verisi; x, ise spektral rarefaksiyon verisini;  $\epsilon$ , hata terimini ifade etmektedir.

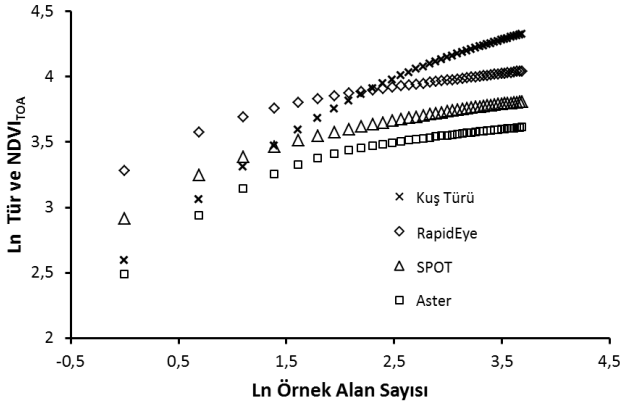
Logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra Tür ve Spektral rarefaksiyon eğrileri ile bunlar arasındaki ilişkileri gösteren grafikler aşağıda verilmiştir (Şekil 7-8).



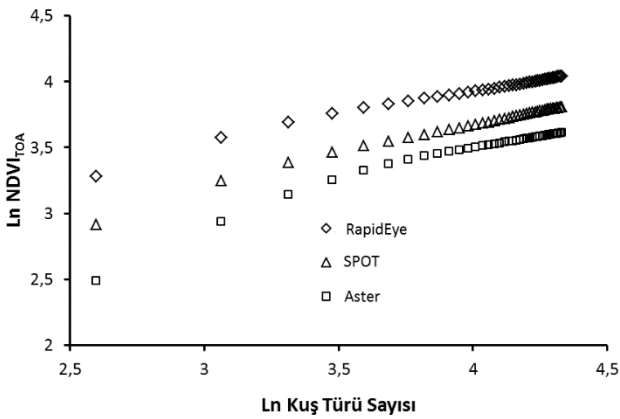
Şekil 5. Örnek alana dayalı hesaplanan kuş türü rarefaksiyon eğrisi



Şekil 6. Örnek alana dayalı hesaplanan spektral rarefaksiyon eğrileri



Şekil 7. Logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra Tür ve Spektral rarefaksiyon eğrileri



Şekil 8. Ln Tür ve Ln Spektral rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkiler

Kullanılan Log-Log doğrusal modellerine göre, kuş türleri için elde edilen rarefaksiyon eğrisi ile üç NDVI<sub>TOA</sub> görüntüsünden hesaplanan rarefaksiyon eğrileri arasında kuvvetli ilişkiler olduğu görülmektedir (Şekil 7-8). Bu ilişkilere ait belirtme katsayıları ( $R^2$  değerleri), RapidEye NDVI<sub>TOA</sub>, SPOT NDVI<sub>TOA</sub> ve Aster NDVI<sub>TOA</sub> görüntüleri için sırasıyla 0,98; 0,99 ve 0,94 olarak hesaplanmıştır. Ancak, elde edilen modellere ait artıkların normal dağılım göstermediği (Çizelge 1) (hem Kolmogorov-Smirnov hem de Shapiro-Wilk normallik testine göre, artıkların dağılımları  $<0.05$  düzeyinde önemli hesaplanmıştır) ve ayrıca tahmin değerleri boyunca çok bariz eğilimler

gösterdiği (değişen varyans, ing: Heteroscedasticity) tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, doğrusal regresyon modellerinin güvenilirliği için temel kabul edilen bu varsayım karşılanamamıştır.

Ayrıca modellerin güvenilirliğini daha iyi ortaya koyabilmek için, örnek alanlar rasgele olarak iki gruba ayrılmıştır. 20 örnek alandan oluşan bu iki grup için, aynı yöntemlerle, hem tür hem de spektral rarefaksiyon eğrileri oluşturulmuştur. Daha sonra birinci gruba ait (eğitim seti) doğrusal ilişkiye ait doğrusal modele ait denkleme, ikinci gruba ait (bağımsız test seti) spektral değerlerin girilmesi suretiyle, ikinci gruba ait tür rarefaksiyon eğrisi değerleri tahmin edilmiştir. Bu işlem tersinden, yani ikinci grup eğitim seti ve birinci grup test seti olmak üzere tekrarlanmıştır. Böylece elde edilen modellerin doğruluğu bağımsız veri setleriyle test edilmiştir. Buna göre bulunan sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Sadece Aster NDVI<sub>TOA</sub> spektral rarefaksiyon eğrilerinin,  $\beta$  değerlerinin kestirilmesinde, göreceli olarak kabul edilebilir tahmin hatası yüzdesine (%3 ve %18) sahip olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 2). Diğer yandan, RapidEye ve SPOT NDVI<sub>TOA</sub> spektral eğrileri kullanılarak yapılan tahminlerin hatalarının ise oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Çapraz doğrulama sonuçları, uydu görüntüsünün çözünürlüğü arttıkça hata yüzdesinin de yükseldiğini göstermiştir.

