

Mamak İlçesinin (Ankara) Hava Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinin Hesaplanması

Muhammed Hakan Çakmak^{1*} , Melda Can² 

Özet: Dünya nüfusunun yarısından fazlası kentsel alanlarda yaşamakta ve her geçen gün bu oran da kırsaldan kente göçün artması ile birlikte hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Kentsel alanlarda bulunan yeşil dokudan sağlanan ekosistem hizmetlerinin kentlerin sürdürülebilirliğindeki rolü oldukça büyüktür. Bu çalışmada, Ankara ili Mamak ilçesi sınırları içerisinde bulunan ağaçların taç örtüsünden sağlanan hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hava kirliliğine neden olan atmosferik gazlar ve parçacık maddeler ile atmosferik karbonun yakalanması ve depolanmasına yönelik analizlerin yapılmasına imkân tanıyan; basit, kullanışlı ve hızlı sonuç veren bir model olan I-tree canopy kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçları, %7,11'i taç örtüsüyle kaplı olan ilçede ağaçların yıllık 27370 ton CO₂ tuttuğunu ve yaşam süreleri boyunca 687460 ton CO₂ depoladığını göstermiştir. Ayrıca, yine taç örtüsüne bir yılda atmosferden 2,47 ton karbon monoksit (CO), 13,45 ton nitrojen dioksit (NO₂), 133,91 ton ozon (O₃), 8,47 ton kükürt dioksit (SO₂), 6,51 ton PM_{2,5} ve 44,85 ton PM₁₀ parçacık madde uzaklaştırıldığı hesaplanmıştır. Özetle ilçede, bir yılda toplam 27579,66 ton zararlı kirleticilerin atmosferden uzaklaştırıldığı (yaklaşık ekonomik karşılığı 1482800\$) ve ağaçların yaşam süreleri boyunca 687460 ton CO₂ depoladığı (yaklaşık ekonomik karşılığı 35246007\$) ortaya konulmuştur. Sonuç olarak bu çalışma, Mamak ilçesi yeşil alan verilerini kullanarak taç örtüsü sayesinde sağlanan ekosistem hizmetlerini belirlemiş ve kentsel alanlardaki ekosistem hizmetleri çalışmalarının hem ekolojik hem de ekonomik bağlamda önemini vurgulamıştır.

Anahtar kelimeler: Ankara, düzenleyici ekosistem hizmetleri, hava kalitesi, I-tree canopy, kentsel ekosistem hizmetleri, Mamak

Assessing Regulating Ecosystem Services for Improving the Air Quality of Mamak District (Ankara)

Abstract: More than half of the world's population lives in urban areas and there is a rapid increase on the count of that because of migration from rural to urban areas. The role of ecosystem services provided from green tissue in urban areas has a great role in the sustainable development of urban ecosystems. This study aims to determine the regulating ecosystem services that improve the air quality provided from tree canopy cover within the boundaries of Mamak district of Ankara. For this purpose, a model which is simple, useful and fast-paced called as "I-tree canopy" run to analyze the removal of the atmospheric air pollutants and particulate matters, carbon sequestrated and stored by canopy cover. The results showed that the trees (canopy cover 7,11% of the district) sequester 27370 tons of CO₂ annually and store 687460 tons of CO₂ during their lifetime. The model results also show that the trees remove 2,47 tons of carbon monoxide (CO), 13,45 tons of nitrogen dioxide (NO₂), 133,91 tons of ozone (O₃), 8,47 tons of sulfur dioxide (SO₂), 6,51 tons of PM_{2,5} and 44,85 tons of PM₁₀ particulate matter per year. In summary, it was revealed that these trees remove a total of 27579,66 tons of hazardous air pollutants from the atmosphere in a year (approximately \$1482800 in economic terms) and store 687460 tons of CO₂ during their lifetimes (about \$35246007 in economic terms) in the district. As a result, this study determined the ecosystem services provided through canopy cover using the green area data of Mamak district and emphasized the importance of ecosystem services studies in urban areas both in ecological and economic context.

Keywords: Air quality, Ankara, I-tree canopy, Mamak, regulating ecosystem services, urban ecosystem services

- ¹Address:** T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
- ²Address:** Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye
- *Corresponding author:** muhammedhakan.cakmak@gmail.com
- Citation:** Çakmak, M.H., Can, M. (2020). Mamak İlçesinin (Ankara) Hava Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinin Hesaplanması. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 4 (2): 141-149.

1. GİRİŞ

1970'lerin sonları ile 1980'lerin başlarında ağırlıklı olarak doğa bilimciler tarafından, biyolojik çeşitlilik kaybının insan sağlığı için kritik hizmetleri temel alan ekosistem işlevlerini nasıl doğrudan etkilediğini göstermek ve böylece doğa koruma konusundaki eylemi tetiklemek için ortaya atılmış olan ekosistem hizmetleri kavramı, yeryüzündeki ekosistemlerin insanlara ve diğer canlılara sağladığı ürün, hizmet ve faydaların tamamı olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2016). Ekosistemlerin doğrudan ya da dolaylı olarak sağladığı bu hizmetler; tedarik hizmetleri, düzenleyici hizmetler, kültürel hizmetler ve destekleyici hizmetler olmak üzere dört grup altında sınıflandırılmaktadır (MEA, 2005).

Yeşil dokunun en önemli öğelerinden biri olan ağaçlar; gölge oluşturma, havayı serinletme, karbon tutma, kirleticileri tutarak havayı temizleme, yaprak-dal-meyve vb. organik materyaller ile toprağı zenginleştirme, kökleri ile toprağı havalandırma, yaban hayatı için barınma ve besin ortamı sağlama, yağış sularının yüzeysel akışa geçmesini önleme, besin ve su vb. döngülere katkı sağlama, erozyonu, gürültü kirliliğini ve enerji tüketimini azaltma, estetik değer katma, insanlara mekan ve topluluk duygusu aşılama ve arazilerin emlak değerini arttırma gibi ekosistem hizmetleri olarak tanımlanan pek çok işleve sahiptir. Bu hizmetler ağaçların türlerine, yaşlarına ve buldukları ortamın özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Forman, 2014).

