



## **Toprak Üstü Biyokütle Potansiyelinin CBS ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi – Yeni Bir Yaklaşım**

### **Assessment of Aboveground Biomass Potential by GIS and Remote Sensing – A New Approach**

**Fulya Aydın-Kandemir<sup>1</sup> , Hasan Sarptaş<sup>2\*</sup> **

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Ens., 35100, İzmir, TÜRKİYE ve Hidropolitik Akademi, 06680 K.dere, Ankara, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, 35100, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [hasan.sarptas@ege.edu.tr](mailto:hasan.sarptas@ege.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 19.05.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 23.09.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247016

*Atıf şekli/How to cite:* KANDEMİR, F.A., SARPTAŞ, H.(2022). Toprak Üstü Biyokütle Potansiyelinin CBS ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi – Yeni Bir Yaklaşım. *DEUFMD*, 24(70), 165-178.

#### **Öz**

Ülkemizde potansiyel açısından en önemli biyokütle kaynağı konumunda olan orman biyokütlesinin alansal dağılımının belirlenmesi, biyokütle stoklarının izlenmesi ve orman biyokütlesinden enerji üretimi projelerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliğinin saptanması açısından kritik öneme sahiptir. Orman envanterlerinde tek tek her ağaç için yapılan yaş, boy, çap ve gövde hacmi gibi arazi ölçümleri ve hesaplamalarına göre önemli avantajlar sunan Uzaktan Algılama (UZ-AL) tekniği ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin entegrasyonu, biyokütle potansiyelinin daha kapsamlı ve hızlı bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada, orman biyokütle potansiyelinin tahminlenmesi (haritalanması) için CBS ve UZ-AL tekniklerini bütünleştiren bir yöntem geliştirilmesi ve örnek bir çalışma bölgesinde uygulanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, çalışma bölgesi olarak seçilen Bergama İncecikler Orman Şefliği sınırlarındaki toprak üstü biyokütle (TÜB) potansiyeli, ormanlardaki karbon hesaplanmasında kullanılan yaklaşımla tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *biyokütle, toprak üstü biyokütle (TÜB), coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, SENTINEL-2*

#### **Abstract**

Assessment of the spatial distribution of forest biomass, which is the most important biomass source in terms of potential in Turkey, has a critical prospect for monitoring biomass stocks and determining the technical and economic feasibility of energy production projects from forest biomass. The integration of Geographical Information Systems (GIS) with Remote Sensing (RS) technique, which provides significant advantages according to land measurements and calculations such as age, height, diameter and trunk volume for each individual tree in forest inventories, provides a more comprehensive and faster biomass potential estimation. For this respect, this study aims to develop a method integrating GIS and RS techniques for the estimation (mapping) of forest biomass potential and to implement it in a case study area. Within the scope of the study, above-ground biomass potential for Bergama İncecikler Forestry Area has been determined by IPCC method.

**Keywords:** *biomass, aboveground biomass (AGB), geographic information system, remote sensing, SENTINEL-2*

## 1. Giriş

Orman biyokütlesi, yapı malzemesi olarak, kâğıt hamuru ve kâğıt üretiminde ve yakıt olarak enerji üretiminde önemli bir hammadDEDİR. Bununla birlikte, ormanlar, odunsu biyokütleleri içinde büyük miktarlarda karbon yakalayıp depoladıkları için dünya iklimi için önemli bir düzenleyici olarak da tanımlanır [1],[2]. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 1997 Kyoto Protokolü'nün kabul edilmesinden sonra, karbondioksitin büyük karasal depolayıcısı - ve kaynağı - olarak ormanların rolü daha da anlaşılmiştir [3].

Orman biyokütlesi, binlerce yıldır kullanılan en eski enerji kaynağıdır. Günümüzde enerji arzında ana kaynak konumundaki fosil yakıtların azalan rezervleri, artan üretim maliyetleri, enerjide dışa bağımlılık ve iklim değişikliği başta olmak üzere ciddi çevre sorunları gibi önemli dezavantajları nedeniyle, diğer yenilenebilir enerji formları yanında orman biyokütlesi, enerji kaynağı olarak yeniden önem kazanmıştır. Ülkemizde halen elde edilmekte olan biyokütle enerjisinin %64'ü odun ve odun atıklarından, %24'ü kentsel katı atıklarından, %5'i tarımsal atıklardan ve %5'i ise katı atık depo gazından üretilmektedir [4]. Bu açıdan değerlendirildiğinde, bölgesel ya da ulusal ölçekte biyokütle varlığının ortaya konmasında orman biyokütlesinin önemi büyüktür.

Orman ekosistemleri büyük miktarlarda karbon barındırdığı için bölgesel ve küresel karbon (C) çevriminde önemli bir role sahiptir [3, 5-11]. Bu nedenle de ormanların içerdiği karbon (biyokütle) miktarının doğru şekilde tahmini konusunda artan bir ihtiyaç söz konusudur. Ekosistemin üretkenliği, karbon bütçeleri, besin dağılımları - ve biyokütlenin sahip olduğu - yakıt potansiyelinin tahmini için, toprak üstü biyokütle (TÜB) kaynakları ile ilgili bilgilerin (mevcudiyeti, alansal ve zamansal değişimi, vb.) üretilmesi gerekmektedir. Toprak üstü orman biyokütlesinin haritalanması, biyoenerji potansiyelinin tahmini, arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerinden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının tahmini ve karbon (biyokütle) stoklarının izlenmesi için temel öneme sahiptir [9].

Toprak üstü orman biyokütlesi potansiyeli (karbon stoğu), klasik olarak arazi ölçümleri ile elde edilen değerler esas alınarak hesaplanır.

Emek yoğun ve zaman alıcı bu yöntem alternatif bir yöntem, yeni ve etkin bir yaklaşım sağlayan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UZ-AL) teknikleri desteği ile tahminlemedir. UZ-AL, arada mekanik bir bağlantı olmaksızın bir cisimden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik ışınının nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilmesi ile cismin özelliklerinin uzaktan ortaya konması ve ölçülmesine dayanmaktadır [12],[13]. UZ-AL teknikleri sayesinde yeryüzünden belli bir uzaklıkta, atmosfer veya uzaydaki platformlara yerleştirilmiş ölçüm aletleri aracılığıyla, yeryüzü ve yeryüzü objeleri görüntülenebilmektedir [14],[15]. Bu yolla özellikle son yıllarda, uydu görüntülerinin artan mevcudiyeti/ulaşılabilirliği sayesinde, UZ-AL tabanlı yöntemler, toprak üstü biyokütle tahmininde en çok kullanılan yaklaşımlar olmuştur.

UZ-AL alanındaki gelişmeler, orman biyokütlesinin tahmini için yeni ve etkin bir yol açmıştır. UZ-AL teknikleri sayesinde üretilen görüntülerin yorumlanması ve bu görüntülerden bilgi elde edilmesi amacı ile gerçekleştirilen piksel tabanlı ve nesne tabanlı (segmentasyon) görüntü sınıflandırma teknikleri, arazide ölçüm gibi yaklaşımlara göre daha hızlı ve pratik sonuçlar vermektedir. Meinel ve Neubert [16]'e göre, UZ-AL'da görüntü çözünürlüğünün artması, piksel tabanlı sınıflandırma teknikleriyle birlikte özellikle segmentasyon yöntemlerine daha da önem kazandırmaktadır.

UZ-AL aracılığıyla üretilen veriler, düşünsel değil, farklı teknikler kullanılarak elde edilen yer yüzeyini ölçmeye dayalı bilgiler olduğundan bilgisayar destekli konumsal bilgi işleme, depolama ve arşivleme sistemi olan CBS için önemli bir veri kaynağıdır [15, 17]. UZ-AL ile çok kısa zaman aralıklarında ve çok geniş arazi parçaları hakkında veri elde edilebilir [17]. Geniş alanlarla ilgili bilgiler, CBS ortamına aktarıldığında analiz edilebilir ve diğer verilerle birleştirilebilir [18].

Tüm bu bilgilerin ışığında arazi ölçümleri, jeostatistik enterpolasyon tekniklerinin kullanıldığı modelleme yaklaşımları, UZ-AL ve CBS teknikleri aracılığıyla toprak üstü biyokütle potansiyeli tahmin edilebilmektedir. Uzaktan algılama görüntülerinden elde edilen veriler ile arazi ölçümlerinin ve jeostatistik enterpolasyon tekniklerinin birleştirilmesi orman biyokütle

kaynaklarının daha yüksek doğrulukla haritalanmasını sağlar.

