ORMAN AĞAÇ SINIR EKOTONU DEĞİŞİMLERİNİN MEŞCERE HARİTALARI İLE CBS TEKNİKLERİ KULLANILARAK İZLENMESİ

Maliheh AREKHİ^{1}, Ulaş YUNUS OZKAN², Ahmet YEŞİL³, Füsun BALIK ŞANLI⁴*

^{1*} Doktora öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Mühendisliği Bölümü, 34452 İstanbul, maliheh.arekhi@ogr.iu.edu.tr

² Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Amenejman Anabilim Dalı, 34473 İstanbul, uozkan@istanbul.edu.tr

³ Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Amenejman Anabilim Dalı, 34473 İstanbul, ayesil@istanbul.edu.tr

⁴ Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220 İstanbul, fbalik@yildiz.edu.tr

ÖZET

Ormanların ağaç sınırının biyolojik çeşitliliğini korumak için, orman ağaç sınırı kaymalarının izlenmesi gerekmektedir. Ağaç sınır ekotonu, iklim ısınmasına tepki veren en hassas dağ ekosistem bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma ile, geçmişte Cehennemdere'de dört dönem arası (1970-1992-2002-2013) gerçekleşen orman ağaç sınırı değişimlerinin, orman meşcere haritaları ve CBS teknikleri kullanılarak saptanması amaçlanmıştır. Öncelikle, orman meşcere haritaları her dönem için jeoreferanslandırılmış ve sayısallaştırılmıştır. İkinci olarak, her dönem için orman ağaç sınırının yüksekliği, "Profil aracı" eklentisi kullanılarak topografya haritalarında en yüksek orman meşcere sınırlarının sayısallaştırılması ile simüle edilmiştir. Üçüncü aşamada ise her bir dönem için "qProf" eklentisi vasıtasıyla yükseklik profili istatistikleri hesaplanmış ve dönemler arasındaki istatistiksel fark analizleri elde edilmiştir. Genel olarak, ortalama genişleme hızı her on yılda 20 ila 40 m arasında değişmiştir. Sonuç olarak hem en yüksek irtifalarda (22m-45m) hem de en düşük irtifalarda (20m-105m) 1970'den 2013'e kadar ormanın ağaç sınırının genişlediği saptanmıştır. Elde edilen haritalara göre, 1992 ve 2002 yılları arasında yaklaşık 44.5m ormanın ağaç sınırının coğrafi olarak genişlediği belirlenmiştir. Orman ağaç sınırı 1970'lerde 2335m iken 2013'de ağaç sınır yüksekliği 2442.5 m'ye ulaşmıştır. Ayrıca, en alttaki ağaç sınırının yüksekliğinin genişleme oranı 20m ila 106m arasında elde edilmiştir. Sonuçta, ormanların ağaç sınırı kaymaları CBS teknikleri ve meşcere haritaları ile belirlenebildiği görülmüştür. Bu çalışmada özellikle meşcere haritalarının orman ağaç sınırı değişimini inceleyen araştırmalarda kullanılabileceği önemle vurgulanmıştır. Bu çalışmanın sonucu, ağaç türlerinin kaymalarını inceleyen araştırmalar, orman örtüsünün dinamikleri ve alpin- ağaç sınırı ekoton izleme çalışmaları bağlamında önemli katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: ağaç sınırı ekotonu, orman meşcere haritası, ılıman ormanlar

ABSTRACT

MONITORING FOREST TREELINE ECOTONE SHIFTS USING FOREST STAND MAPS AND GIS TECHNIQUES

Monitoring forest treeline shifts are essential to conserve the biodiversity of treeline ecotones. Treeline ecotone is recognized as one of the most sensitive component of mountain ecosystems which is responded to climate warming. This study aimed to determine occurred past forest treeline changes by forest stand maps and GIS techniques for the four-time period (1970-1992-2002-2013) in the Cehennemdere, Turkey. Firstly, forest stand map was georeferenced and digitized for each period. Secondly, forest treeline altitude for each period was simulated by digitizing highest forest stands on the topography map using "Profile tool" Plugin. Thirdly, altitude profile statistics were computed through "qProf" Plugin for each treeline border and each treeline altitude statistical difference analysis between interval time periods is performed. Results showed treeline has expanded from 1970 to 2013 in both the highest altitudes (22m-45m) and lowest altitudes (20m-105m). Overall, average expansion rate was varied between 20 to 40 m each decade; treeline altitude reached to 2442.5m in 2013 while it was 2335m in 1970. Resultant maps indicated highest treeline expanded geographically between 1992 and 2002 period during 43 years approximately 44.5m. Additionally, the rate of expansion of lowest treeline altitude was between 20m to 106m. Overall, forest treeline altitudinal shifts can be determined using GIS techniques and historical forest stand maps. Importance of available forest stand maps and their potential at investigating forest treeline shifts have been emphasized in the present research. Results would have significant contributions in the context of examining tree species shifts, monitoring forest cover dynamics, alpine treeline ecotone monitoring studies.