Kent ekolojisi ve ekosistem hizmetleri bağlamında büyük öneme sahip olan kentsel yeşil alanlar, günümüz kentlerinde düzensiz dağılmış, küçük parsellere ayrılmış ve yalıtılmış şekildedir (Bolund ve Hunhammar, 1999; Forman, 2008; Steiner, 2011; Hepcan, 2013; Derksen vd., 2015).

Günümüzde pek çok kentin ortak problemi haline gelmiş olan hava kirliliği, birçok çevre ve sağlık sorununa yol açmaktadır (Coşkun Hepcan, 2019). Hava kirliliğine neden olan kirleticiler atmosferde, gaz (C-karbon, NO₂-azotdioksit, O₃-ozon, SO₂-sülfürdioksit) veya parçacık (PM-parçacık madde) şeklinde bulunur (Scott vd., 2016). Bu kirleticiler yalnızca insan sağlığına değil tüm canlılara olumsuz etkilerde bulunmakta ve ekolojik sistemin işleyişine zarar vermektedir (Curtis vd., 2006). CO₂, atmosferde sera etkisi oluşturarak hava sıcaklığının artmasına önemli derecede etki etmekte, hava sıcaklığının artması da uzun vadede iklim değişikliğine ve özellikle yabancı otların hem morfolojik olarak hem de sayısal olarak artmasına, bitkileri ve tarımı olumsuz etkilemesine sebep olmaktadır (Forman, 2008; Tursun vd., 2018). Yine benzer şekilde sera gazlarından olan O₃'ün atmosferdeki

derişiminin artması, insanlarda solunum sistemi ve kalp rahatsızlıklarının oluşmasına, bitkilerde solunum gözeneklerinin kapanması ile fotosentez mekanizmasını bozarak daha az karbondioksit emilimine ve büyüme hızının yavaşlamasına neden olmaktadır (Forman, 2008; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014). CO gazı, omurgalı canlılarda kanda taşınan oksijen seviyesini azaltan bir etkiye sahiptir (Güvendik ve Yılmaz, 2003; Forman, 2014). Fosil yakıtların yanması ve yanardağ faaliyetleri sonucu ortaya çıkan SO₂, atmosferde asitleşmeye neden olarak asit yağmurlarının oluşmasına, bitkilerde yaprak dokularına zarar vererek ölümlere ve tıpkı O₃ gibi insanlarda solunum sistemi rahatsızlıklarına yol açmaktadır. (Agren, 1991, Moran ve Mogan, 1994; Toros, 2000). NO₂, tıpkı SO₂ gibi asit yağmurlarına yol açabilen bir gazdır (Cindoruk, 2018). Havada asılı halde bulunan katı, sıvı veya katı çekirdeğin etrafında sıvıyla çevrili olan parçacıkların bir karışımı olan parçacık maddelerin (PM_{2,5} ve PM₁₀) insanlarda solunum sistemi ve kalp hastalıkları ile kansere yol açtığı bilinmektedir (Yatkin ve Bayram, 2007; Kardeşoğlu vd., 2011). Ayrıca parçacık maddelerin, bitkilere bitki gelişimini engelleyici, özellikle hava kalitesi indikatörü olan likenler ve yosunlara da öldürücü etkisi bulunmaktadır (Forman, 2014).

Kentsel alanlardan sağlanan ekosistem hizmetlerinin hesaplanmasına yönelik bilimsel çalışmalar özellikle son yıllarda hız kazanmaya başlamıştır (Brack, 2002; Nowak, 2000). Oakville (McNeil ve Vava 2006), Barselona (Chaparro ve Terradas, 2009), Torbay (Rogers vd., 2011), Edinburg (Hutchings vd., 2012), Chicago (Nowak vd., 2013), Oregon State Üniversitesi kampüsü (Phillips vd., 2013), Springfield (Massachusetts) (Bloniarz vd., 2014), Avustralya (Jacobs vd., 2014), Pensilvanya Üniversitesi kampüsü (Bassett, 2015), Roanoke (Virginia) (Kim vd., 2015), Atlantic Beach (Florida) (Marcus, 2015), Londra (Rogers vd., 2015), Mountshannon (Carey ve Tobin, 2016), Ridge Park (Unley) (Seed Consulting Services, 2016), Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017) ve Isparta (Tuğluer ve Gül, 2018) bölgelerinde yapılan çalışmalar bu kapsamda değerlendirilebilir.

Ahern vd., (2014), ekosistem hizmetlerinin kantitatif matematiksel yöntemler kullanılarak hesaplanmasının önemini vurgulamaktadır. Bu araştırma kapsamında kullanılmış olan I-tree canopy modeli, ağaç taç örtüsünü baz alarak hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin hesaplanmasında kullanılan, basit, kullanışlı ve hızlı sonuç veren bir araçtır. Modelden elde edilen sonuçlar, kapalılık oluşturan ağaç ve boylu çalıların ekosisteme sağladığı faydalara ilişkin net veriler sağlamaktadır (Anonim, 2011).

Mamak, Ankara ilinin, şehirleşmenin hareketli, özellikle de gecekondular bölgelerinde çarpık bir biçimde gerçekleştiği ve sürekli olarak devam ettiği, bunun sonucu olarak da çokça tahribata uğramış eski yerleşim yerleri ve parçalanmış doğal alanların bulunduğu ilçelerinden biridir (Çakmak, 2016). Bu araştırmada, Mamak ilçesi özelinde, şehirleşmenin doğa ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen ilçe sınırları içerisinde mevcut bulunan ağaç taç örtüsünden sağlanan, hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma alanı

Mamak ilçesi, Ankara ilinin doğu koridorunda yer almaktadır (32°55'23" D, 39°56'31" K). İlçenin doğusunda Elmadağ, kuzey – kuzeybatısında Altındağ ve güney – güneybatısında Çankaya ilçeleri bulunmaktadır. İlçenin yüzölçümü 342 km²'dir. Çalışma alanı; yarı kurak, az nemli Akdeniz ikliminin etkisindedir (Çakmak ve Aytaç, 2018). Alanda anakaya olarak Emir, Elmadağ, Ortaköy, Keçikaya, Gölbaşı formasyonları hakimdir (Akyürek vd., 1997; Çelik vd., 2007).

