
BİYOLOJİDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

Editör: Doç.Dr. Nurşen ÇÖRDÜK

Biyolojide İleri Araştırmalar

Editör

Doç. Dr. Nurşen ÇÖRDÜK

yaz
yayınları

2024

Biyolojide İleri Araştırmalar

Editör: Doç.Dr. Nurşen ÇÖRDÜK

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6171-35-0

Aralık 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Bitkiler Dünyayı Nasıl Algılar.....	1
--	----------

Füsun YÜREKLİ

Examining Pictures And Opinions Of Science Teacher Candidates Towards Environmental Problems.....	17
--	-----------

Nurcan ÖZKAN

Mikrosatellitler ve Kullanım Alanları.....	31
---	-----------

Gülcan GÜRSES, Nebiye YENTÜR DONİ

Humik Asitler ve Tarım	41
-------------------------------------	-----------

Şener AKINCI

Su Kalitesi Çalışmalarında Vatandaş Biliminin Kullanımı	55
--	-----------

Deniz MERCAN

Effects Of St. John's Wort (Hypericum Perforatum) On Daily Food Consumption, Body Weight, Leptin Hormone And Blood Glucose Levels In Syrian Hamsters	69
---	-----------

Bülent GÜNDÜZ, Emine İnci BALKAN

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

BİTKİLER DÜNYAYI NASIL ALGILAR

Fusun YÜREKLİ¹

1. GİRİŞ

Antik çağlardan beri, bitkilerin gözsüz bedenlerini en yakın, en parlak ışık kaynağına doğru yönlendirme yeteneğı - bugün fototropizm olarak bilinir - bilim insanlarını büyülemiş ve sayısız bilimsel ve felsefi tartışma yaratmıştır. Ve son 150 yıldır, botanikçiler bitkilerin ışığı nasıl algıladığını ve bu bilgiye nasıl tepki verdiğini destekleyen birçok temel moleküler yolu başarıyla çözmüşlerdir.

Hayvanlar, etraflarındaki dünyanın ayrıntılı bir resmini elde etmek için merceklerden ve fotoreseptörlerden oluşan karmaşık bir organ ve ışığın yönü de dahil gözlerini kullanırlar. Biyologlar, bitkilerin aydınlatmayı ölçmek için güçlü bir moleküler mekanizmaya sahip olduğunu tespit ettiler. Ancak mercek gibi belirgin fiziksel duyu organlarının yokluğunda, bitkiler ışığın geldiğı yönü nasıl hesaplıyorlar?

Bitkilerin 2.000 yıldan uzun bir süredir neden ve nasıl ışığa doğru yöneldikleri şiddetli tartışmaların konusu olmuştur. Erken Yunan filozofları, bitkilerin hayvanlar gibi duyum ve hareket yeteneğine, hatta arzu ve zekaya sahip olduğunu savundu. Ancak Aristoteles gibi daha sonraki düşünürler, bitkilerin doğuştan pasif olduğunu, çevrelerini algılamaktan, hatta onunla birlikte hareket etmekten aciz olduğunu ileri sürdüler. Aristoteles “Bitkiler Üzerine” adlı eserinde bitkilerin ne duyusu ne de arzusu vardır, diye yazmıştır. Yüzyıllar boyunca, bilim insanları onunla aynı fikirde olma eğilimindeydi. Charles Darwin ve oğlu Francis, değışen bir ışık kaynağına tepki veren fidelerin hareketlerini izlediler ve düzinelerce fototropik harita ürettirler. Bitkilerin ışığa doğru nasıl büyüdüğünü açıklayan hipotezleri büyük ölçüde kanıtlandı.

Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında Charles Darwin ve oğlu Francis, tropizma ile ilgili bitki büyüme olayını araştırmışlardır. Bitkilerin ışığa doğru yönelmesi bu araştırmacıların ilgi alanlarından biri olmuştur. Büyüme farklılığından kaynaklanan bu olaya fototropizma adı verilmiştir. Darwin’ler Phalaris canariensis (Kanarya çimeni) fidelerini kullanmışlardır. Bitkilerde Hareketin Gücü kitabında açıklandığı gibi, fidelerin sürgünün ucunda ışığa en duyarlı olduklarını ve orada hissettiklerinin bitkinin büyüme yönünü et-

¹ Prof. Dr., İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, fusun.yurekli@ino-nu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4111-9230

kileyen bir maddenin üretimine yol açtığını öne sürdüler. 1920'lere gelindiğinde, botanikçiler bu modeli ayrıntılı olarak açıklayan bir fikir birliğine varmışlardı: bitkilerin uçlarında ışık sensörleri vardı ve gölgeli taraflarında daha fazla büyümeyi teşvik eden hormonlar (daha sonra oksin olarak tanımlandı) üretiliyorlardı, bu da saplarının ve yapraklarının ışığa doğru yönelmesine neden oluyordu. Birçok büyük keşif gibi bu da yeni bir soruyu gündeme getirdi: Bitkiler ilk başta ışığı nasıl algılayabiliyordu?