Keywords: treeline ecotone, forest stand map, temperate forest

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri, Dünya'nın toprak yüzeyinin üçte birini kapsamaktadır. Ormanlar her ülke için önemli doğal kaynaklardır. Ormanlar, çevre koruma, toprak koruma, biyoçeşitliliği artırma ve iklim değişikliğinin önlenmesi için önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca sanayi ve inşaat sektörü için kereste ve hammadde temin ederek ve bir ilaç kaynağı olarak ülkelerin uzun vadeli ulusal ekonomik büyümeleri için büyük önem taşırlar. Tüm bunların yanı sıra ormanlar karbon döngüsü ve ekosistemler aracılığıyla küresel ısınmayı azaltmaktadırlar (Baumann vd., 2014, Ghebregabher vd., 2016). Ormanların ağaç sınırı alpine ekotonu ve kapalı ormanın üst sınırı arasın da bilinen ekoton, ağaç türlerinin en yüksek bireyleri arasında iklimsel olarak hassasiyet gösteren bir geçiş bölgesidir (Orbán vd., 2018). Orman ağaç sınırlarının izlenmesi orman yapısındaki tarihsel değişimleri ve ormanların ağaç sınırının biyolojik çeşitliliğini tespit etmek için iyi bir fırsat sağlamaktadır (Zinnert vd., 2011). Bunlara ek olarak, dağ ormanları çok önemli karbon havuzlarıdır (Ponocná vd., 2018). Dağlık alanlar da, ormanların ağaç sınır ecotonunu, dünyada en hassas olan ekosistemler arasındadır (Mishra and Mainali 2017). Ormanların ağaç sınırının yüksek irtifalara doğru kaymasının nedeni artan hava sıcaklığı, atmosferik CO₂ ve azot birikimi gibi diğer faktörlerle de ilgilidir (Gaire vd., 2017). Fakat diğer çalışmalarda bu olumlu büyüme yanıtlarının bulamadığı gözlenmemiştir (Körner vd., 1997, Anadon-Rosell vd., 2018). Ancak, yapılan gözlem çalışmaları, bitki türlerinin farklı coğrafi bölgelere göre kolonizasyon örüntüsü, bitki türlerinin daha iyi yaşanabileceği yeni habitatlara kaydığını göstermiştir (Yadava vd., 2017). Ormanların ağaç sınırının iklim değişikliğine tepkisi sadece uzaysal ve zamansal olarak değil, aynı zamanda ağaç sınırının form ve yapısına da bağlı olarak değişmektedir (Harsch vd., 2009, Holtmeier 2009). Ağaçların yoğunluğundaki artışın yanı sıra uzun vadeli iklim dalgalanmasına tepki olarak daha yüksek irtifalara veya enlemlere geçişini de pek çok çalışma rapor etmiştir (Gaire vd., 2017). Bu araştırmalar, çoğunlukla uzaktan algılama ve hava fotoğrafları yöntemi kullanarak gerçekleştirilmiştir (Singh vd., 2011, Bharti vd., 2012). Benzer bir şekilde, arazi tabanlı çalışmalar da yine hem ağaç sınırının yukarı doğru kaydığını hem de ağaçların yoğunluğunun arttığını belirlemişlerdir (Schickhoff vd., 2015, Gaire vd., 2017, Arekhi vd., 2018). Ancak, diğer dağ ekosistemlerine kıyasla Tarsus dağına ilişkin çok sınırlı araştırma gerçekleştirilmiş ve ağaç sınırının oluşumu ve dinamiğine dair birçok yönden bir bilgi boşluğu bulunmaktadır. Ayrıca, tarihsel ağaç sınırının aktivitesi ve arkasındaki zorlama mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemektedir. Bu bağlamda coğrafi bilgi sistemi (CBS), orman ağaç sınırının değişimini hesaplamak için çok yararlı bir araçtır. CBS tekniği ve mevcut orman meşcere haritaları kullanarak, orman ağaç sınırının değişimini ve orman yapısındaki değişiklikleri gözlemlmek mümkündür. Bununla birlikte, bu çalışma, orman ağaç sınırının geçmişten günümüze değişimini incelemek için genel anlayışı geliştirmeye katkı sağlayacaktır. Aslında orman yönetimi dinamiklerinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi, ormanların sürdürülebilir yönetimi ve biyoçeşitliliğini korumak için gerekmektedir (Skowno vd., 2017). Bu çalışma ile Cehennemdere'de dört dönem (1970-1992-2002-2013) arası gerçekleşen orman ağaç sınırı değişimlerinin, orman meşcere haritaları ve CBS teknikleri kullanılarak saptanması amaçlanmıştır.