İlçedeki toplam yeşil alan miktarı (aktif-pasif) 5,78 km² iken kişi başına düşen yeşil alan miktarı ise 8,89 m²'dir (Mamak Belediyesi, 2018). İlçedeki yeşil alanlar; (1) çayırlar, koruluklar ve ormanlar, (2) mezarlıklar, (3) refüj ve meydanlar, (4) parklar, bahçeler ve çocuk oyun alanları, (5) kamu kurumlarına ait yerleşkeler olmak üzere fonksiyonlarına göre beşe ayrılmaktadır. İlçe sınırları içerisinde I-tree canopy modeliyle ekosistem hizmetleri hesabına konu 104 fanerofit takson (ağaç ve boylu çalı) bulunmaktadır (Çakmak ve Aytaç, 2018).

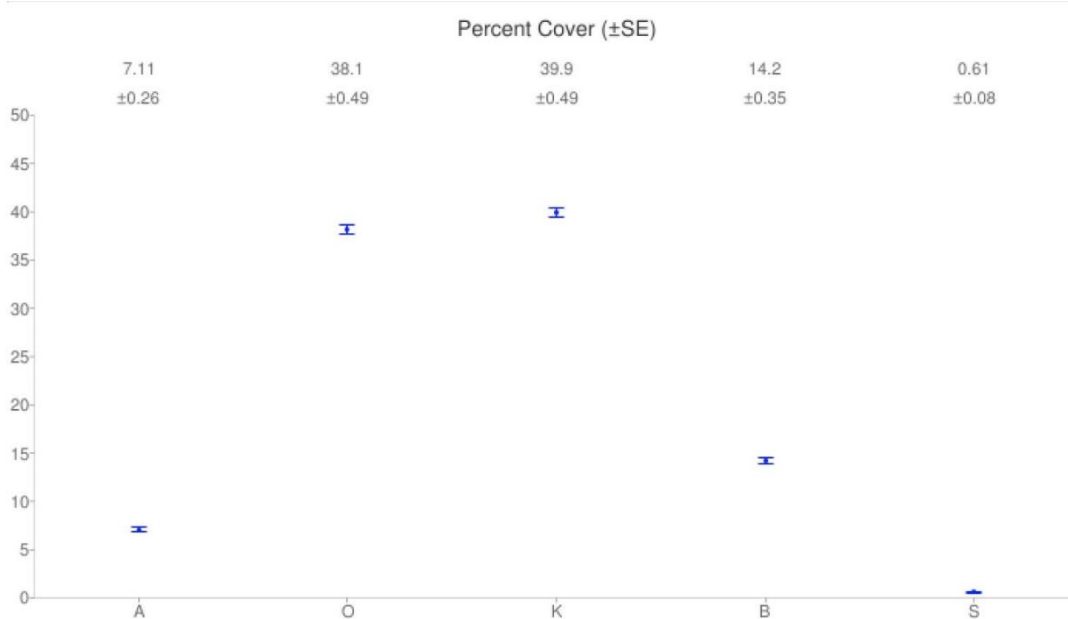
2.2. Yöntem

Mevcut araştırma kapsamında taç örtüsünün analiz edilmesinde, ağaç taç örtüsünün hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetlerinin hesaplanmasında kullanılan Birleşik Devletler Tarım Departmanı'na bağlı Orman Hizmetleri birimi (USDA-United States Department of Agriculture, U.S. Forest Service) tarafından geliştirilen I-tree canopy modeli kullanılmıştır.

Çalışma alanının sınırları Google Earth programı yardımıyla elde edilmiş ve ArcGIS Pro 10.5. programı yardımıyla "ESRI shapefile" formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra <https://canopy.itreetools.org/> adresindeki I-tree canopy V 6.1 modülü kullanılmıştır. Modül, çalışma alanı sınırları içerisinde 10000 adet rastgele nokta tanımlamış, 2019 tarihli Google Earth hava fotoğrafları yardımıyla tanımlanan her bir noktanın temsil ettiği arazi örtüsü, 1) ağaç ve boylu çalı (ağaç ve boylu çalı vejetasyonları), 2) yüzey örtücü bitki (otsu bitki vejetasyonu ile kaplı alanlar), 3) açık alan (üzerinde bitki örtüsü bulunmayan ya da çok az bulunan toprak yüzey), 4) geçirimsiz yapı (bina, yapılar, asfalt, beton, kilit parke taşı kaplı yol, sıkıştırılmış yol), 5) sucul yüzeyler (akarsu veya durgun su barındıran alanlar) olmak üzere beş sınıf altında manuel olarak gruplandırılmıştır. Noktalara denk gelen sınıflar tanımlandıktan sonra yine aynı modül üzerinden sonuçlar rapor olarak alınmıştır.

3. BULGULAR

342 km²'lik araştırma sahasında yapılan çalışma sonucunda belirlenen arazi örtüsü sınıfları (5 adet), bu sınıfları temsil eden her bir sınıf için örneklem nokta sayıları ve her bir sınıfın ilçede kapladıkları alan (%) ile standart hata oranları (%) aşağıda verilmektedir (Şekil 1 ve Tablo 1).



Şekil 1. I-tree canopy Mamak ilçesi arazi örtüsü analiz sonuçları

Tablo 1. I-tree canopy Mamak ilçesi arazi örtüsü analiz sonuçları

Sınıf	Sınıf Tanımı	Nokta Sayısı	Kapladığı oran (%) ve ±SH
A - Ağaç ve boylu çalı	Ağaç ve boylu çalı vejetasyonları	711	7,11 ±0,26
O - Yüzey örtücü bitki	Otsu bitki vejetasyonu ile kaplı alanlar	3815	38,1 ±0,49
K - Açık alan	Üzerinde bitki örtüsü bulunmayan ya da çok az bulunan toprak yüzey	3990	39,9 ±0,49
B - Geçirimsiz yapı	Bina, yapılar, asfalt, beton, kilit parke taşı kaplı yol, sıkıştırılmış yol	1423	14,2 ±0,35
S - Sucul yüzeyler	Akarsu veya durgun su barındıran alanlar	61	0,61 ±0,08

I-tree canopy aracı kullanılarak elde edilmiş olan ilçedeki taç örtüsünden sağlanan yararları ilişkin atmosferden uzaklaştırılan zararlı kirleticiler, her bir kirletici için ekosistem hizmetleri kapsamında hesaplanan ekonomik değer (\$ cinsinden) ile ekonomik değere ait standart hata

miktarı (\$ cinsinden) ve her bir kirletici için ekosistem hizmetleri kapsamında hesaplanan taç örtüsü tarafından tutulan miktar (ton) ile bu miktara ait standart hata miktarına (ton) ilişkin tahminler ve analiz sonuçları aşağıda verilmektedir (Tablo 2).