UZ-AL ile toprak üstü orman biyokütle potansiyeli belirleme çalışmalarında, yukarıda belirtildiği üzere, genellikle arazi ölçümleri temel alınarak tahminleme yapılmaktadır. Ancak bu ölçümlere geniş ölçekte, yeterli konumsal hassasiyette ve güncel olarak ulaşmanın zorluğu dikkate alınarak bu çalışmada arazi ölçümleri olmadan UZ-AL, görüntü işleme ve CBS teknikleri ile toprak üstü orman biyokütle potansiyelinin tahminlenmesi için nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımının geliştirilmesi ve örnek bir çalışma sahasına uygulanması amaçlanmıştır.

## 2. Önceki Çalışmalar

UZ-AL ve görüntü işleme teknikleri ile görüntü sınıflandırma yöntemleri ve orman biyokütle potansiyelinin (karbon depolama kapasitesi) ve bu potansiyelin zamana bağlı değişiminin UZ-AL ile belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır.

Askar vd. [19] Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak türetilen vejetasyon (bitki örtüsü) indekslerinden özel ormanların toprak üstü biyokütlesini (TÜB) tahminleme potansiyelini araştırmıştır. Bu amaçla 45 örnek parsel ve 7 vejetasyon indeksi çalışılmış ve Normalized Difference Edilmiş Fark İndeksi (Normalized Difference Index-NDI) ile TÜB arasında en yüksek korelasyonu ( $R^2 = 0.79$ ) sağladığı saptanmıştır. Burada, TÜB ve bitki örtüsü indeksleri arasında model oluşturmak için aşamalı doğrusal regresyon ( $R^2 = 0.81$ ) kullanılmıştır. Ayrıca, konumsal analiz sonucunda çalışma alanındaki toprak üstü biyokütlesinin 72.54 ton/ha olduğu tespit edilmiştir. Öngörülen ve gözlenen toprak üstü biyokütle için kök ortalama kare hatası (*root mean square error* - RMSE) ise 27 ton/ha olarak bulunmuştur. Çalışma alanındaki toprak üstü biyokütle değerinin bazı orman türlerindeki toprak üstü biyokütle değerinden daha yüksek olduğu ve özel ormanların biyokütle depolaması için iyi bir seçenek oluşturduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, Sentinel-2 çok-bantlı görüntüleri ile oluşturulan bitki örtüsü indekslerinin, özel ormanlar için toprak üstü biyokütle raporlanması açısından iyi sonuç sağladığı ortaya konmuştur.

Goodenough vd. [20] Kanada'da yaptıkları çalışmada hiperspektral AISA Eagle verilerini

AVIRIS verileri ile karşılaştırmıştır. Burada iki metre yersel çözünürlüklü AISA verileri ve LIDAR verileri, Victoria Üniversitesi (UVic) tarafından Büyük Victoria Havza Bölgesi (GVWD) test alanı için elde edilmiş ve NASA'nın 2002 yılına ait 4 m yersel çözünürlükte elde edilen AVIRIS verileri ile karşılaştırılmıştır. LIDAR verileri, toprak üstü biyokütle tahminlerini sağlamak için ağaç yüksekliklerinin tespiti ve allometrik denklemlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yapılan çalışmada her iki görüntünün de makul orman TÜB tahminlerinin türetilmesinde başarıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir. Özellikle ana orman türleri için ortalama sınıflandırma doğruluğu %89 olarak hesaplanmıştır.

Verkerk vd. [21] odunsu biyokütle potansiyellerinin 2020 yılı için konumsal dağılımını, kök odun, artıklar (dallar ve hasat kayıpları) ve ağaç kütüğü bazında 39 Avrupa ülkesi için değerlendirmiştir. Çalışmada Avrupa Orman Bilgi modeli (SCENario - EFISCEN) ve uluslararası orman istatistikleri kullanılmış ve büyüyen stok ve artış ve orman yönetimi rejimlerine dayanarak orman yaş yapısının mevcut ve gelecekteki gelişiminin elde edebileceği teorik biyokütle miktarı tahmin edilmiştir. Elde edilen bu tahminler, potansiyel olarak odunsu biyokütle miktarını azaltan bir dizi olası çevresel (saha verimliliği, toprak ve su koruma ve biyoçeşitlilik koruması) ve teknik (geri kazanım oranı, toprak taşıma kapasitesi) kısıtlamalar ile birleştirilmiştir. Bunların yanı sıra odunsu biyokütle potansiyellerinin konumsal dağılımına ilişkin bilgi edinmek için idari birimler düzeyinde ve 10 km yersel çözünürlükte potansiyel biyokütle kullanılabilirliği haritalanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, orman biyokütlesinin toplam kullanılabilirliğinin yılda 357 ile 551 milyon ton kuru madde arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Birim arazi başına en büyük odunsu biyokütle kaynağının kuzey Avrupa (güney Finlandiya ve İsveç, Estonya ve Letonya), orta Avrupa (Avusturya, Çek Cumhuriyeti ve güney Almanya), Slovenya, güneybatı Fransa ve Portekiz'de bulunduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, bu potansiyellerin büyük bir kısmının halihazırda malzeme ve enerji için kullanılmakta olduğu da çalışmada belirtilmiştir. Halen kullanılmayan biyokütle potansiyellerinin dağılımının ise günümüzde yüksek seviyede odun üretimine sahip bölgelerle kısmen

örtüşmekte olduğu ifade edilen bir diğer sonuçtur.

Özkan [22], SPOT-5 uydu verileri segmentasyonunda orman meşcere tiplerinin ayrılabilirliğini ve uydu görüntüleri reflektans (yansıma) değerleri ile meşcere parametrelerinin tahminlenebilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, amenajman planı düzenlemesi amacıyla meşcere tipleri ayrımının SPOT-5 verisi ile yapılamayacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte üretilen verinin ulusal veya bölgesel bazda orman envanterlerinde kullanılmasının olanaklı olacağı belirlenmiştir.

Artvin ve Bulanıkdere işletme şeflikleri için Sivrikaya vd. tarafından Landsat ETM+ verileri ve yeniden sınıflandırılmış meşcere haritaları kullanılarak arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur [23]. Arazi kullanım haritalarının doğruluğu test edilerek bu iki şeflik için de bu haritaların kullanılabilirliği saptanmıştır.

Chhabra vd. [24], 1992-93 yılları için Orman Bakanlığı tarafından toplam toprak biyokütlesinin (yer üstü ve yeraltı dahil) üç farklı tepe yoğunluğu sınıfında (çok yoğun ormanlar ile - taç örtüsü % 70 ve üstü, taç örtüsü % 40, ve taç örtüsü %10 ila %40 arasında olan açık ormanlar) dört ana orman kategorisine (sert kerestelik, ladin, çam ve bambu) gruplandırıldığı Hint ormanlarını incelemiştir. Çalışmada, büyüyen stok hacmi, büyüyen stok hacmi yoğunluğunun fonksiyonu olarak ve biyokütle genişleme faktörleri kullanılarak toplam biyokütleye dönüştürülmüştür. Hindistan ormanlarında 1992-93 çalışma yılı için ortalama büyüyen stok hacmi yoğunluğu 74.42 m<sup>3</sup>/ha iken Pencap'ta bu değer 7.1 m<sup>3</sup>/ha ile Jammu ve Kaşmir'de 224.5 m<sup>3</sup>/ha arasında değiştiği görülmüştür. Toplam biyokütlenin (toprağın üstünde ve toprağın altında) 8683.7 Mt (Mt = 1012 g) olarak tahmin edildiği bu çalışmada toprak üstü ve altı biyokütlesinin toplam biyokütleyle sırasıyla % 79 ve % 21 (6865.1 Mt ve 1818.7 Mt) oranlarında katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Hint ormanlarındaki ortalama biyokütle yoğunluğunun 135.6 t/ha olduğu ve bu değer Pencap'ta 27.4 t/ha'den Jammu ve Kaşmir'de 251.8 t/ha'e değiştiği tahminlenmiştir. Tahminler, ilgili süre için 4400-8700 Mt aralığında biyokütle tahmin eden önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, artan stok hacmi

yoğunluğunun, dört orman tipi ve Hint ormanlarının üç tepe yoğunluğu sınıfının bir fonksiyonu olarak odun hacmini biyokütle ile ilişkilendiren biyokütle genişleme faktörlerini içerdiğinden önceki tahminlerden yüksek olduğu belirtilmiştir.