2. UYGULAMA

2.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti

Araştırma alanı Cehennemdere, Akdeniz'in güney bölgelerinde yer almaktadır (37.430-38.430 ° E, 44.650-44.850 ° N). Tamamı 16413.5 hektarlık alanı kapsamakla birlikte seçilen 8822 hektarlık bir bölgede çalışma gerçekleştirilmiştir. Her döneme ait orman envanter haritası incelendiğinde, seçilen çalışma alanı yaban hayatı ve bitki örtüsü genlerini korumak üzere koruma altına alınmış bir bölgede olduğu görülmektedir (**Şekil 1**). Bu alan çeşitli doğal vejetasyon toplulukları içermektedir; *Pinus nigra*, *Abies cilicica*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus sp.*, *Cedrus libani*, *Juniperus communis spp.*, *Juniperus oxycedrus*, and *Pinus brutia*. Çalışma alanı, Toros Dağları olarak bilinen Türkiye ormanlarının güney sınırında yer almaktadır.

Şekil 1. Çalışma alanı.

Şekil 2. Çalışmanın metodoloji akışı.

2.2 Veri Analizi

Orman Genel Müdürlüğü'nden dört döneme ait orman meşcere haritaları (1970-1992-2002-2013) elde edilmiştir. Her döneme ait orman meşcere haritası, Qgis ortamında jeoreferanslanmış ve sayısallaştırılmıştır. Eşzamanlı olarak, orman ağaç sınırını göstermek üzere, her dönem için meşcere haritasının en yüksek kısmı sayısallaştırılmıştır ve bir vektör katmanı hazırlanmıştır (1970-1992-2002-2013). Aynı zamanda, “Profil aracı” eklentisini kullanarak topoğrafya haritasındaki en yüksek ağaç sınırı (1970-1992-2002-2013) her bir dönem için belirlenmiştir. Daha sonra, profil istatistikleri gerçekleştirilmiş ve her bir sınır için “qProf” eklentisi ile yükseklik profili istatistikleri hesaplanmıştır. Orman ağaç sınırının kaymalarını belirlemek için, 1970-1992, 1992-2002, 2002-2013 dönemlerine ait iki dönem arası fark haritası hesaplanmıştır. Eşzamanlı olarak, mekansal ve zamansal ağaç türlerindeki değişimler, orman arazisi yapısı ve söz konusu dört zaman periyodu boyunca hesaplanmıştır. Ayrıca, mekansal olarak değişen ağaç sınırının konumu belirlenmiştir. Bununla birlikte, orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tüm kısımlarında orman ağaçlarının dağılımı incelenmiştir. Tüm hesaplamalar “raster paket” ve “Landsat paketi” kullanılarak Qgis Raster Calculator ve R programı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 çalışmanın metodoloji akışını göstermektedir.

Şekil 3. Her döneme ait orman ağaç sınırının yüksekliği (x eksen=konum)(y eksen= yükseklik).

Çizelge 1. Orman ağaç sınırının yükselti pozisyonu (m) ve değişim.

Çalışma peryodu	Yükseklik					Değişimler		
	en düşük	en yüksek	ortalama	varyans	standart sapma	min	max	ortalama
								ası
1970	1158.75	2335.02	1828.41	83118.68	288.30			
1992	1176.01	2375.54	1877.88	71846.04	268.04	+17.26	+40.51	+49.46
2002	1198.35	2420.18	1916.21	78285.68	279.79	+22.34	+44.45	+38.32
2013	1303.82	2442.48	1962.80	58970.83	242.83	+105.46	+22.3	+46.59

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Ağaç Sınırının Yükseklik Değişimi