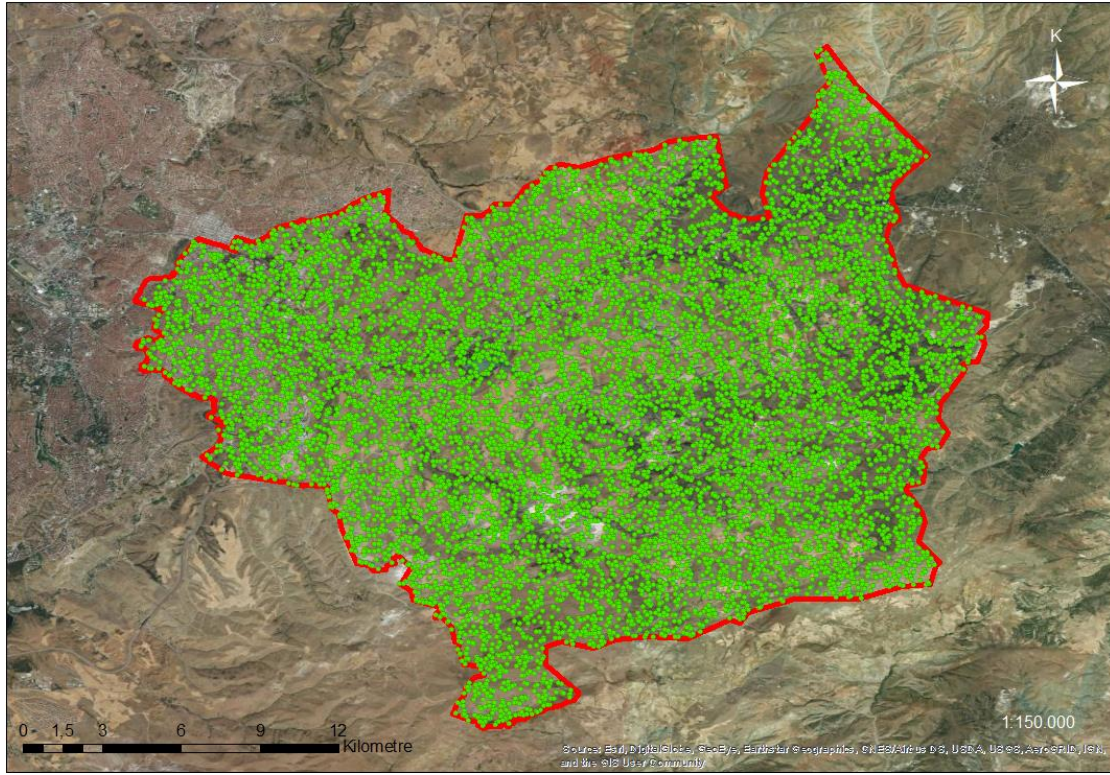
Tablo 2. Mamak ilçesi taç örtüsünden sağlanan yararları ilişkin I-tree canopy tahminleri ve analiz sonuçları

Atmosferden Uzaklaştırılan Kirleticiler	Değer (\$)	±SH (\$)	Miktar (ton)	±SH (ton)
CO - Karbon monoksit (yıllık)	\$231,25	±8,36	2,47	±0,09
NO ₂ - Nitrojen dioksit (yıllık)	\$398,13	±14,39	13,45	±0,49
O ₃ - Ozon (yıllık)	\$20733,82	±749,43	133,91	±4,84
PM _{2,5} - Parçacık madde < 2,5µ (yıllık)	\$42860,60	±1549,20	6,51	±0,24
SO ₂ - Kükürt dioksit (yıllık)	\$69,59	±2,52	8,47	±0,31
PM ₁₀ - 2,5 µ <Parçacık madde<10 µ (yıllık)	\$15052,22	±544,06	44,85	±1,62
CO _{2seq} - Odunsu bitkilerce tutulan karbon dioksit (yıllık)	\$1403454,45	±50728,03	27370	±990
CO _{2stor} - Odunsu bitkilerce depolanan karbon dioksit	\$35246007,32	±1273971,19	687460	±24850

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen sonuçlara bakıldığında; en büyük alanı %39,9 ile üzerinde bitki örtüsü hiç bulunmayan ya da seyrek olarak bulunan toprak yüzeyler kaplamaktayken, bunu sırasıyla %38,1 ile otsular, yüzey örtücü ve kısa çalılarının baskın olduğu alanlar, %14,2 ile özellikle insan etkisiyle oluşturulmuş geçirimsiz

yapılar, %7,11 ile ağaç ve boylu çalılarının oluşturduğu alanlar ve son olarak da %0,61 ile akarsu veya durgun suların oluşturduğu sucul yüzeyler (sulak alanlar) takip etmektedir (Şekil 1 ve Tablo 1). Her bir arazi örtüsü sınıfındaki standart hata değeri %1'in çok altında çıkmıştır. Bunun sebebi, arazideki nokta dağılımlarının her bir sınıfa dengeli bir şekilde dağılmış olmasıdır (Tablo 1 ve Şekil 2).