Sonuç olarak, çalışma alanı için, spektral rarefaksiyon eğrilerine dayalı Log-Log doğrusal regresyon modelleri kullanılarak, kuş türü rarefaksiyon eğrilerini tahmin etmek, i) hata değerlerinin normal dağılmaması, ii) hata değerlerinin tahmin değerleri boyunca varyansının eşit olmaması ve iii) çapraz doğrulama testleri sonucunda tahmin hatalarının yüksek olması (Aster dışında) gerekçelerinden dolayı istatistiksel açıdan sakıncalı görülmüştür. Dolayısıyla, beta ( $\beta$ ) çeşitliliğin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi de olası değildir.

Çizelge 1. Log-Log modelleriyle tahmin edilen kuş türü rarefaksiyon eğrileri için hataların (artıkların) normallik testi

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	istatistik	df	önem	istatistik	df	önem
RapidEye NDVI <sub>TOA</sub>	0,305	40	0,000	0,743	40	0,000
Spot NDVI <sub>TOA</sub>	0,203	40	0,000	0,777	40	0,000
Aster NDVI <sub>TOA</sub>	0,141	40	0,045	0,924	40	0,010

Çizelge 2. Beta ( $\beta$ ) çeşitliliği tahmin modellerinin çapraz doğruluk testi sonuçları

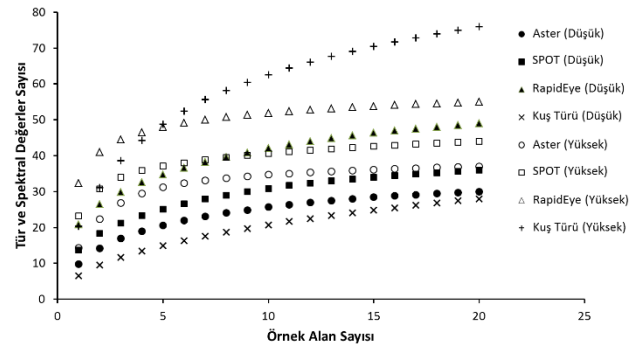
	Birinci Grup (n=20) Gerçek Kuş Türü için $\gamma = 63$ ; $\alpha = 12,26$ ; $\beta = 50,74$			İkinci Grup (n=20) Gerçek Kuş Türü için $\gamma = 63$ ; $\alpha = 12,36$ ; $\beta = 50,64$		
	Aster	RapidEye	SPOT	Aster	RapidEye	SPOT
$R^2$	0,96	0,97	0,98	0,94	0,95	0,94
$\alpha$	9,1	10,39	12,7	11,18	9,82	8,33
$\gamma$	61,1	71	85,2	52,74	48,87	41,41
$\beta$	52	60,6	72,51	41,55	39,04	33,07
$\beta$ Hata	1,28	9,89	21,77	-9,08	-11,5	-17,5
$\beta$ Hata %	0,03	0,19	0,43	-0,18	-0,23	0,35

Çalışmada ayrıca, kuş türü zenginliği bakımından yüksek ve düşük örnek alanların birbirlerinden bağımsız olarak rarefaksiyon eğrilerinin davranışları incelenmiştir. Sonra bu iki gruba ait spektral rarefaksiyon eğrilerinin durumu değerlendirilmiştir. Başka bir ifadeyle, spektral rarefaksiyon eğrileri temel alınarak, bir alanda, kuş türü zenginliği bakımından dolayısıyla da biyolojik çeşitlilik bakımından bir karşılaştırma yapmanın mümkün olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu amaçla, 40 örnek alan; 1) kuş türü sayısının az gözlemlendiği (Düşük) ve 2) çok gözlemlendiği (Yüksek) olmak üzere, iki gruba ayrılmıştır. Bu iki grubun birbirinden bağımsız olarak, tür ve spektral rarefaksiyon eğrileri hesaplanmıştır. Elde edilen rarefaksiyon eğrileri Şekil 9'daki grafikte verilmiştir.