Iverson vd. [25] tarafından yapılan çalışmada Güney ve Güneydoğu Asya'daki tropikal ormanların toplam biyokütle ve biyokütle yoğunluğunu tahmin etmek için CBS teknikleri kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle, insan veya doğal etkiler olmadığında beklenen biyokütle yoğunluğu modellenmiştir. Bu değer, yükseklik, toprak, eğim, yağış ve iklim endeksindeki CBS verilerinden elde edilmiştir. Dokuz ülke için toplam orman biyokütlesinin 176 Pg ve ortalama potansiyel biyokütle yoğunluğunun (PBD) 322 Mg/ha olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde potansiyel orman biyokütle haritası, 1980 için orman haritası ile maskelenmiş, böylece 1980'de ormanlardaki meydana gelen potansiyel biyokütle yoğunluğunun haritalanması sağlanmıştır. Bu konular için toplam potansiyel biyokütle tahmininin 63 Pg olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaya, daha sonra, nüfus yoğunluğunun etkisi de dâhil edilmiştir. 1980 yılında toplam gerçek orman biyokütlesinin ormanlık alanlardaki potansiyel biyokütlenin % 52'sinin ve tüm alt kıtadaki potansiyel biyokütlenin % 19'unun azalmasını temsil eden 33 Pg olduğu tespit edilmiştir. 1980 yılı Güney ve Güneydoğu Asya tropik ormanları için gerçek biyokütle yoğunluğunun (ABD) 194 mg/ha veya insan aktivitesi ve doğal etkiler olmadan öngörülen biyokütle yoğunluğunun % 52'si olduğu tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışmada gerçekleştirilen yöntemin tropik bölgelerde biyokütle ve biyokütle değişimini tahmin edebileceği ifade edilmektedir.

Hongrui vd. [26], İç Moğolistan'daki çöl bozkırının biyokütlesini kırmızı kenar yansıma eğrisi alanı yöntemine göre tahmin etmiştir. Sonuçlar, kırmızı kenar yansıma eğrisi alanının (normalleştirilmiş yansıma eğrisi ile 680-780 nm bölgesindeki dalga boyu arasında) geleneksel bitki örtüsü indeksleri veya tek başına kırmızı kenar pozisyonu ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu yöntem, optimal dar-bant oranlı vejetasyon indeksine (37.4 gm<sup>-2</sup>) kıyasla daha düşük standart tahmin hatası (26.4 gm<sup>-2</sup>) ile sonuçlanmıştır [27].

### 3. Veri ve Yöntem

#### 3.1. Araştırma Sahası

Bu çalışmada, araştırma sahası olarak İzmir ili Bergama ilçesinde yer alan İncecikler Orman İşletme Şefliği seçilmiştir. Bu şeflik, özellikle Bergama Kozak Yaylası ve civarındaki orman varlığının önemli bir bölümünü barındırdığı için sahip olduğu biyokütle potansiyeli nedeniyle ele alınmıştır. İncecikler Orman İşletme Şefliğinin güneyinde Bergama, kuzeyinde Kozak, doğusunda Madra ve batısında ise Dikili orman işletme şeflikleri yer almaktadır (Şekil 1).

#### 3.2. Veriler

##### 3.2.1. Araştırma sahası sınırları

Araştırma sahası olan İncecikler Orman İşletme Şefliği sınırları (Şekil 1), Orman ve Su İşleri Bakanlığı Geodata servisinde yer alan orman işletme şeflikleri sınırları verisi kullanılarak sayısallaştırma ile oluşturulmuştur. Saha toplam olarak 10056 ha'lık bir alanı kapsamaktadır.



Şekil 1. Araştırma sahası (OGM GeoData)

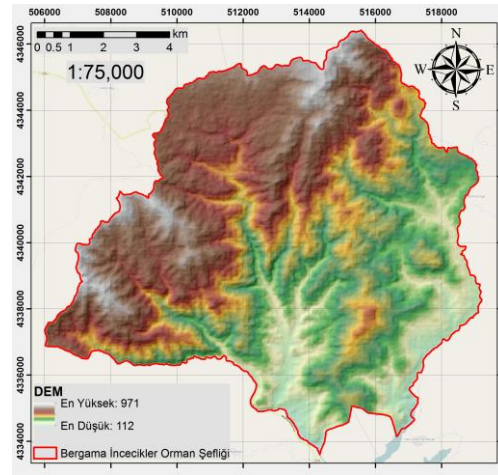
##### 3.2.2. Saha topografyası

Saha topografyasına ait sayısal yükseklik modeli verisi Japonya Ekonomi, Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (METI) ile ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından ortaklaşa hazırlanan ve ücretsiz olarak dağıtılan ASTER GDEM v2 veritabanından temin edilmiştir [28]. Araştırma sahasındaki arazi yükseklikleri 112 - 971 m arasında değişmektedir (Şekil 2).

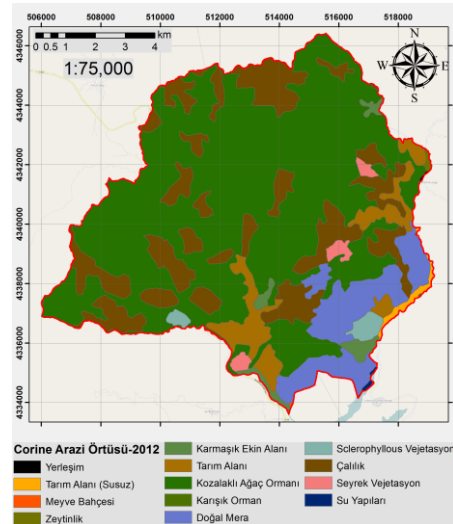
##### 3.2.3. Arazi örtüsü / kullanımı

Ülkemizin de üyesi olduğu Avrupa Çevre Ajansı, CORINE (Coordination of Information on the

Environment – Çevresel Bilginin Koordinasyonu) Programı kapsamında, tüm Avrupa için uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama yöntemi ile arazi sınıflandırması ile arazi örtüsü / kullanımı verisi üretilmektedir. Bu çalışmada, araştırma sahasındaki arazi örtüsü / kullanımını ortaya koymak için, CORINE Programı kapsamında IRS P6 LISS III ve RapidEye uydularından elde edilen görüntüler ile hazırlanan ve 2015 yılında kullanıma sunulan CLC2012 (sürüm 18.5) verisi kullanılmıştır. Bu verinin zamansal doğruluğu 2011 - 2012, geometrik doğruluk  $\leq 25m$  ve tematik hassasiyeti  $\geq 85\%$ 'tir [29] (Şekil 3).



Şekil 2. Araştırma sahası topografyası



Şekil 3. Arazi örtüsü / arazi kullanım

### 3.2.4. Uydu görüntüleri

Bu çalışmada, spektral bant çeşitliliğine sahip, ücretsiz temin edilebilen, kaplama alanı büyük ve ziraat, ormancılık, arazi kullanım planlaması ve su kaynakları yönetimi gibi kullanım alanlarına sahip SENTINEL-2 MSI uydu görüntüsü tercih edilmiştir. SENTINEL-2 Çoklu Tarama Enstrümanı (Multi-Spectral Instrument-MSI) 10 m 4 bant, 20 m 6 bant ve 60 m yersel çözünürlükte 3 bant olmak üzere 13 spektrum bantı örneklemektedir [30]. Bunun yanında SENTINEL-2 uyduları 2-3 günlük zamansal çözünürlüğe ve 290 km uzunluğundaki şerit genişliğine sahiptir. Araştırma sahası için, en az bulutluluk düzeyine sahip 08.02.2016 tarihli SENTINEL-2 görüntüleri (Level 1C) ESA SENTINEL web sitesinden temin edilmiştir.