Şekil 2. Örneklem noktalarının ilçedeki dağılımlarının gösterimi

Ağaç ve boylu çalılıarın yüzdesel olarak düşük (%7,11) çıkmasının en temel sebebi, ilçe genelindeki ormanların alansal olarak dar alan kaplamasıdır. İlçede özellikle ormanlık alanların çoğu yakın zamanda ağaçlandırılmıştır. Dolayısıyla dikilen fidanlarda yeterli çap-boy gelişimi henüz gerçekleşmemiştir. Diğer taraftan; iklimin de çalışma alanındaki ormanların alansal olarak dar olmasının üzerine etkisi bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nin hakim vejetasyon tipi step (çoğunlukla antropojenik step ile doğal step) olmakla beraber, bu step toplulukları dağlık alanlarda yer yer bozuk orman ile kurak orman formasyonlarıyla kuşatılmış durumdadır (Vural vd., 2007). Öte yandan; plansız ve çarpık kentleşme de ilçedeki ağaçların az olmasının bir diğer sebebidir. Çalışmadaki bir diğer dikkat çekici sonuç, sucul yüzeylerin oranıdır. Çalışma alanındaki sucul yüzeylerin oranının (%0,61) bu denli düşük çıkması, ilçenin sulak alanlar yönünden fakir olmasından kaynaklanmaktadır (T. C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2015).

İlçedeki taç örtüsü tarafından bir yılda atmosferden uzaklaştırılan CO miktarı 2,47 ton olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu değer örneğin; 54,47 ha.'lık Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi için 0,53 ton (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017), 11468 ha.'lık Edinburgh kenti için 1 ton (Hutchings vd., 2012) ve 6375 ha.'lık Torbay ilçesi (İngiltere) için ise 0,0005 ton (Rogers vd., 2011) olarak hesaplanmıştır. Bu değerler mevcut çalışmadaki değerle alansal olarak (birim hektar) oranlanmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen değer, Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi'ndeki değere göre düşük, Torbay'da hesaplanan değere göre de yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, Edinburgh'te hesaplanan değer ile bu çalışmada hesaplanan değer birbirine yakın çıkmıştır.

Çalışmada, Mamak ilçesindeki atmosferden uzaklaştırılan yıllık NO₂ miktarının 13,45 ton olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Bu değer; Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi (54,47 ha) için 0,14 ton (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017), Barcelona kent ormanları (10121 ha) için 54,6 ton (Chaparro ve Terradas, 2009) ve Londra kent ormanları (159470 ha) için 698 ton (Rogers vd., 2015) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen değerler ile mevcut çalışmada hesaplanan atmosferden uzaklaştırılan NO₂ miktarı alansal (birim hektar) olarak oranlanarak kıyaslanırsa; diğer çalışmalardaki değerlerin, mevcut çalışmadaki değerden oldukça yüksek çıktığı göze çarpmaktadır. Bunun sebebi, bu çalışmalardaki alanların özellikle büyük oranda ormanlık/ağaçlık alanlar içermesi ve dolayısıyla birim alan başına düşen ağaç miktarının fazla olmasıdır.

Çalışma alanındaki taç örtüsünün atmosferden bir yılda uzaklaştırdığı O₃ miktarı 133,91 ton olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Bu değer; 11468 ha.'lık Edinburgh kenti için 45 ton (Hutchings vd., 2012), 8412,28 ha.'lık Springfield (Massachusetts) kenti için 186,8 ton (Bloniarz vd., 2014) ve 6375 ha.'lık Torbay ilçesi (İngiltere) için ise 22,9 ton (Rogers vd., 2011) olarak belirlenmiştir. Bu değerler eğer mevcut çalışma ile alansal (birim hektar) olarak oranlanırsa, Mamak için hesaplanan değer, Springfield'ta hesaplanan değere göre çok düşük, Edinburgh ve Torbay'da hesaplanan değerlere göre de birbirine yakın çıktığı görülmektedir.

Çalışmada, ilçedeki atmosferden uzaklaştırılan yıllık SO₂ miktarının 8,47 ton olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Bu değer; Oregon State Üniversitesi kampüsü için 0,4 ton (Phillips vd., 2013), Atlantic Beach (Florida) şehri için 0,66 ton (Marcus, 2015) ve Oakville (Kanada) kent ormanları için 11,9 tondur (McNeil ve Vava 2006). Mevcut çalışmada

hesaplanan değer, bu çalışmalardan Oakville’de hesaplanan değerden düşük, Oregon ve Atlantic Beach’te hesaplanan değerden ise yüksek çıkmıştır.

İlçedeki taç örtüsü tarafından bir yılda atmosferden uzaklaştırılan PM_{2,5} (2,5 µ’den küçük parçacık madde) miktarı 6,51 ton olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu değer; Pensilvanya Üniversitesi kampüsü (64,75 ha) için 0,05 ton (Bassett, 2015), Unley (Avustralya) kentinde bulunan Ridge Park (5 ha) için 2,43 ton (Seed Consulting Services, 2016) ve Atlantic Beach (Florida) şehri (3360 ha) için 1,18 ton (Marcus, 2015) olarak belirlenmiştir. Bu değerler eğer mevcut çalışmayla alansal (birim hektar) olarak oranlanırsa Mamak ilçesinde hesaplanan değer, diğer çalışmalarda hesaplanan değerlerden düşük çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi, diğer çalışmalarda çalışma alanlarının park, üniversite kampüsü vb. özellikte olması dolayısıyla birim alan başına düşen ağaç taç örtüsü miktarının daha yüksek olmasıdır.

Bir diğer önemli parçacık madde değeri olan PM₁₀ (2,5-10 µ büyüklüğündeki parçacık madde), mevcut araştırma alanında yıllık 44,85 ton olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu değer; 159470 ha.’lık Londra kent ormanları için 299 ton (Rogers vd., 2015), 8412,28 ha.’lık Springfield (Massachusetts) kenti için 62,57 ton (Bloniarz vd., 2014) ve 10121 ha.’lık Barselona kent ormanları için ise 54,6 ton (Chaparro ve Terradas, 2009) olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen değerlere bakıldığında, mevcut çalışmada hesaplanan değer, diğer çalışmalarda değerlere kıyasla daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi, diğer çalışmalarda çalışma alanlarının kent ormanı olması ve/veya kent içerisindeki ağaç taç örtüsünün daha yoğun olmasıdır.