2. FOTOSEPTÖRLER

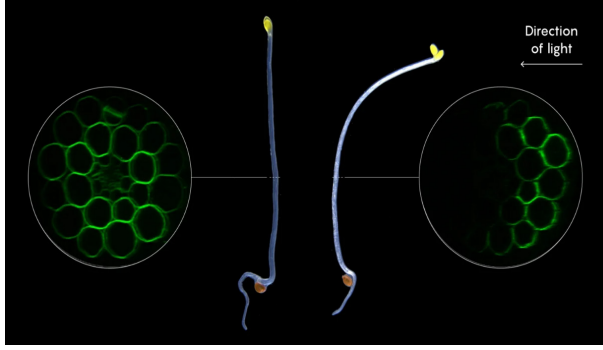
Moleküler biyologlar, bitkilerin gözlerimizle ölçebildiğimizden çok daha geniş bir ışık spektrumuna tepki verebildiğini ve algı için özel bir organa sahip olmasalar bile bunu gösterdiklerini bulmuşlardır. Beş farklı fotoseptör ailesi, hormonlar ve sinyal yolları, bir bitkinin yeni dokuyu inşa ettiği yönü hücresel düzeye kadar belirlemek için birlikte çalışır. Bu fotoseptörlerin bitki gövdeleri boyunca yayıldığı ancak büyük ölçüde gövdenin iç dokusunda yoğunlaşmış olduğu bildirilmiştir (Taiz ve Zeigler 2010, Legris ve Boccaccini 2020, Ganesh vd. 2023). Science dergisinde yayınlanan "Hava kanalları hipokotil fototropizmini düzenlemek için yönlü bir ışık sinyali oluşturur" başlıklı makalede, bitkilerde ışık yönü, fototropizm olarak bilinen yönlü büyüme tepkilerini tetikleyen fototropin fotoseptörleri tarafından algılandığı bildirilmiştir. Işığa duyarlı bir organ boyunca bir fototropin aktivasyon gradiyentinin oluşması bu tepkiyi başlattığını bununla birlikte, fototropizme işlevsel olarak katkıda bulunan optik doku özellikleri belirsizliğini korumakta olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada, hücreler arası hava kanallarının çeşitli türlerde çeşitli organlar boyunca ışık geçirgenliğini sınırladığını göstermişlerdir. Hava kanalları Arabidopsis hipokotillerinde ışık saçılımını artırarak ışık gradiyetini dikleştirir. Bu, Arabidopsis ve Brassica'da etkili bir fototropik yanıt için gereklidir. Fidelerde hava kanallarının varlığı için gerekli olan embriyonik olarak ifade edilen bir ABC taşıyıcısı ve bunları çevreleyen bir yapıyı belirlemişlerdir. Ganesh vd. (2023) Hücreler arası hava boşluğu gelişimi veya bakımı hakkında bilgi sağlayan ve bitkilerde yönlü ışık algılama mekanizması tanımlamışlardır. Ancak, basit sensörler bitkilere ışığın yönünü belirleme yeteneği kazandırmak için tek başlarına yeterli değildir. Güçlü aydınlatmanın yönünü en iyi şekilde belirlemek için, bir bitkinin farklı fotoseptörler arasındaki sinyalleri karşılaştırabilmesi gerekir, böylece büyümelerini en yoğun ışığa doğru yönlendirebilirler. Ve bunun için gelen ışığın sensörlerine en parlak olandan en sönük olana doğru bir eğimle dönüşmesi gerekir.