**Radyometrik Düzeltme:** SENTINEL-2 uydu görüntüleri için dijital sayılarındaki (Digital Number-DN) sensör düzensizliklerinden kaynaklanan hataları gidermek amacı ile radyometrik kalibrasyon tekniği kullanılmıştır. Radyometrik kalibrasyonda DN değerleri, QGIS'in Semi-Automatic Classification Plugin (SACP) yarı otomatik sınıflandırma eklentisi kullanılarak Top of Atmosphere (TOA) yansımalarına dönüştürülmüştür. Uydu görüntülerini kalibre etmek için, yerel güneş yükseklik açıları (local sun elevation angles), bantta özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörleri (band-specific multiplicative rescaling factors) ve bantta özgü toplamsal yeniden ölçeklendirme faktörleri (band-specific additive rescaling factors) [31] dahil olmak üzere görüntülerin meta veri dosyaları SACP'ye entegre edilmiştir. Her yıl için DN'lerdeki hatalar, tüm görüntüleri standart bir ölçeğe getirmek için düzeltilmiştir.

**Atmosferik Düzeltme:** Tüm uydu görüntüleri için QGIS SACP eklentisinde Karanlık Nesne Çıkarma (Dark Object Subtraction-DOS) gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, uydu tarama zamanında atmosferik koşulların ve aerosol özelliklerinin saha ölçümleri hakkında bilgi eksikliği olduğunda kullanılır [32]. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinde, neredeyse sıfır yüzey yansımaya dayalı pikselleri (karanlık nesnelere) temsil eden parlaklık değerleri, görüntünün diğer piksel değerlerinden çıkarılmıştır. Gölge alanlar (deniz veya koyu su yapıları ve koyu bitki örtüsü gibi koyu nesnelere),

bu düzeltme esnasında, uydu görüntülerinde siyah olarak tanımlanmaktadır [32, 33].

### 3.2.5. Orman amenajman planı

Bu çalışmada, araştırma sahasındaki orman alanları güncel uydu görüntüleri üzerinden sınıflandırılarak oluşturulmuştur. Ancak orman varlığı hakkında - ağaç türleri, meşcereler, ağaçların yaş ve büyüklükleri gibi - daha detaylı bilgi edinebilmek amacıyla İncecikler Orman İşletme Şefliği için orman amenajman planı verisi kullanılmıştır (Şekil 4).

Sahaya ait orman amenajman planına göre, İncecikler Orman İşletme Şefliğinde hâkim ağaç türleri kızılçam (*Pinus brutia* L.) ve fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) olarak tespit edilmiştir.

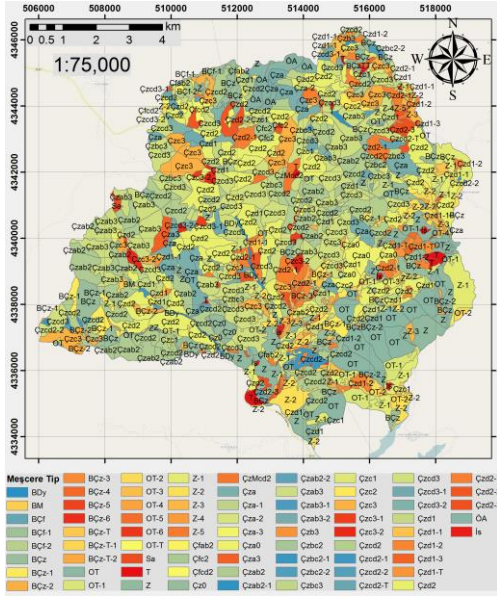
### 3.3. Yazılım

Çalışma kapsamında CBS yazılımı olarak ArcGIS 10.4 [34] yazılımı, görüntü işleme amacıyla eCognition [35] ve elde edilen orman alanı katman verisinin var olan arazi kullanım/arazi deseni veritabanından alınan katman veri ile karşılaştırılması için TerrSet [36] yazılımı kullanılmıştır. Yöntem bölümünde de belirtildiği gibi, ArcGIS yazılımı veritabanı oluşturma, bant kompozitlerinin ve NDVI görüntüsünün hazırlanmasında ve çalışma kapsamında temin edilen ve üretilen veri katmanları ile sonuç haritalarının görselleştirilmesinde kullanılmıştır. eCognition yazılımı ise, yüksek çözünürlüklü SENTINEL-2 görüntülerinin segmentasyonu amacıyla kullanılmıştır.

### 3.4. Yöntem

#### 3.4.1. Bant kombinasyonları

Uzaktan algılama ile elde edilen uydu görüntülerinin bantları, sahip oldukları farklı dalgaboyları ile farklı bilgileri içerirler [37]. SENTINEL-2 için doğal renk: 4-3-2, tarım: 11-8-2, kara/su: 8-11-4 vb. gibi farklı bant kombinasyonları (renk kompozitleri) farklı veriler üretme ve değerlendirmeler yapma imkânı sağlar. Bu çalışmada, arazi örtüsünün / kullanımının ortaya konması için kırmızı (Bant 4), yeşil (Bant 3) ve mavi (Bant 2) bantların birleştirilmesi ile oluşturulan doğal renk kompoziti ve bitki örtüsünün görsel yorumu / sınıflandırılmasına olanak sağlayan ve yakın kızılötesi (NIR) (Bant 8), kırmızı (Bant 4) ve yeşil (Bant 3) bantların birleştirilmesi ile oluşturulan sahte renk kompoziti kullanılmıştır [38].



Şekil 4. Sahaya ait orman amenajman planı

### 3.4.2. NDVI vejetasyon indeksi

Bitkiler, fotosentez sırasında güneşten gelen elektromanyetik enerjinin kırmızı renge karşılık gelen dalgaboyunu kullanır. Bu yüzden, kırmızı ışığın yansımaları ölçen bir uydu görüntüsü, canlı bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda düşük sayısal değerlere sahip olacaktır. Öte yandan yakın kızılötesi (NIR) dalga boyuna sahip elektromanyetik enerji bitki bünyesine alınmaz; su içeriğine bağlı olarak önemli ölçüde bitkinin iç katmanlarından yansıtılır [37]. Sonuç olarak bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda kırmızı renkte maksimum soğurma, yakın kızılötesinde ise maksimum yansıtılma gerçekleşir. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI), kırmızı ve yakın kızılötesi bant görüntüleri kullanılarak üretilir [39]. Böylece bitki vejetasyonuna görsellik kazandırılır [15]. NDVI, Eşitlik 1'e göre hesaplanır ve [-1,+1] aralığında değer alır.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlara karşılık gelen pikseller, üretilen NDVI görüntüsünde yüksek sayısal değerlere (1'e yakın); bitki örtüsünün seyrek ya da sağlıklı olmadığı alanlara karşılık gelen pikseller ise aynı görüntüde düşük sayısal değerlere (-1'e yakın) sahip olurlar [40]. Bu çalışmada SENTINEL-2 uydu görüntüsünün

kırmızı bantı (Bant 4) ve yakın kızılötesi (NIR) bantı (Bant 8) kullanılarak ArcGIS yazılımı içinde NDVI görüntüsü oluşturulmuştur.

### 3.4.3. Görüntü segmentasyonu

Nesne tabanlı yaklaşımların temelinde görüntüyü belirli veya değişken büyüklükteki bölgelere (segmentlere) ayırıp bunlar üzerinde sınıflandırma yapmak yatmaktadır. Çalışmada kullanılan eCognition yazılımının görüntü segmentasyonu algoritması, spektral ve mekânsal ölçütlere göre birbirine yakın özellikteki pikselleri olabildiğince homojen parçalar olarak gruplandırmaktadır. Böylece tek piksellerden oluşan görüntü yerine, piksel gruplarından (daha anlamlı nesnelere) oluşan bir görüntü ortaya çıkmaktadır [41,42]. Segmentasyon işlemi daha sonra uygulanacak görüntü sınıflandırma işleminin kalitesini önemli düzeyde arttırmaktadır. eCognition programında *Çoklu Çözünürlüklü Segmentasyon - ÇÇS (Multiresolution Segmentation - MRS)* aracı ile gerçekleştirilen otomatik segmentasyon işlemi, araştırma sahası için temin edilen SENTINEL-2 uydu görüntülerinin orijinal bantları üzerinde uygulanmıştır. Vejetasyonu en iyi ortaya koyan görüntünün sahte renk kompoziti olduğu ve çalışmanın ana hedefinin orman alanlarını ayırmak olduğu göz önüne alındığında, segmentasyonun, SENTINEL-2 görüntülerinin NIR (bant 8), Kırmızı (bant 4) ve Yeşil (bant 3) bantları üzerinde yapılmasına karar verilmiştir. Araştırma sahası için uygulanan piksel bazında segmentasyon işlemi, çalışma amacına en uygun segmentler oluşturulana kadar, ölçek, renk ve biçim parametreleri değiştirilerek en uygun segmentasyon seçeneğine karar verilmiştir. Burada ölçek parametresi ortaya çıkan nesnelere boyutunu ve homojenliğini belirlemektedir [41]. Segmentasyon işlemi sonrası araştırma sahasına ait sahte renk kompoziti üzerinde eCognition yazılımında sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırmada orman, tarım (ekili alanlar) ve diğer arazi sınıfları olmak üzere 3 sınıf esas alınmıştır. Sınıflandırma işlemi için eCognition yazılımında segmentasyon parametreleri olarak ölçek (scale), yoğunluk (compactness) ve şekil (shape) parametreleri sırası ile 10, 0.5 ve 0.1 şeklinde seçilmiştir. Burada, şekil parametresi büyüdükçe, spektral özelliklere göre yüzey özelliklerinin gerçek durumu yansıtılamayabileceği için şekil parametresi,