1970-1992, 1992-2002 ve 2002-2013 dönemleri için ağaç sınırının alt, üst pozisyonu ve değişimi araştırılmıştır. Ağaç sınırı, tüm üç zaman diliminde meydana gelen en düşük ve en yüksek ağaç sınırı rakımlarının her ikisinde de kaymaktadır (Tablo 1). En yüksek ağaç sınır rakımı 2013 yılında 2442,48 m iken, 1970 yılında 2335 m olarak belirlenmiştir. 1992-2002 döneminde yaklaşık 44.45 m'lik bir yükselme görülmüştür ki bu da diğer dönemlerden çok daha yüksektir. En düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 2002 ile 2013 yılları arasında yaklaşık 22.3 m artmıştır. Ayrıca, tahmin edilen en düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 1970 yılında 1158,75 m'den 2013 yılında 1303,82 m'ye yükselmiştir (Şekil 3 ve Tablo 1). Benzer şekilde, gözlemlenen kaymalar orman meşcere haritalarının tamamında tutarlı değildir. Bazen en üst sıralarda belirgin kaymalar tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tüm kısımlarında orman ağacı türlerinin genişlemesine yönelik kanıtlar bulunmuş, sedir ağacı ve ardıç ağacı tutarlı bir şekilde kaya ve toprak kaplı alanlarda gelişen iki ağaç türü olarak gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre, ağaçların yukarı doğru genişlediği belirlenmiştir (Danby and Hik 2007, Du vd., 2017). Ancak bazı bölgelerde değişiklikler tek tip değildir (Virtanen vd., 2010, Bruggeman vd., 2016). Çalışmamıza ait bulgular özellikle kuzey yarımkürede ağaçların yukarı kayması ile ilgili diğer bilimsel çalışmalar ile uyumludur (MacDonald vd., 2008). Bu araştırmanın en önemli çıktılarından birisi de orman ağaç sınırı değişimini inceleyen araştırmalarında özellikle meşcere haritalarının kullanılabileceğinin gösterilmesidir. Bu çalışmanın sonucu, ağaç türleri üzerine iklim değişikliği etkilerini inceleyen araştırmalarda, orman örtüsünün dinamikleri ve alpin- ağaç sınırı ekoton izleme çalışmalarının izlenmesi bağlamında önemli katkılar sağlamaktadır. Ormanların ağaç sınırının sadece uzaysal ve zamansal olarak değil, aynı zamanda ağaç sınırının form ve yapıya da bağlı olarak değişiminin de gelecek çalışmalar ile incelenmesi tavsiye edilmektedir.