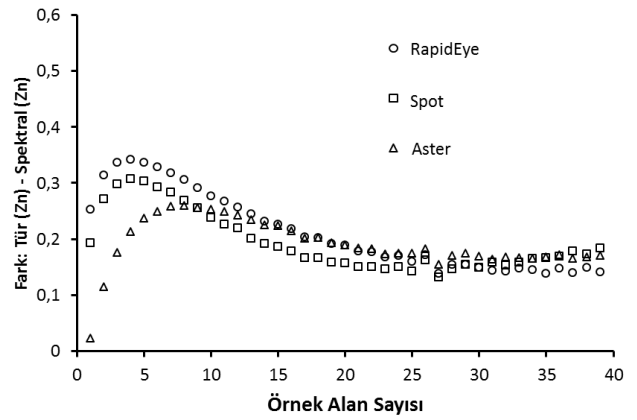
Şekil 9'deki grafikten, Spektral  $\beta$  değerleri ile Kuş türü  $\beta$  değerleri karşılaştırıldığında, kuş türü çeşitliliğinin yüksek ve düşük olduğu alanlar arasında, spektral rarefaksiyon eğrilerden elde edilen  $\beta$  değerleri arasında farklılıkların az olduğu açıkça görülmektedir. Oysa bu iki grup arasında, kuş türü  $\beta$  çeşitliliği bakımından, iki kattan fazla bir farklılık göze çarpmaktadır. Dolayısıyla, beklenen aksine, spektral rarefaksiyon eğrilerinden hesaplanan piksel numaralarına (değerlerine) dayalı  $\beta$  çeşitliliğinin, gerçek kuş türü  $\beta$  çeşitliliği temsil etmediği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, spektral rarefaksiyon eğrileri kullanılarak toplam kuş türü çeşitliliği ( $\gamma$ ) bakımından bir karşılaştırılma yapılması mümkün görülmektedir. Ayrıca kullanılan farklı çözünürlükteki üç NDVI<sub>TOA</sub> görüntüsünden türetilen spektral rarefaksiyon eğrilerine bakılarak, hangi bölgenin kuş türü  $\gamma$  çeşitliliğinin daha yüksek olabileceği tahmin edilebilir.

Spektral rarefaksiyon eğrilerinin kullanılabilirliği konusunda son bir denetim daha yapılmıştır. Bu amaçla, Rocchini vd. (2011) tarafından önerilen "göreceli artış oranları" formülüne dayanarak, kuş türü rarefaksiyon eğrisi ile üç NDVI<sub>TOA</sub> rarefaksiyon eğrisi için  $z_n$  değerleri elde edilmiştir. Daha sonra kuş türü  $z_n$  değerlerinden spektral  $z_n$  değerli çıkarılmak suretiyle ( $Kuş z_n - NDVI z_n$ ) eğriler arasındaki farklar hesaplanmıştır. Örnek alanlar boyunca iki eğrinin eğimi birbirine benzerse "artış oranları ( $z_n$ )" birbirine yaklaşacağından, fark değerleri birbirine yakın hesaplanmaktadır. Bu durumda fark ( $Kuş z_n - NDVI z_n$ ) değerleri örnek alan sayısı boyunca sifira yakın olur ve düz bir hat boyunca dizilir. Ters olduğu ise  $z_n$  değerleri arasındaki farklar artacağından, değerler sıfır çizgisinden uzaklaşır. Sonuç olarak  $z_n$  değerleri arasındaki farkları oluşturacağı eğri ne kadar sıfır çizgisine yakın olursa, spektral rarefaksiyon eğrisinin tür rarefaksiyon eğrisini temsil ettiği söylenebilir. Böyle bir durumda spektral rarefaksiyon eğrilerinden hesaplanan  $\beta$  çeşitlilik, o coğrafi bölgenin kuş türü  $\beta$  çeşitliliğinin tahmin edilmesinde ve yapılacak çeşitlilik karşılaştırmalarında kullanılabilir. Şekil 10'da örnek alan sayısı boyunca hesaplanan  $z_n$  değeri farkları gösterilmiştir.

Şekil 10'daki grafiklere dayanarak, Aster NDVI<sub>TOA</sub> rarefaksiyon eğrisinin, tür rarefaksiyon eğrisi ile en uyumlu eğri olduğu görülmektedir. Üç NDVI<sub>TOA</sub> rarefaksiyon eğrisi için hesaplanan  $z_n$  değerleri arasındaki farkların en yüksek olduğu bölge, örnek alan sayısının ilk 10'luk kısmında bulunmaktadır. Bu durum bize, NDVI<sub>TOA</sub> rarefaksiyon eğrilerinin tür rarefaksiyon eğrisine göre daha çabuk asimptotuna ulaştıklarını göstermektedir.