orman alanlarının ortaya çıkartılmasında en düşük değerde seçilmiştir. Yoğunluk parametresinde ise değerin çok küçük seçilmemesi (orta seviyede), böylece görüntü üzerinde meydana gelen parçalanmanın (fragmentasyon) analizi zorlaştıracak şekilde olmaması sağlanmıştır [43]. Segmentasyon için her bir sınıfa ait 15 örnek seçilmiş ve sınıflandırma modülüne tanıtılmıştır. 15 örnek seçilmesinin sebebi, çalışma alanında bulunan orman alanları dışındaki tarım alanı ve diğer arazi kullanım sınıflarının alansal dağılımının örneklem sayısını artırma gereksinimi oluşturacak ölçüde olmamasından kaynaklıdır. Burada örneklem ihtiyacı, biyokütle potansiyelinin hesaplanması amacı ile orman alanlarında yoğunlaşmıştır. eCognition yazılımında bu örneklerle göre sınıflandırma işlem yapılmıştır.

#### 3.4.4. Orman gelişim sınıflarının tespiti

Çalışmanın bir önceki aşamasında güncel uydu görüntüsünden segmentasyon ile üretilen orman alanları verisi (vektör veri formatında) orman amenajman planındaki veriler ile karşılaştırılmış ve orman amenajman planındaki [44] gelişim çağı sınıfı verisi uydu görüntüsünden elde edilen veriye eklenerek orman alanları verisi güncellenmiştir. Uydu görüntüsünden üretilen orman alanları verisi ile orman amenajman planı verisi birleştirilmesiyle orman alanlarındaki meşcere tipleri elde edilmiştir. Meşcere tiplerinin çağlar ve gelişim sınıflarına göre sıralaması ise Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** İğne yapraklı ağaçlar için meşcere gelişim çağları [45] ve toprak üstü biyokütle (TÜB) [46] sınıflaması.

Çağ	Gelişim Sınıfı	Ağaç Çapı (cm)	TÜB (ton/ha)
Gençlik	a	0 - 8	10
Sıklık			
Sırlıklık	b	8 - 20	88
Direklik			
İnce ağaçlık	c	20 - 36	165
Orta ağaçlık			
Kalın ağaçlık	d	36 - 52	225
	e	> 52	300

Tablo 1'de IPCC'nin tanımlamasına göre orman ağacı yaşı ile gelişim sınıfları arasında bir ilişki

kurulmuştur. Hatta bu ilişki IPCC'nin Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Rehber: Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı raporunda [46] belirtildiği üzere iğne yapraklı ağaçlar ve geniş yapraklı ağaçlar arasında bile çeşitlenmektedir. Burada izlenen yöntemle göre sınıflar genel olarak aşağıdaki gibi kabul edilmektedir [46]:

- a: 0-20 yıl
- b: 21-40 yıl,
- c: 41-60 yıl,
- d: 61-80 yıl,
- e: 81-200 yıl ve sonrası

Bu değerlerin hesaplanması sırasında izlenen yöntem ise aynı rapordan alınarak Tablo 2'de aktarılmaktadır.

**Tablo 2.** İğne yapraklı ağaçlar için ılıman iklimin yaşandığı yerlerde biyokütle dönüşüm formülleri [46].

BCEF	Büyüyen stok seviyesi (m <sup>3</sup> )				
	<20	21-40	41-100	100-200	>200
BCEF <sub>s</sub>	1.8 (0.6-2.4)	1.0 (0.65-1.5)	0.75 (0.6-1.0)	0.7 (0.4-1.0)	0.7 (0.4-1.0)
BCEF <sub>i</sub>	1.5	0.75	0.6	0.67	0.69
BCEF <sub>r</sub>	2.0	1.11	0.83	0.77	0.77

BCEF: Biomass Conversion and Expansion Factor (Biyokütle Dönüşüm ve Genişleme Faktörü)

BCEF<sub>s</sub>: Expansion of merchantable growing stock volume to aboveground biomass (Satılabilir büyüyen stok hacminin yer üstü biyokütleyle genişletilmesi)

BCEF<sub>i</sub>: Conversion of net annual increment (Net yıllık artışın dönüştürülmesi)

BCEF<sub>r</sub>: Conversion of wood and fuelwood removal volume to aboveground biomass removal (Odun ve yakacak odun giderme hacminin yer üstü biyokütle giderimine dönüştürülmesi)

IPCC'nin Tablo 2'de izlenen yöntem ile belirlediği ve Tablo 1'de verilen genel TÜB değerleri, çalışma alanında bulunan orman alanlarının meşcere verilerine göre kullanılmıştır. Ancak çalışma alanında, ormanın doğal karışık yapısı nedeniyle bazı meşcerelerde karışık bir yapı yani birden çok gelişim çağı sınıfı olduğu belirlenmiştir. Bu yapı, meşcere tipinde



Çzab2 ya da Çzcd gibi sınıflamalarda görünmektedir. Orman biyokütle potansiyeli, meşcere gelişim çağlarına göre tanımlandığından, çalışmada, birden çok sınıf bilgisi içeren meşcere gelişim çağları olan ab gelişim sınıfı b sınıfı ve cd gelişim sınıfı d sınıfı olarak yeniden sınıflandırılmıştır.

### 3.4.5 Biyokütle potansiyelinin haritalanması

Eastman [47, 48] tarafından da belirtildiği gibi, orman alanları karbon (biyokütle) verileri, örnek parsel alan ölçümlerinden veya mevcut orman envanteri verilerinden elde edilebilir. Ancak alan verileri mevcut değilse, ormanlara ait karbon kaynakları ve karbon havuz hesaplamaları için önerilen yöntem IPCC'nin Ulusal Sera Gazı Envanterleri için Rehber: Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı (*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use*) [46] Raporunda verilen yöntemdir [47, 48].

IPCC [46], orman arazisi ve orman alanına dönüşen arazide biyokütle, ölü organik madde ve toprak organik karbonundaki değişiklikler nedeniyle sera gazı emisyonlarının ve emisyon azaltımının tahmin edilmesi için yöntemler sunmaktadır. Orman biyokütlesi tahmininde toprak üstü orman biyokütlesi, ölü organik madde, toprak organik maddesi ve CO<sub>2</sub>-dışı gazlar için hesaplamalar sunan yöntemde, orman kaybı ve farklı arazi kullanım tiplerinden ormana dönüşen arazilerin karbon (biyokütle) hesapları verilmektedir. Bu kapsamda, arazi verisi olmayan çalışmalarda yapılacak hesaplamalar için birim alan (ha) başına ormanlardaki toprak üstü orman biyokütlesi değerleri (ton/ha) kıta ve iklim bölgelerine göre sunulmaktadır. Bu çalışmada, uydu görüntüleri ile elde edilen orman alanları için ve orman amenajman planı ile güncellenen gelişim çağı bilgisi de kullanılarak Tablo 1'de verilen IPCC'nin toprak üstü biyokütle değerleri esas alınmıştır.