4. SONUÇ

Mevcut araştırma, orman meşceleri haritalarını kullanarak 43 yıl boyunca, orman ağaç sınırının genişleme ve yapısal değişimlerin izlenmesinin uygulanabilirliğini göstermektedir. GIS ve orman meşcere haritalarının kullanımı, bu çalışmada orman alanlarının sınırının değişimini tespit etmek için yararlı bir yöntem olarak gösterilmiştir. Bir diğer önemi ise orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tüm kısımlarında orman ağacı türlerinin dağılımını incelemesidir. Ayrıca, bu çalışma orman meşceleri haritaları incelenerek hem *Cedrus libani* hem de *Juniperus communis* spp.'de belirgin bir değişim ve artış olduğunu göstermiştir. Bizim sonuçlarımız, özellikle uzak dağ bölgelerinde, ekolojik niş modellemede daha kritik, yansıtıcı ve sorumlu soruşturma ihtiyacına dair ikna edici kanıtlar sunmaktadır. Bu sonuçlar, iklim değişikliği senaryoları altındaki benzer değişimler açısından olağanüstü bir öneme sahip olabilir. Sonuçlarımızın, daha önce belgelenmemiş bölgedeki orman ağaç sınırı dinamikleri üzerinde yararlı ipuçları sağladığına inanıyoruz. Orman ağaç sınırı meşcerelerinin boyutu ve yaş yapısının tarihsel olarak araştırılması da tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anadon-Rosell, A., M. A. Dawes, P. Fonti, F. Hagedorn, C. Rixen, and G. von Arx.** 2018. Xylem anatomical and growth responses of the dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* to experimental CO₂ enrichment and soil warming at treeline. *Science of The Total Environment* 642:1172–1183.
- Arekhi, M., A. Yesil, U. Y. Ozkan, and F. Balik Sanli.** 2018. Detecting treeline dynamics in response to climate warming using forest stand maps and Landsat data in a temperate forest. *Forest Ecosystems* 5:23.
- Baumann, M., M. Ozdogan, P. T. Wolter, A. Krylov, N. Vladimirova, and V. C. Radeloff.** 2014. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote Sensing of Environment* 143:171–179.
- Bharti, R. R., B. S. Adhikari, and G. S. Rawat.** 2012. Assessing vegetation changes in timberline ecotone of Nanda Devi National Park, Uttarakhand. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18:472–479.
- Bruggeman, D., P. Meyfroidt, and E. F. Lambin.** 2016. Forest cover changes in Bhutan: Revisiting the forest transition. *Applied Geography* 67:49–66.
- Danby, R. K., and D. S. Hik.** 2007. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *Journal of Ecology* 95:352–363.
- Du, H., J. Liu, M.-H. Li, U. Büntgen, Y. Yang, L. Wang, Z. Wu, and H. S. He.** 2017. Warming-induced upward migration of the alpine treeline in the Changbai Mountains, northeast China. *Global change biology*.
- Gaire, N. P., M. Koirala, D. R. Bhuju, and M. Carrer.** 2017. Site- and species-specific treeline responses to climatic variability in eastern Nepal Himalaya. *Dendrochronologia* 41:44–56.
- Ghebregabher, M. G., T. Yang, X. Yang, X. Wang, and M. Khan.** 2016. Extracting and analyzing forest and woodland cover change in Eritrea based on landsat data using supervised classification. *The Egyptian journal of Remote Sensing and Space Science* 19:37–47.
- Harsch, M. A., P. E. Hulme, M. S. McGlone, and R. P. Duncan.** 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology letters* 12:1040–1049.
- Holtmeier, F.-K.** 2009. Mountain timberlines: ecology, patchiness, and dynamics. . Springer Science & Business Media.
- Körner, C., M. Diemer, B. Schächli, P. Niklaus, and J. Arnone.** 1997. The responses of alpine grassland to four seasons of CO₂ enrichment: a synthesis. *Acta Oecologica* 18:165–175.
- MacDonald, G., K. Kremenetski, and D. Beilman.** 2008. Climate change and the northern Russian treeline zone. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363:2283–2299.
- Mishra, N. B., and K. P. Mainali.** 2017. Greening and browning of the Himalaya: Spatial patterns and the role of climatic change and human drivers. *Science of The Total Environment* 587:326–339.
- Orbán, I., H. H. Birks, I. Vincze, W. Finsinger, I. Pál, E. Marinova, G. Jakab, M. Braun, K. Hubay, T. Bíró, and E. K. Magyari.** 2018. Treeline and timberline dynamics on the northern and southern slopes of the Retezat Mountains (Romania) during the late glacial and the Holocene. *Quaternary International* 477:59–78.
- Ponocná, T., T. Chuman, M. Rydval, G. Urban, K. Migala, and V. Treml.** 2018. Deviations of treeline Norway spruce radial growth from summer temperatures in East-Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 253-254:62–70.

Schickhoff, U., M. Bobrowski, J. Böhner, B. Bürzle, R. P. Chaudhary, L. Gerlitz, H. Heyken, J. Lange, M. Müller, T. Scholten, N. Schwab, and R. Wedegärtner. 2015. Do Himalayan treelines respond to recent climate change? An evaluation of sensitivity indicators. *Earth System Dynamics* 6:245–265.

Singh, C., S. Panigrahy, and J. Pariharc. 2011. Alpine vegetation ecotone dynamics in Gangotri catchment using remote sensing techniques. *Internaitonal Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*:36–8.

Skowno, A. L., M. W. Thompson, J. Hiestermann, B. Ripley, A. G. West, and W. J. Bond. 2017. Woodland expansion in South African grassy biomes based on satellite observations (1990–2013): general patterns and potential drivers. *Global change biology* 23:2358–2369.

Virtanen, R., M. Luoto, T. Rämä, K. Mikkola, J. Hjort, J.-A. Grytnes, and H. J. B. Birks. 2010. Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19:810–821.

Yadava, A. K., Y. K. Sharma, B. Dubey, J. Singh, V. Singh, M. R. Bhutiyani, R. R. Yadav, and K. G. Misra. 2017. Altitudinal treeline dynamics of Himalayan pine in western Himalaya, India. *Quaternary International* 444:44–52.

Zinnert, J. C., S. A. Shiflett, J. K. Vick, and D. R. Young. 2011. Woody vegetative cover dynamics in response to recent climate change on an Atlantic coast barrier island: a remote sensing approach. *Geocarto International* 26:595–612.