İlçedeki taç örtüsüne tutulan yıllık CO₂ miktarı 27370 ton olarak hesaplanmışken, odunsu taksonların yaşamları boyunca depoladığı toplam CO₂ miktarı ise 687460 tondur (Tablo 2). Bu iki değer; Mountshannon (İrlanda) kenti için yıllık tutulan CO₂ miktarı 4 ton ve depolanan toplam CO₂ miktarı 116 ton (Carey ve Tobin, 2016), Chicago kenti için yıllık tutulan CO₂ miktarı 677000 ton ve depolanan toplam CO₂ miktarı 16900000 ton (Nowak vd., 2013), Roanoke (Virginia) kenti için yıllık tutulan CO₂ miktarı 2090 ton ve depolanan toplam CO₂ miktarı 97500 (Kim vd., 2015), Isparta kenti için yıllık tutulan CO₂ miktarı 21,839 ton ve depolanan toplam CO₂ miktarı ise 197,566 ton (Tuğluer ve Gül, 2018) olarak belirlenmiştir.

İlçe sınırları dahilinde ağaç taç örtüsünden sağlanan, yukarıda verilen hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin yıllık ekonomik değeri yaklaşık 1482800\$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu değer, Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi için 112481\$ (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017), Atlantic Beach (Florida) şehri için 139991,24\$ (Marcus, 2015) ve Chicago kenti için 137000000\$ (Nowak vd., 2013) olduğu belirlenmiştir. Yukarıda verilen değerler, ağaçların ve taç örtüsünün her bir çalışma alanı özelinde yalnızca hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak bile ne kadar büyük ekonomik katkı sağladığını göstermektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan I-tree canopy modelinde hesaplanan değerlerin doğruya yakınlığı anlamındaki

hassasiyet, analizde atılan nokta sayısının fazla olmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır (Anonim, 2011; Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017). Mevcut çalışmada, 34200 ha büyüklüğündeki Mamak ilçesinde 10000 adet nokta tanımlanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 2). Bu sayı, tüm Avustralya (6218500 ha) için yapılan bir çalışmada 139000 nokta (Jacobs vd., 2014), Springfield (Massachusetts) kenti (8412,28 ha) için yapılan bir çalışmada 500 nokta (Bloniarz vd., 2014), Atlantic Beach (Florida) şehri (3360 ha) için yapılan bir çalışmada 1000 nokta (Marcus, 2015) ve Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesi (54,47 ha) için yapılan bir çalışmada ise 3000 nokta (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017) olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışma ile aynı modelin kullanıldığı bu çalışmalar kıyaslandığında birim alana atılan nokta sayısının, kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan I-tree canopy modeli, düzenleyici ekosistem hizmetleri ile bu hizmetlerin ekonomik değerlerinin hesaplanmasında kullanılan, basit, kullanışlı ve hızlı sonuç veren bir araçtır. Modelden elde edilen sonuçlar, kapalılık oluşturan ağaç ve boylu çalıların ekosisteme sağladığı faydalara ilişkin net veriler sağlamaktadır (Anonim, 2011). Her ne kadar bu model çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde kullanılsa da Avustralya, Kanada, İngiltere ve İsviçre gibi diğer ülkelerde de uygulanmaktadır. Modelin diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde kullanımı, araştırmaya konu olan ve modelde referans alınan kentlerin iklim, hava kirliliği ve vejetasyon (tür) verilerinin karşılaştırılabilir olduğu durumda uygundur (Coşkun Hepcan ve Hepcan, 2017). Çünkü modelde altlık olarak kullanılan iklim, hava kirliliği, bitki örtüsü vb. veriler, ABD’ye göre hesaplanmış ve istatistiki olarak standart hale getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında hesaplanmış değerler, yaklaşık değerler olup bu alanda fikir vermesi açısından değerlendirildiğinde oldukça önemlidir. Ülkemizde başta I-tree Eco olmak üzere I-tree canopy vb. diğer modellerin daha yüksek doğruluk ve hassasiyette kullanımı için, daha ayrıntılı çalışmalar yapılmalı ve ülkemiz standartlarında katsayılar elde edilmelidir. Aksi halde ABD katsayıları kullanılabilir ama bu durumda da sonuçlar gerçek değerleri tam olarak yansıtmayacaktır (Tuğluer ve Gül, 2018).

Mevcut çalışma kapsamında yalnızca hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetleri hesaplanmış, bunun da ekonomiye ve doğaya olan katkısı ortaya konulmuştur. Farklı yaklaşım ve metodlarla ilçe genelindeki diğer ekosistem hizmetlerinin (düzenleyici hizmetler, tedarik hizmetleri, destekleyici hizmetler ve kültürel hizmetler) hesaplanması ve haritalanması sonucu hesaplanan bu değerlerin artacağı aşikardır.

Ekosistem hizmetleriyle ilgili bilimsel çalışmaların büyük bölümünün bugüne kadar doğal ve kırsal alanlarda yapıldığı görülmektedir. Özellikle dünyadaki insan nüfusunun büyük bölümüne habitat olan kentsel alanları konu alan ekosistem hizmetlerine yönelik çalışmalar ise oldukça sınırlı kalmıştır (Gomez-Baggethun ve Barton, 2013; Derksen vd., 2015). Ülkemizde yapılan ekosistem hizmetlerinin hesaplanmasına yönelik çalışmalara bakıldığında bu çalışmaların; Düzlerçamı Ormanları (Balkız, 2016), İstanbul Ömerli Havzası (Albayrak, 2012) ve Sultan Sazlığı

Milli Parkı (Bilgin ve Doğan, 2012) gibi yine ağırlıklı olarak doğal alanlarda yapılmış olduğu görülmektedir. Mamak ilçesinin tamamında yürütülmüş bu çalışma, kentsel alanların ekosistem hizmetlerinin hesaplanması açısından önemli çalışmalardan biridir.

Bu çalışma kapsamında hesaplanan değerler; ağaçların, ormanların, korulukların, yeşil alanların vb. hem ekolojik hem de ekonomik açıdan ne kadar önemli olduğunu göstermesi anlamında büyük önem taşımaktadır. Dahası, bu alanların neden korunması gerektiğini de karşılaştırılabilir ve rakamsal verilerle açık bir biçimde göstermektedir. Bu sebeple, ekosistem hizmetlerinin hesaplanması çalışmalarının sayısının özellikle kentsel alanlarda artırılması, bu değerlerin, şehirlerin plan kararlarına yol gösterecek altlıklar olarak kullanılabilirliği anlamında yerinde bir eylem olacaktır.