İsviçre'deki Lozan Üniversitesi'nden bitki biyologlarından oluşan ekipte yer alan Christian Fankhauser ve Martina Legris, bitkilerin dokularındaki hücreler arasında bir eğim yaratmak için ışığı fiziksel olarak nasıl

dağıtabildiğini keşfettiler. Hayvanlar bu sorunu göz gelişimiyle çözmüşlerdir. Planarya solucanı gibi basit bir organizma, yalnızca ışığın varlığını veya yokluğunu algılayan “göz noktaları” ile algılar. Bizimki gibi daha karmaşık hayvan gözlerinde, lens gibi anatomik özellikler ışığı fotosensörlerle dolu retinaya yönlendirir. Daha sonra beyin, kavisli lensten gelen ışık miktarını ayrı hücrelerde kaydedilen miktarla karşılaştırır. Işığın fiziksel manipülasyonunu moleküler sensörlerle birleştiren bu sistem, parlaklık ve gölgenin ince taneli gradyanlarının algılanmasını ve bunların görüş dediğimiz resme dönüştürülmesini sağlar. Böylece, botanikçiler bir bilmeceyle karşı karşıya kaldılar. Fototropizm, bazılarının şüphelendiği gibi tamamen moleküler bir süreç miydi yoksa bitkiler ışık ışınlarını bir eğim yaratmak ve tepkilerini daha iyi yönlendirmek için değiştirebilir miydi? İkincisi doğrusa, o zaman bitkilerin ışığı odaklamalarına izin veren fiziksel yapıları olmalıydı. Bu yapı, sonunda ışığı bulmakta zorlanan bir yol kenarı otunun (*Arsbidopsis thaliana* ‘nın mutant versiyonunda tespit edilmiştir. Thale teresi- bilimde *Arabidopsis thaliana* olarak bilinir- özellikle çekici bir bitki değildir. 25 santimetre boyundaki bu yabancı ot, bozulmuş arazileri, tarla kenarlarını ve yol kenarlarını sever. Afrika ve Avrasya’ya özgü olan bu bitki artık Antarktika hariç her kıtada bulunmaktadır. Kısa yaşam döngüsü, küçük genomu (2000 yılında tam olarak haritalanmıştır) ve laboratuvarında yararlı mutasyonlar üretme eğilimi, onu bitki büyümesi ve genetiğini anlamak için mükemmel bir model organizma haline getirmiştir.

Fankhauser, ışığın bitki büyümesini nasıl şekillendirdiğini incelemek için 1995’ten beri Arabidopsis ile çalışmaktadır. Araştırmacı, 2016’da ışığa alışılmadık tepkiler veren mutant bitkileri bulmak için fidelerin genlerini taramıştır. Araştırmacılar, tohumları, fideleri yanlara doğru yönlendirmek için mavi ışıkların olduğu karanlık bir odada yetiştirdiklerini ve ışığın yönünü değiştirdikçe, bitkiler kendilerini ona göre yeniden yönlendirdiğini (bir mutant bitki hariç) açıklamışlardır. Bu mutant bitkinin, yerçekimini algılamakta hiçbir sorunu olmasa da ışığı takip edemediği ve bunun yerine, sanki körmüş ve karanlıkta etrafı yokluyormuş gibi her yöne doğru eğildiği rapor edilmiştir.

Mutantın ışığı algılama yeteneğinde bir şeyler ters gitmişti. Fankhauser’in laboratuvarında doktora sonrası araştırmacı ve yeni makalenin ortak yazarı olan bitki biyoloğu Martina Legris’e göre, çalışma ekibi bitkiyi incelediğinde tipik fotoreseptörlere sahip olduğunu ancak gövdeye mikroskop altında bakıldığında garip bir şey fark ettiler (Legris vd. 2016, Legris vd. 2019, Ganesh vd. 2023).



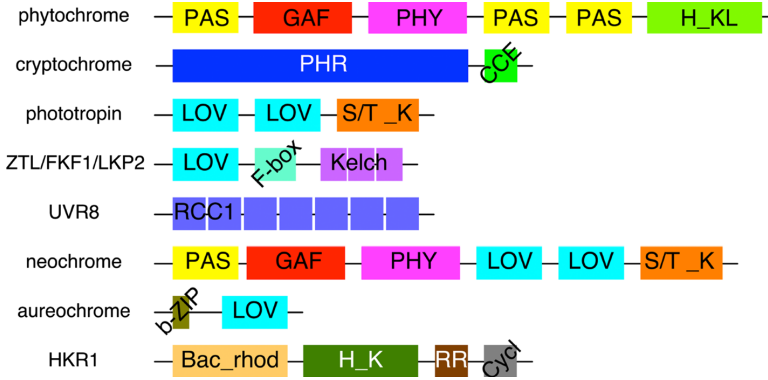
Şekil 1. *Arabidopsis thaliana*'da ışığın algılanması (Legris vd. 2016, Ganesh vd. 2023).