Şekil 9. Gözlemlenen kuş türü sayısının yüksek ve düşük olduğu örnek alanların gruplandırılmasıyla elde edilen tür ve spektral rarefaksiyon eğrileri



Şekil 10. Artış oranı farklarının ( $Kuş z_n - NDVI z_n$ ) ile örnek alan sayısı boyunca dağılımı

#### 4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, kızılçam orman ekosistemlerini temsil eden bir coğrafi bölgede, kuş türü rarefaksiyon eğrileri ile uydu verilerinden türetilen spektral rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu ilişkilere dayalı olarak, üç farklı çözünürlüklü NDVI<sub>TOA</sub> görüntüsüne ait spektral rarefaksiyon eğrilerini kullanarak, kuş türü rarefaksiyon eğrisinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma bulguları, spektral rarefaksiyon eğrileri ile kuş türü rarefaksiyon eğrisinin genel eğilimi arasında ciddi farklılıklar olduğunu ve bu durumda uydu görüntülerine dayalı bir tahminin yapılamayacağını göstermiştir. Literatürde çalışma konusuyla doğrudan ilgili bir araştırma bulunmadığından, çalışma sonuçlarının karşılaştırılması ve tartışılması mümkün olmamıştır. Diğer taraftan, literatürde, çok kanallı uydu görüntülerinden çıkarılan, Birinci Ana Bileşen ve NDVI görüntülerinden türetilen rarefaksiyon eğrileri kullanılarak, bitki türü çeşitliliğinin  $\beta$  düzeyinde tahmin edildiği çalışmalara sıkça rastlanmaktadır.

İsviçre ve İtalya'da gerçekleştirilen ve bitki türü zenginliğine dayalı yapılan bu çalışmalarda, uydu verilerinin önemli bir veri kaynağı olduğu belirtilmektedir (Rocchini vd., 2009a; Rocchini vd., 2009b; Rocchini vd., 2011). Bu incelemelerde, spektral ve tür rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkilerin tespit edilebildiği ve buradan da  $\beta$

çeşitliliğin tahmin edileceği iddia edilse de, ilişkiyi sayısal olarak gösteren bir analizin ortaya koyulmadığı görülmektedir. Çalışmalarda daha çok, spektral ve bitki türü rarefaksiyon eğrilerinin grafik olarak birbirine benzerliği vurgulanmış ve buradan biyolojik çeşitlilikle ilgili çıkarımlar yapılmıştır. Bu çalışmaların sadece birisinde ilişkileri tespit etmek amaçlı bazı istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Rocchini vd. (2011) tarafından İsviçre Alplerinde yapılan bu çalışmada, spektral ve bitki türü rarefaksiyon eğrilerinin logaritmaları alındıktan sonra, bunların “artış oranları” arasındaki ilişkiler LOWESS (bölgesel ağırlıklı dağılım düzleştirme) yöntemiyle incelenmiştir. Artış oranları arasında çok güçlü ilişkiler bulunmuştur. Ancak, bu istatistiksel analize dayalı olarak, tür ve spektral rarefaksiyon eğrileri arasındaki eğilimi ya da benzerliği ortaya koyma noktasındaki belirsizliklerin devam ettiği değerlendirilmektedir. “Artış oranları” arasındaki benzerliği ortaya koyma konusunda sunulan bu çalışmada önerilen yaklaşımın daha sağlıklı olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada incelenen uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüğünün (5 m, 10 m, 15 m) spektral ve kuş türü rarefaksiyon eğrileri arasındaki ilişkiler açısından önemli olmadığı söylenebilir. Özellikle çok yüksek çözünürlüklü görüntülerde oluşan gürültü etkisi sebebiyle, kuş türü sayısının düşük olduğu homojen meşcerelerde, çok fazla sayıda NDVI<sub>TOA</sub> değeri meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, meşcere çatısındaki ağaç tepeleri arasındaki boşluklar ve farklı aydınlanma koşulları yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsündeki piksellerin varyasyonunu arttırmaktadır. Yani piksel değerleri; ağaç tepesinin aydınlık kısmına, ağaç tepesinin gölge kısmına ve tepe boşluğuna ya da bunlara karışık biçimde isabet etmesine göre değişiklik göstermektedir. Böylece, örnek alan içindeki piksellerin spektral varyasyonun artmasına ve tam tersine örnek alanlar arasındaki spektral varyasyonun azalmasına yol açmaktadır. Bu durumda rarefaksiyon eğrisi asimptotuna çabuk ulaşmakta ve spektral  $\bar{\alpha}$  değeri daha yüksek hesaplanmaktadır. Neticede, yapısal olarak heterojen ve homojen olan (kuş türü bakımından da farklı) iki örnek alan spektral olarak benzer olmaktadır.