## 4. Bulgular

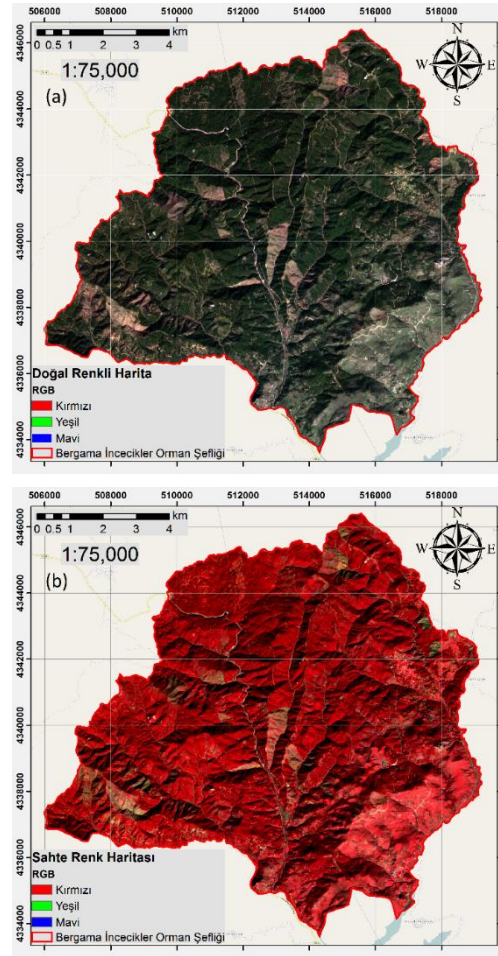
### 4.1. SENTINEL-2 Bant Kombinasyonları

Çalışma kapsamında araştırma sahası olan İncecikler Orman İşletme Şefliği için temin edilen SENTINEL-2 uydusuna ait Bant 2 - Mavi, Bant 3 - Yeşil, Bant 4 - Kırmızı ve Bant 8 - NIR bantları ile segmentasyonda kullanılmak üzere doğal renk ve sahte renk kompozitleri, ArcGIS

yazılımının Image Analysis araç seti kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 5).

### 4.2. NDVI Vejetasyon İndeksi

NDVI, SENTINEL-2 uydusunun kırmızı (Bant 4) ve NIR (Bant 8) bantları kullanılarak ArcGIS yazılımı içinde oluşturulmuştur. Araştırma sahası için elde edilen 10 m çözünürlüklü NDVI görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir. Sahaya ait NDVI değerlerinin 0.21 ile 0.698 arasında değiştiği saptanmıştır.

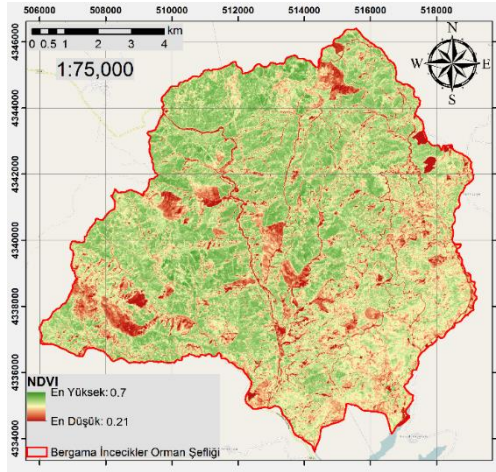


Şekil 5. Doğal renk ve sahte renk kompoziti

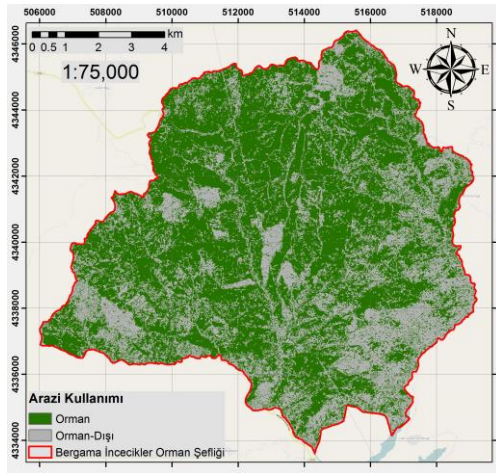
### 4.3. Sınıflandırılmış Uydu Görüntüsü

Görüntü segmentasyonu ve sınıflandırması sonucunda araştırma sahası için belirlenen orman ve orman dışı alanlar, sahte renk kompozitinin ÇS aracı ile sınıflandırılması sonucunda üretilmiştir (Şekil 7). Burada, eCognition yazılımında segmentasyon

işlemlerini takip eden süreçte yapılan sınıflandırma sonrasında, ayrıca doğruluk değerlendirmesi de yapılmıştır. Piksel bazında doğruluk değerlendirmesine bakıldığında ortalama değerler orman için 0.903, tarım (ekili alanlar) için 0.668 ve diğer arazi sınıfları için 0.276 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Saha NDVI görüntüsü



Şekil 7. ÇÇS'na göre orman / orman dışı alanlar

Uydu görüntüsünden sınıflandırma ile (Şekil 7) tespit edilen orman dışı alanların orman amenajman planında (Şekil 4) ziraat ve orman toprağı ve yer yer bozuk alanlardan oluştuğu görülmüştür. Ancak, uydu görüntülerinden sınıflandırma ile tespit edilen orman alanları ile orman amenajman planındaki orman alanları büyüklükleri arasında fark olması, orman amenajman planının güncel uydu görüntüleri ile

güncellenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ÇÇS ile tespit edilen güncel orman alanları esas alınmıştır.

Sınıflandırılmış orman alanları görüntüsü (Şekil 7) arazi kullanım/arazi deseni ile ilgili var olan çalışmalar ile ayrıca kıyaslanmak istenmiştir. Bu amaçla, Avrupa Uzay Ajansı'nın İklim Değişikliği Girişimi (European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative (CCI)) tarafından 1992 yılından günümüze kadar üretilen arazi kullanım/arazi deseni haritaları ile karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmanın yapılması için öncelikle 2016 yılına ait ESA CCI LC (land cover) verisi <https://cds.climate.copernicus.eu/> linkinde yer alan veritabanından temin edilmiştir. Elde edilen 300 m yersel çözünürlüğe sahip görüntüde, orman alanları belirlenmiş ve çalışma alanına göre maskelenmiştir. Elde edilen ESA CCI LC orman alanı katmanı ile çalışma kapsamında üretilen orman alanı katmanı TerrSet ortamında ROC analizine tabi tutulmuştur.

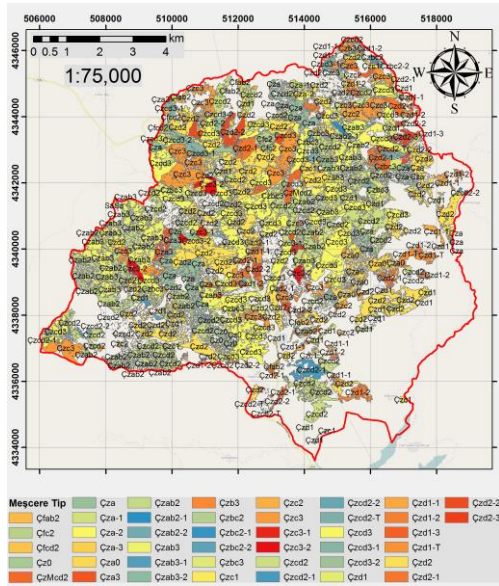
ROC (Receiver Operating Characteristic) yöntemi, her grid hücresinde aynı sınıfı tahmin eden herhangi bir model için çalışır. Uzman, ROC'yi ikiden fazla arazi örtüsü sınıfı için kullanılabilir veya her arazi örtüsü sınıfı için bir ROC gerçekleştirebilir [49]. Çalışma kapsamında yapılan ROC analizinde, "eşit ağırlıklı eşik değeri" tipine göre eşik değeri sayısı 1000 olarak seçilmiştir. İki katman veri arasındaki AUC değeri 0.822 olarak bulunmuş olup; karşılaştırma değerinin yüksek olduğu görülmüştür. Aradaki farklılıklar iki katman verinin yersel çözünürlüklerinin birbirinden farklı olması şeklinde yorumlanabilir. ESA CCI LC verisinin orman alanlarını gösterdiği verinin çözünürlüğü çalışmada üretilen orman alanı verisine göre düşüktür. Bu da AUC değerinin %82 civarında olmasını açıklamaktadır.