Normal bir *Arabidopsis* fidesi (sağda) sağdan gelen ışığa doğru eğilirken, suyla dolu hava kanallarına sahip bir mutant (solda) düz yukarı doğru büyür. Fidelerden enine kesit alındığında normal hava kanalları, bitkinin hücreleri boyunca parlaklıktan karanlığa doğru bir eğim oluşturduğunu (burada floresan yöntemleri kullanılarak gösterilmiştir) ve bu da ışığın yönünü gösterdiği rapor edilmiştir.

Suyla dolu kanallara sahip mutant fidelerin ışık eğimi yoktur ve bu nedenle hangi yönde büyüyeceklerini hissedemezler. Hava kanallarının, bitkinin ışığın yönünü değerlendirip ona doğru büyümesini sağlamak için farklı hücreler arasında dik bir ışık eğimi oluşturduğu ifade edilmiştir. *Arabidopsis*, çoğu bitki gibi, hücreleri arasında hava kanallarına sahiptir. Bu yapılar, kapalı hücre bölmelerinin etrafına örülmüş havalandırma bacaları gibidir ve hem fotosentezde hem de hücreleri oksijenlendirmede önemli roller oynadıkları bilinmektedir. Ancak mutant bitkinin hava kanalları suyla dolmuştur. Araştırmacılar, bu mutasyonu, bitkinin hava bacalarının su geçirmez olmasını sağlamak için hücre duvarını su geçirmez hale getirmeye yardımcı olabilecek bir protein üreten ABCG5 genine kadar takip etti (5,6). Araştırmacılar, bitkinin ışığın kırılma fenomenine dayanan bir mekanizma aracılığıyla kendini ışığa göre yönlendirdiği sonucuna vardılar - ışığın farklı ortamlardan geçerken yön değiştirme eğilimi. Legris, kırılma nedeniyle normal bir *Arabidopsis*'ten geçen ışığın gövdenin yüzeyinin altına dağılacağını açıkladı. Çoğunlukla su olan bir bitki hücresinden ve ardından bir hava kanalından her geçtiğinde ışık yön değiştirir. Işık bir kısmı bu süreçte yeniden yönlendirildiğinden, hava kanalları farklı hücreler boyunca dik bir ışık gradyanı oluşturur ve bitki bunu ışığın yönünü değerlendirmek ve ardından ona doğru büyümek için kullanabilir. Buna karşılık, bu hava kanalları suyla dolduğunda, ışığın saçılması azalır. Bitki hücreleri, ikisi de su içerdiğinden, ışığı su dolu bir kanala benzer şekilde kırar. Işık saçılmak yerine, hücrelerden ve su dolu kanallardan neredeyse doğrudan geçerek doku içinde daha derinlere iner, ışık gradiyentini azaltır ve fideyi ışık yoğunluğundaki farklılıklardan yoksun bırakır. Bu çalışma, bu hava kanallarının genç bitkilerin ışığı takip

etmesinde kritik bir rol oynadığını öne rapor etmektedir (Legris vd. 2016, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh9384>).

Bitkiler güneş ışığını sadece fotosentez için bir enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda yaşam döngüleri boyunca çok çeşitli gelişimsel ve fizyolojik tepkileri kontrol etmek için bir bilgi ipucu olarak kullanırlar. Bu tepkiler, gen ifadesi, protein modifikasyonu vb. gibi çeşitli hücresel tepkilerin aracılık ettiği tohum çimlenmesi, etiyolasyon, yönlü büyüme, organel hareketi, çiçeklenme ve yaşlanmayı içerir. Bitkiler, ultraviyole-B'den (UV-B) uzak kırmızı ışığa kadar geniş dalga boylarına yanıt olarak ışık tepkilerine aracılık etmek için benzersiz fotoreseptör sistemleri geliştirmiştir. Bitkilerde birçok fotoreseptör türü tanımlanmıştır (Şekil 2), bunlar, fitokrom (phy) ve kriptokrom (cry) ve fototropin (phot) sırasıyla kırmızı/uzak kırmızı ve mavi ışık reseptörleridir. Fotoreseptörler, ışık sinyallerini absorbe etmek için kromoforları bağlayan fotoreseptif alanlara sahiptir. cGMP-spesifik fosfodiesterazlar, adenil siklazlar ve phy'nin Fh1A'sı (GAF), fotolizaz homoloğu bölgesi (PHR) ve phot'nin LOV (ışık, oksijen veya voltaj) sırasıyla kromoforları olarak tetrapirel ve flavinleri bağlar (Burgie vd, 2014, Jhon vd. 2015). Kromofor üzerindeki fotokimyasal reaksiyonlar alanın konformasyonel değişikliğine yol açar ve çıkış alanlarını düzenler. Böylece fotoreseptör fiziksel ışık sinyalini protein-protein etkileşimleri gibi biyokimyasal bir sinyal ve enzim aktivasyonu ve ardından ışık sinyali aşağı yönde yayılır (Legris vd. 2016, Kong ve Okijama 2016).