Ormanlar, yeryüzündeki en önemli karbon yutak alanlarıdır. Ormanın temel öğelerinden olan ağaçların biyokütlesi içerisinde en büyük bölümü gövde odunu oluşturmaktadır. Bu nedenle, ağaçlarda depolanan toplam karbon miktarının en büyük kısmı, gövde odununda yer almaktadır (Mısır vd., 2011). Yani ağaç ne kadar yaşlı ve büyük olursa biyokütlesi de artacağından, daha çok karbon tutar ve atmosferden daha fazla kirletici uzaklaştırır. Benzer biçimde Brack (2002), geniş taç örtüsüne sahip büyük ağaçlardan sağlanan CO₂ tutma ve depolama, atmosferdeki kirleticileri toplama, yağış suyunun yüzeysel akışa geçmesini yavaşlatma gibi ekosistem hizmetlerinin, geniş taç örtüsüne sahip olmayan ağaçlara göre daha fazla olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda, ormanların yalnızca odun hammaddeleri olarak görülmeğe, onların aynı zamanda diğer fonksiyonlarını (ağaçlardan sağlanan ekosistem hizmetleri) da göz önünde bulundurarak idare sürelerinin uzatılması ve bu sayede de daha büyük ve yaşlı ağaçlardan oluşan ormanların oluşturulması, hem ekolojik hem de ekonomik anlamda yerinde bir eylem olacaktır.

Mamak ilçesindeki ağaç taç örtüsünden sağlanan hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem hizmetlerinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışma, ilçedeki ağaçların bir yılda toplam 27579,66 ton zararlı kirleticilerin atmosferden uzaklaştırılması (yaklaşık ekonomik karşılığı 1482800\$) ve idare süreleri boyunca 687460 ton CO₂ depolanması (yaklaşık ekonomik karşılığı 35246007\$) ile ilçeye önemli ekolojik ve ekonomik katkılar sağladığını göstermiştir. İlerleyen dönemlerde de ilçedeki yeşil alan sistemlerinin korunmasının ve alansal olarak artırılmasının devam ettirilmesinin, yukarıda bahsedilen katkıları artıracığı aşikardır. Sonuç olarak ekosistem hizmetleri çalışmalarının, ülkemizde diğer şehirlerde de yapılmasının yaygınlaştırılması ve elde edilen bulguların tüm yönetim planlarına entegre edilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, istatistikî ve ekolojik yorumların yapılmasında faydalanılan TÜBİTAK 2237-A Bilimsel Eğitim Etkinliklerini Destekleme Programı 1129B371900914 no'lu Analitik Doğa – Kümeleme ve Ordinasyon Teknikleri eğitimine ve makalenin bilimsel kalitesini artırıcı, yapıcı yorumları için hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Agren, C. (1991). EMEP report, MCS-W 1/91 Norway.
- Ahern, J., Cilliers, S., Niemela, J. (2014). The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: a framework for supporting innovation, *Landscape and Urban Planning*, 125, 254–259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., Yaşar, T. (1997). Scale 1/100,000 geological maps of Turkey. MTA Report, No. 55.
- Albayrak, İ. (2012). Ekosistem servislerine dayalı havza yönetim modelinin İstanbul-Ömerli havzası örneğinde uygulanabilirliği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anonim, (2011). i-Tree Canopy Technical Notes. https://canopy.itreetools.org/resources/iTree_Canopy_Methodology.pdf (Erişim Tarihi: 08.02.2020).
- Anonim, (2016). 100 Maddede Sürdürülebilirlik Rehberi. SKD Türkiye, İstanbul.
- Balkız, Ö. (2016). Assessment of the socio-economic values of goods and services provided by Mediterranean forest ecosystems – Düzlerçamı Forest, Turkey. Orman Genel Müdürlüğü, Doğa Koruma Merkezi and Plan Bleu, Valbonne.
- Bassett, C.G. (2015). The Environmental Benefits of Trees on an Urban University Campus. Master of Environmental Studies, University of Pennsylvania Environmental Biology, Pennsylvania.
- Bilgin, A., Doğan, M. (2012). Doğa Korumanın Ekonomik Sisteme Entegrasyonu Taslak Kılavuzu 2 Biyokiyometlendirme Teknik Uygulayıcıları: Sultan Sazlığı Milli Parkı Pilot Uygulaması. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Bloniarz, D., Beals, T., Savoie, D. (2014). i-Tree Canopy Assessment of Springfield, Massachusetts. https://www.itreetools.org/resources/reports/iTree_Canopy_Spfld_Citywide_Aug2014.pdf (Erişim Tarihi: 08.01.2020).
- Bolund, P., Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.
- Brack, C.L. (2002). Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 116, 195–200.
- Carey, B., Tobin, B. (2016). Ecosystem services provided by mountshannon village trees. <https://static.rasset.ie/documents/radio1/mountshan-non-ecosystem-services-provided-by-mountshannon-village-june-2016.pdf> (Erişim Tarihi: 11.01.2020).
- Chaparro, L., Terradas, J. (2009). Ecological services of urban forest in Barcelona. *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals*, Universitat

Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain.

DOI:10.1007/s11252-012-0271-2.