#### 4.4. Orman Gelişim Sınıfları

Uydu görüntüsünden segmentasyon ile ayrılan orman alanları verisi (Şekil 7), orman amenajman planındaki (Şekil 4) veriler ile karşılaştırılmış ve orman amenajman planındaki gelişim çağı sınıfı verisi, uydu görüntüsünden üretilen orman / orman dışı sınıfı verisine eklenerek orman alanları verisinin güncellenmesi sağlanmıştır. Bu yolla ayrıca, uydu görüntüsünden elde edilen orman alanları verisi ile orman amenajman planı verisi birleştirilmiş ve orman alanlarındaki meşcere tipleri elde edilmiştir (Şekil 8). Bu meşcere

tiplerinin Kızılçam (*Çz-Pinus brutia*) ve Fıstıkçamı (*Çf-Pinus pinea*) olduğu belirlenmiştir. Bu ağaçların a, b, c, ve d gelişim çağlarındaki türlerinin de bulunduğu görülmüştür. Buradaki ağaçlar kozalaklı ağaç (conifer) yapısına girmektedir.

Uydu görüntüsünden elde edilen orman alanları sınıflandırma katmanına göre orman amenajman planında orman dışı alanlar (su, otlak, bozuk yapıdaki orman alanları vb.) daha sonraki aşamalar için değerlendirme dışı olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede, orman dışı alanlar (su, otlak, vb.) ile bozuk yapıdaki orman alanları hariç bırakılmıştır. Araştırma bölgesi için uydu görüntülerinin sahte renk kompozitinin segmentasyonu sonucu elde edilen ve orman amenajman planı verisinin güncellenmesini sağlayan orman alanları, gelişme çağlarına göre haritalanmıştır. Orman amenajman planına göre belirlenen gelişim çağlarına göre orman alanları büyüklükleri, Tablo 1 esas alınarak, a, b, c ve d sınıfı için sırasıyla 391.4 ha, 755.5 ha, 693.9 ha ve 3205 ha olarak belirlenmiştir.

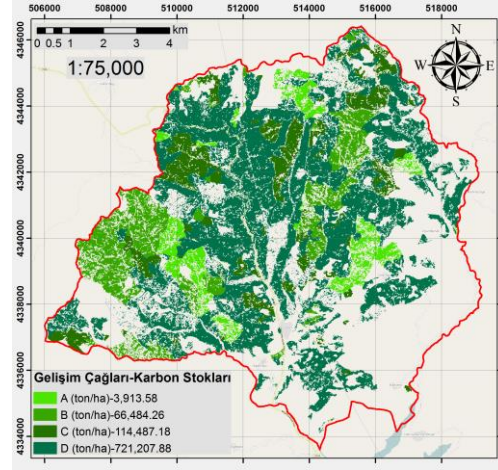


Şekil 8. Güncellenen orman amenajman planı

#### 4.5. Toprak üstü Biyokütle Potansiyeli

Uydu görüntüsünden elde edilen ve orman amenajman planı verilerinin güncellenmesini sağlayan güncel orman alanları verisi ile IPCC (2016)'nın orman gelişim çağına göre önerdiği toprak üstü orman biyokütle potansiyeli

değerleri (Tablo 1) kullanılarak araştırma sahasına ait biyokütle potansiyeli haritası oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Araştırma sahası için toprak üstü orman biyokütle potansiyeli.

#### 5. Sonuçlar

Biyokütle potansiyelinin ve alansal dağılımının belirlenmesi ve biyokütle stoklarının izlenmesi, biyokütleden enerji temini sistemlerinin planlaması, tasarımı ve işletimi için kritik öneme sahiptir. Bu tür projelerin ekonomik ve teknik uygulanabilirliği için, biyokütle kaynağının mevcut olduğu alanların saptanmasına, biyokütle hammaddesinin sürekli temin edilebileceğinin doğrulanmasına ve biyokütle malzemesinin temini için gerekli taşıma maliyetlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Biyokütle potansiyelinin ve bu potansiyelin alansal değişiminin UZ-AL ve CBS ile saptanmasında geliştirilen ve daha yüksek doğrulukla sonuç veren yöntemler arazi çalışması ile elde edilen ölçümlere ya da aktif uydulardan alınan LIDAR gibi görüntülerin baz alındığı çalışmalara dayanır. Orman alanları gibi büyük alanlarda arazi ölçümü gerçekleştirmek, ölçüm noktalarının sayıca çok olması ile analiz doğruluğunun artması dikkate alınırsa oldukça zaman alıcı, pahalı ve emek isteyen bir çalışmadır.

Tüm bu hususları dikkate alan bu çalışma, arazi ölçümü olmadan orman biyokütlesi potansiyelinin kestirimi için yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Bu yöntem özellikle orman biyokütlesi için ön değerlendirme yapma vb.

çalışmalar için hızlı sonuç veren bir yöntemdir. Burada kullanılan jeostatistiksel yaklaşım ve IPCC tarafından geliştirilen bağıntılar ile elde edilen ve kullanılan orman gelişim tiplerine göre karbon depolama değerleri, çalışma sahasında bulunan farklı gelişim çağlarına sahip orman alanlarının ne kadar karbon depoladığı hakkında bilgi vermektedir.

Çalışmada önemli olan bir diğer husus ise çözünürlüğü yüksek güncel uydu verilerinin nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi aracılığıyla sınıflandırılması ve çalışma sahasında bulunan güncel orman alanlarının tespit edilmesidir. Böylelikle oluşturulmuş meşcere haritasının da güncellenmesi sağlanarak orman planlamacılığımıza katkıda bulunulmuştur.

Bu çalışmaya ek olarak çalışma sahasının gelecek yıllarda yüksek çözünürlüklü pasif uydular ve/veya aktif uydular ile izlenmesi sağlanacak ve orman alanlarında gerçekleşen değişim ile karbon stoğunda meydana gelen değişiklikler analiz edilebilecektir. Böylelikle bu çalışmanın çıktıları ile gelecek yıllarda yapılacak çalışma çıktılarının karşılaştırılması sağlanacaktır. Bunun yanı sıra yapılması planlanan bir diğer çalışma ise gelecek yıllara ait orman alanı modelleri ile karbon stoğunda meydana gelebilecek değişikliklerin tahminlenmesine yöneliktir.

**Teşekkür:** Yapıcı eleştirilerinden dolayı hakemlere teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] Yolasığmaz, H.A., Çavdar, B., Demirci, U., Aydın, İ.Z. 2016. İki farklı yöntemle göre karbon birikiminin tahmin edilmesi: Artvin Orman İşletme Şefliği örneği, Turkish Journal of Forestry, Cilt: 17(1), s. 43-51. DOI: 10.18182/tjf.20323.
- [2] Erlat, E. 2014. İklim Sistemi ve İklim Değişimleri. Ege Üniversitesi Yayınları Edebiyat Fakültesi No: 155, 5. Baskı, İzmir.
- [3] Piyaphongkul, J., Gajasen, N., Na-Thalang, A. 2011. A comparative study of carbon sequestration potential in aboveground biomass in primary forest and secondary forest, Khao Yai national park. Atazadeh, I., ed. 2011. Biomass and Remote Sensing of Biomass, InTechOpen, ISBN: 978-953-307-490-0.
- [4] Orman Genel Müdürlüğü (OGM) 2009. Orman Genel Müdürlüğü'nde Biyoenerji Konusunda Yapılan Çalışmalar. Orman Genel Müdürlüğü Biyoenerji Çalışma Grubu.
- [5] Matthews, E., Payne, R., Rohweder, M., Murray, S. 2000. Forest Ecosystems. World Resources Institute, ISBN: 1-56793-459-3.
- [6] Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REED a reality. Environmental Research Letter, Vol. 2, s. 1-13. DOI: 10.1088/1748-9326/2/4/045023.
- [7] UNCCD & Joint Liaison Group of the Rio Conventions. 2007. Forest-Climate Change, Biodiversity and Land Degradation. United Nations Secretariat of the Convention to Combat Desertification (UNCCD), and United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), United Nations.
- [8] Ayoubi, S., Shahri, A.P., Karchegani, P.M., Sahrawat, K.L. 2011. Application of Artificial Neural Network (ANN) to Predict Soil Organic Matter Using Remote Sensing Data in Two Ecosystems. Atazadeh, I., ed. 2011. Biomass and Remote Sensing of Biomass, InTech, Rijeka, Croatia.
- [9] Yavaşlı, D.D. 2013. Toprak Üstü Orman Biyokütlesi Belirleme Çalışmalarında ICESat/GLAS Verilerinin Kullanımı. ss 951-959. Öner, E., ed. 2013. İlhan Kayan'a Armağan Kitabı.
- [10] Aydın, F., Sarptaş, H. 2016. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile orman kaybının analizi ve gelecekteki orman varlığının tahmini. GEFİK-2016 İzmir Genç Fizikçiler Kongresi, 12-13-14 Ekim, İzmir.
- [11] Aydın, F. 2016. Uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile değerlendirilen ormansızlaşma kaynaklı arazi değişimi altında günümüz ve gelecek orman biyoçeşitliliğinin analizi: Bornova, İzmir örneği. Ege Coğrafya Dergisi, Cilt: 25 (2), s. 15-35.
- [12] Çabuk, A., Avdan, U., Cömert, R., Uygucgil, H., Şorman, A., Küpçü, S., Bektöre, E., Işık, Ö. 2011. Coğrafi Bilgi Sistemleri, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını. ISBN: 978-975-06-0920-6, Eskişehir.
- [13] Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ. 2017. Uzaktan algılama teknolojileri ve uygulama alanları. <http://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/80/jeodezi/yayinlar/pdf/kavzoglulolkesenCalistay.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.03.2017).
- [14] Düzgün, Ş. 2010. Uzaktan Algılamaya Giriş Ders Notları. Ulusal Açık Ders Malzemeleri Konsorsiyumu-TÜBA, Ankara.
- [15] Ashraf, M.A., Maah, M.J., Yusoff, I. 2011. Introduction to Remote Sensing of Biomass, Atazadeh, I., ed. 2011. Biomass and Remote Sensing of Biomass. InTech, Rijeka, Croatia.
- [16] Meinel, G., Neubert, M. 2004. A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. International archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35.
- [17] Altınbaş, Ü. 2006. Toprak Etüd ve Haritalama. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 2. Baskı, No:521, ISBN: 975-483-703-1, Bornova, İzmir.
- [18] Aydoğdu, M., Tarini, M., Akçar, H.T., Aydemir, A. 2009. Harran ovasında coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile tarım arazilerinde amaç dışı kullanımın