Bu çalışma, kuş gözlemlerinin güçlüğünden kaynaklanan gerekçelerden, küçük bir coğrafi alanda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, çalışılan yörede, 15 m çözünürlüğün altındaki uydu görüntüleriyle, kuş türü rarefaksiyon eğrilerini ve buradan  $\beta$  çeşitliliği tahmin edilmesinin mümkün olmadığını göstermiştir. Benzer çalışmaların daha kaba çözünürlüklü uydu görüntüleriyle daha geniş coğrafyalarda tekrarlanması, spektral rarefaksiyon eğrilerinin potansiyelinin daha iyi anlaşılması bakımından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir (Proje No: TOVAK 1150476)

## Kaynaklar

- Bibby, C.J., Burgess, N.D., Hill, D.A. 1992. Bird Census Techniques. Academic Press. 257 s.
- Brooks, T., Balmford, A., Burgess, N., Hansen, L. A., Moore, J., Rahbek, C., Williams, P., Bennun, L., Byaruhanga, A., Kasoma, P., Njoroge, P., Pomeroy, D., Wondafrash, M., 2001. Conservation priorities for birds and biodiversity: do East African important bird areas represent species diversity in other terrestrial vertebrate groups?. *Ostrich Suppl.*, 15: 3–12.
- Colwell, 2013. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, USA, EstimatesS 9.1.0. User's Guide, <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstSUsersGuide/EstimateSUsersGuide.htm>, Erişim: 12.12.2016.
- Colwell, R.K., Mao, C.X., Chang, J., 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10): 2717-2727.
- Crist, T.O., Veech, J.A., 2006. Additive partitioning of rarefaction curves and species-area relationships: Unifying  $\alpha$ -,  $\beta$ -and  $\gamma$ -diversity with sample size and habitat area. *Ecology Letters*, 9(8): 923-932.
- Gotelli, N.J., Colwell, R.K., 2001. Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4): 379-391.
- Gotelli, N.J., Colwell, R.K., 2011. Estimating Species Richness. In: Magurran E.A., McGill J.B., (Ed.), *Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press Inc., New York, pp. 39-54.
- Guyot, G., Gu, X.F., 1994. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT-HRV and Landsat-TM data. *Remote Sensing of Environment*, 49(3): 169-180.
- Işık, D., Uğurlu, E., 2011. Bitki komünitelerinde beta çeşitlilik. *Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(1): 154-171.
- Lande, R., 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76(1): 5-13.
- Özçelik, R., 2006. Biyolojik çeşitliliği korumaya yönelik yapılan (planlama ve koruma) çalışmalar ve Türkiye ormancılığına yansımaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2(A): 23-36.
- Özdemir, İ., Mert, A., Şentürk, Ö., 2012. Predicting landscape structural metrics using aster satellite data. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(2): 168-176.
- Özkan, K., 2016. Biyolojik Çeşitlilik Bileşenleri ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) Nasıl Ölçülür? Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, SDÜ Basımevi, Isparta.
- Ricotta, C., Carranza, M.L., Avena, G., 2002. Computing  $\beta$ -diversity from species-area curves. *Basic and Applied Ecology*, 3(1): 15-18.
- Rocchini, D., McGlenn, D., Ricotta, C., Neteler, M., Wohlgemuth, T., 2011. Landscape complexity and spatial scale influence the relationship between remotely sensed spectral diversity and survey based plant species richness. *Journal of Vegetation Science*, 22(4): 688-698.



- Rocchini, D., Ricotta, C., Chiarucci, A., De Dominicis, V., Cirillo, I., Maccherini, S., 2009a. Relating spectral and species diversity through rarefaction curves. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10): 2705-2711.
- Rocchini, D., Wohlgemuth, T., Ricotta, C., Ghisleni, S., Stefanini, A., Chiarucci, A., 2009b. Rarefaction theory applied to satellite imagery for relating spectral and species diversity. *Rivista Italiana Di Telerilevamento*, 41(2): 109-123.
- Whittaker R., 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3): 213-251
- Wooley, J.C., Godzik, A., Friedberg, I., 2010. A primer on metagenomics. *PLoS Computational Biology*, 6(2): e1000667, <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000667>.