- Cindoruk, S.S. (2018). Havadaki NO ve NO₂ Parametrelerinin Marmara Temiz Hava Merkezi Ölçümleri Kapsamında İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 600-611.
- Coşkun Hepcan, Ç. (2019). İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 12: Kentlerde İklim Değişikliği ile Mücadele için Yeşil Altyapı Çözümleri. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Coşkun Hepcan, Ç., Hepcan, Ş. (2017). Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesinin Hava Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Düzenleyici Ekosistem Servislerinin Hesaplanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54(1), 113-120.
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., Pan, Y. (2006). Adverse health effects of outdoor in pollutants, Environmental International, 32: 815-830.
- Çakmak, M.H. (2016). Mamak (Ankara) İlçesinin Kentsel Ekolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakmak, M.H., Aytaç, Z. (2018). Urban vascular flora and ecological characteristics of Mamak District (Ankara/Turkey). Biological Diversity and Conservation, 11(2), 123-131.
- Çelik, M., Taştekin, M., Kayabali, K. (2007). An investigation of the surface and groundwater leachate from an old waste disposal site at Mamak, Ankara, Turkey. International Journal of Environment and Pollution, 30(3-4), 548-560.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2014). Yer seviyesi ozon kirliliği bilgi notu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Derkzen, M.L., Van Teeffelen, A.J.A., Verburg, P.H. (2015). Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. Journal of Applied Ecology, 52, 1020-1032.
- Forman, R.T.T. (2008). Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City. Cambridge University Press, New York. ISBN-13: 978-0521670760.
- Forman, R.T.T. (2014). Urban Ecology: Science of Cities. Cambridge University Press, New York. ISBN-13: 978-052118824.
- Gomez-Baggethun, E., Barton, D.N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. Ecological Economics, 86, 235-245.
- Güvendik, G., Yılmaz, A. (2003). Egzos kirliliğine maruz kalan kişilerde kan karboksihemoglobin düzeyi. Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 32: 213-219.
- Hepcan, Ş. (2013). Analyzing the pattern and connectivity of urban green spaces: a case study of Izmir, Turkey, Urban Ecosystems, 16, 279-293,
- Hutchings, T., Lawrence, V., Brunt, A. (2012). Estimating the ecosystem services value of Edinburgh's trees. The Research Agency of Forest Commission, https://www.itreetools.org/resources/reports/Edinburgh_iTree_Report.pdf (Erişim Tarihi: 05.01.2020).
- Jacobs, B., Mikhailovich, N., Delaney, C. (2014). Benchmarking Australia's Urban Tree Canopy: An i-Tree Assessment. Final Report, Horticulture Australia Limited, the Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney.
- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., Işlak, Z. (2011). Hava kirliliği ve kardiyovasküler sistem. TAF Preventive Medicine Bulletin, 10: 97-106.
- Kim, G., Miller, P.A., Nowak, D.J. (2015). Assessing urban vacant land ecosystem services: Urban vacant land as green infrastructure in the City of Roanoke, Virginia. Urban Forestry & Urban Greening, 14, 519-526.
- Mamak Belediyesi, (2018). 2018 Yılı İdare Faaliyet Raporu. T. C. Mamak Belediye Başkanlığı, Ankara.
- Marcus, C. (2015). Tree canopy assessment city of Atlantic Beach Florida. Legacy Arborist Services Tallahassee, FL. https://www.itreetools.org/resources/reports/Atlantic_Beach_FL_Canopy_Assessment_Report.pdf (Erişim Tarihi: 02.01.2020).
- McNeil, J., Vava, C. (2006). Oakville's urban forest: our solution to pollution. Town of Oakville Parks and Open Space Department Forestry Section. <https://www.itreetools.org/resources/reports/Oakville's%20Urban%20Forest.pdf> (Erişim Tarihi: 02.01.2020).
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), (2005). Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. MA. <http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html> (Erişim Tarihi: 05.02.2020).
- Mısır, N., Mısır, M., Ülker, C. (2011). Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu'nda sunuldu, Kahramanmaraş, 524- 531.
- Moran, J.M., Mogan, M.D. (1994). Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather. Macmillan Coll Div., UK.
- Nowak, D.J. (2000). The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K., Ning, Z.H., Appeaning, A. (eds) Global change and urban forest. GCRCC and Franklin Press, Baton Rouge, LA.
- Nowak, D.J., Hoehn, R.E., Bodine, A.R., Crane, D.E., Dwyer, J.F., Bonnewell, V., Watson, G. (2013). Urban trees and forests of the Chicago region. Resource Bulletin NRS-84. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.

- Phillips, D., Burdick, C., Merja, B., Brown, N. (2013). Urban forest ecosystem services: a case study in Corvallis, Oregon. Presented at Ecological Society of America, Minneapolis, MN.
- Rogers, K., Jarratt, T., Hansford, D. (2011). Torbay's Urban Forest: Assessing Urban Forest Effects and Values - A report on the findings from the UK i-Tree Eco pilot project. Treeconomics, Exeter. ISBN 978-0-9571371-0-3.
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., Doick, K. (2015). Valuing London's urban forest results of the London I-Tree eco Project. Hill & Garwood Printing Limited, Watford. ISBN 978-0-9571371-1-0.
- Scott, C.E., Bliss, T., Spracklen, D.V., Pringle, K.J., Dallimer, M., Butt, E.W., Forster, P.M. (2016). Exploring the Value of Urban Trees and Green Spaces in Leeds UK. [Gorse, C. And Dastbaz, M. (der.)] Proceedings of Int. SEEDS Conference 2016, Int. SEEDS Conference: Sustainable Ecological Engineering Design for Society, 14-15 September, Leeds Beclt University, UK.
- Seed Consulting Services, (2016). Tree ecosystem services assessment, Ridge Park. A report prepared for the City of Unley, South Australia. https://www.itreetools.org/documents/342/RidgePark_Unley_AU_618_EcoReport_Final18May2016.pdf (Erişim Tarihi: 02.01.2020).
- Steiner, F. (2011). Landscape ecological urbanism: origins and trajectories. *Landscape and Urban Planning*, 100, 333-337.
- T. C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, (2015). Ankara İli Arazi Varlığı. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara, 3-53.
- Toros, H. (2000). İstanbul'da Asit Yağışları, Kaynakları ve Etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tuğluer, M., Gül, A. (2018). Kent ağaçlarının çevresel etkileri ve değerinin belirlenmesinde UFORE modelinin kullanımı ve Isparta örneğinde irdelenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3), 293-307.
- Tursun, N., Üremiş, İ., Bozdoğan, O., Doğan, M.N. (2018). Sıcaklık ve CO₂ Artışlarına Bazı Önemli Yabancı Otların Verdikleri Tepkilerin Araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 34(3), 1-10.
- Vural, M., Yaman, M., Şahin, B. (2007). Büyükhemit Deresi ve Civarının (Delice-Kırıkkale) Vejetasyonu. *Ekoloji*, 16(64): 53-62.
- Yatkın, S., Bayram, A. (2007). İzmir havasında partikül madde kirliliği: ölçüm ve değerlendirme, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2): 15-27.