- tespiti. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
- [19] Askar, Nuthammachot, N., Phairuang, W., Wicaksono, P., Sayektiningsih, T. 2018. Estimating Aboveground Biomass on Private Forest Using Sentinel-2 Imagery. *Journal of Sensors*. DOI: [10.1155/2018/6745629](https://doi.org/10.1155/2018/6745629).
- [20] Goodenough, D.G., Niemann, K.O., Dyk, A., Hobart, G., Gordon, P., Loisel, M., Hao, C. 2008. Comparison of AVIRIS and AISA airborne hyperspectral sensing for above-ground forest carbon mapping. *Geo-science and Remote Sensing Symposium, IEEE International*, 129-132.
- [21] Verkerk, P.J., Fitzgerald, J.B., Datta, P., Dees, M., Hengeveld, G.M., Lindner, M., Zudin, S. 2019. Spatial distribution of the potential Forest biomass availability in Europe. *Forest Ecosystems, Cilt: 6(5)*. DOI: [10.1186/s40663-019-0163-5](https://doi.org/10.1186/s40663-019-0163-5).
- [22] Özkan, U.Y. 2003. Uydu Görüntüleri Yardımıyla Meşçere Parametrelerinin Kestirilmesi ve Orman Amenajmanında Kullanılması Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Sivrikaya, F., Keleş, S., Çakir, G., Başkent, E.Z., Köse, S. 2006. Comparing accuracy of classified Landsat data with landuse maps reclassified from the stand type maps. 7th International Symposium On Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.
- [24] Chhabra, A., Palria, S., Dadhwal, V.K. 2002. Growing stock-based forest biomass estimate for India. *Biomass and Bioenergy, Cilt:22, s. 187-194*. DOI: [10.1016/S0961-9534\(01\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00068-X).
- [25] Iverson, L.R., Brown, S., Prasad, A., Mitasova, H., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E. 1994. Use of GIS for Estimating Potential and Actual Forest Biomass for Continental South and Southeast Asia. Dale, V.H., ed. *Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO2 Concentrations. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. vol 101. Springer, New York.
- [26] Hongrui, R., Guangsheng, Z., Xinshi, Z. 2011. Estimation of green aboveground biomass of desert steppe in Inner Mongolia based on red-edge reflectance curve area method. *Biosystems Engineering, Cilt:109, s. 385-395*. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.004).
- [27] Timothy, D., Onesimo, M., Cletah, S., Adelabu, S., Tsitsi, B. 2016. Remote sensing of aboveground forest biomass: A review. *Tropical Ecology, Cilt: 57(2), s. 125-132*.
- [28] NASA/METI/AIST/Japan Space Systems and U.S./Japan ASTER Science Team 2001. ASTER Global Digital Elevation Model V003 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- [29] Copernicus 2016. CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Erişim Tarihi: 12.01.2016).
- [30] European Space Agency (ESA) 2016. SENTINEL-2 MSI User Guide. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/> (Erişim Tarihi: 20.02.2016).
- [31] Humboldt State University 2017. Introduction to Remote Sensing: Radiometric Corrections. [http://gsp.humboldt.edu/olm\\_2015/Courses/GSP\\_216\\_Online/lesson4-1/radiometric.html](http://gsp.humboldt.edu/olm_2015/Courses/GSP_216_Online/lesson4-1/radiometric.html) (Erişim Tarihi: 20.10.2017).
- [32] Zhang, Z., He, G., Wang, X. 2010. A practical DOS model-based atmospheric correction algorithm. *International Journal of Remote Sensing, 31(11):2837-2852*. DOI: [10.1080/01431160903124682](https://doi.org/10.1080/01431160903124682), 2010.
- [33] Kaufman, Y.J., Sendra, C. 1988. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing, Cilt: 9, s. 1357-1381*. DOI: [10.1080/01431168808954942](https://doi.org/10.1080/01431168808954942).
- [34] Environmental Systems Research Institute (ESRI) 2015. <https://www.esri.com/en-us/home>. (Erişim Tarihi: 20.10.2015).
- [35] Trimble Geospatial 2016. <http://www.ecognition.com/>. (Erişim Tarihi: 05.01.2016).
- [36] TerrSet 2016. <https://clarklabs.org/terrset/>. (Erişim Tarihi: 10.02.2016).
- [37] Sunar, F., Özkan, C., Osmanoğlu, B. 2013. Uzaktan Algılama. Anadolu Üniversitesi Yayını. No: 2320.
- [38] Esetlili, M.T., Kurucu, Y. 2003. Uzaktan algılama tekniği ile pamuk ekili alanların belirlenmesinde kontrollü (supervised) sınıflandırma yöntemlerinin irdelenmesi üzerine bir araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt:40(2), s. 105-112*.
- [39] Weier, J., Herring, D. 2017. Measuring vegetation (NDVI&EVI). <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>. (Erişim Tarihi: 06.06.2017).
- [40] Gündoğdu, K.S., Bantchina, B.B. 2018. Landsat uydu görüntülerinden NDVI değer dağılımının parsel bazlı değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi çiftlik arazisi örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt: 32(2), s. 45-53*.
- [41] Belgiu, M., Csillik, O. 2018. Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based timeweighted dynamic time warping analysis. *Remote Sensing of Environment, Cilt: 204, s. 509-523*. DOI: [10.1016/j.rse.2017.10.005](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005).
- [42] Baatz, M., Schäpe, A. 2000. Multiresolution Segmentation-an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. ss. 12-23. Strobl, J, Blaschke, T., Griesebner, G., ed. 2000. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*. Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- [43] Zheng, L. 2015. Parameter optimization in multi-scale segmentation of high resolution remotely sensed image and its application in object-oriented classification. 2015 International Conference on

Environmental Engineering and Remote Sensing (EERS2015).

- [44] Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2017. <http://corine.ormansu.gov.tr/corineportal/turkiyecalismalar.html>. (Erişim Tarihi: 04.10.2017).
- [45] Başkent, E.Z. 2006. Orman Amenajmanı-Orman Envanteri (Ders Notları). Karadeniz Teknik Üniversitesi, [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15\\_01\\_03\\_56c61.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15_01_03_56c61.pdf). (Erişim Tarihi: 20.10.2017)
- [46] International Panel of Climate Change (IPCC) 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Volume 4.
- [47] Eastman, J.R. 2015a. Terrset Manual, Clark Labs, Clark University.
- [48] Eastman, J.R. 2015b. Terrset Tutorial, Clark Labs, Clark University.
- [49] Pontius, R.G., Schneider. L.C. 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment, Cilt: 85, s. 239-248. DOI: [10.1016/S0167-8809\(01\)00187-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00187-6).