Şekil 2. Bitki fotoreseptörlerinin mimarisinin şematik çizimi. HRK1, Histidine kinase rhodopsin1; PAS, Per-Ant-Sim; PHY, phytochrome region; HKL, histidine kinase-like; CCE, cryptochrome C-terminal extension; S/TK, serine/threonine kinase; F-box, F-box like; Kelch, Kelch motif; RCC1, regulator of chromosome condensation repeat1; b-ZIP, basic region leucine zipper; Bac_rhod, bacteriorhodopsin-like protein; HK, Histidine kinase; RR, response regulator receiver domain; Cycl, guanylyl cyclase domain (Kong ve Okijama 2016).

Arabidopsis'te phy, kırmızı/uzak-kırmızı ışığa bağımlı bir şekilde bir fitokrom-etkileşen faktör (PIF) ailesi ile bir kompleks oluşturarak transkripsiyonun düzenlenmesine aracılık eder. Phys çimlenme, etiyolasyon, gölgeden kaçınma tepkileri ve benzerlerinde rol oynar. Son zamanlarda, phy'nin alternatif eklemeyi de (alternative splicing) düzenlediği tespit edilmiştir (Shikata vd. 2014). Cry ayrıca transkripsiyonu düzenler ve hipokotil uzamasının engellenmesi, çiçek başlangıcının fotoperiyodik kontrolü, sirkadiyen ritimler vb. dahil olmak üzere çeşitli mavi ışık tepkilerine aracılık eder (11). Phot mavi ışığa bağımlı bir ser/thr kinazdır ve fosfosignaling yolunu tetikler. ZEITLUPE (ZTL), Flavin Bağlayıcı, Kelchrepeat, F-BOX1 (FKF1) ve LOV KELCH PROTEIN2 (LKP2) grubu proteinler, LOV, F-box ve Kelchrepeat alanlarına sahip olan ve sirkadiyen saat ve fotoperiyodik çiçeklenmenin düzenlenmesinde rol oynayan faktörlerle sinyal kompleksleri oluşturan mavi ışık sensörleridir.

UV RESISTANCE LOCUS8 (UVR8), yakın zamanda tanımlanan ve triptofanı kromofor olarak kullanan bir UV-B ışık reseptörüdür. UV-B emilimi, bir homodimerden iki aktif monomere yapısal değişime neden olur, bu da CONSTITUTIVELY PHOTOMORPHOGENIC1 (COP1), iklimlendirme ve UV-B toleransı ve hipokotil büyüme inhibisyonu ile önemli bir etkileşime yol açar UVR8 ayrıca UV koruması için gen ifadesinde değişikliklere neden olur (Jenkins 2014). Ayrıca, hem GAF hem de LOV alanlarına sahip kimerik bir fotoreseptör kinaz olan neokrom, *Adiantum capillus-veneris* (Venüs saçı)'te fototropik yanıt ve kloroplast hareketi için kırmızı/uzak kırmızı ve mavi ışık sensörü olarak görev yapar (Kawai vd. 2003, Nozue vd. 1998). Alglerde sadece phy, cry, phot gibi ana fotoreseptörler değil aynı zamanda aureochrome (aureo) ve opsin de son genomik çalışmalarla tanımlanmıştır (Kianianmomeni ve Hallmann 2014). Arabidopsis'in moleküler ve genetik çalışmaları, ışık tepkileri hakkındaki bilgilerimizde önemli ilerlemeler sağlamıştır. Fotoreseptörlerin keşfine ek olarak, ışık tepkileri için aşağı akış yollarında yer alan birçok sinyal faktörü de alglerden yüksek bitkilere kadar geniş çapta tanımlanmıştır (Kami vd. 2010, Patitatzki vd. 2022).

3. IŞIK KİRLİLİĞİ

Çoğu organizma, Dünya'nın dönüşü ve yörüngesi sonucu oluşan ışık ve karanlık döngülerine göre milyonlarca yıl boyunca evrimleşmiştir. Çevresel ışık, doğal sistemlerde önemli bir rol oynar; hem günlük hem de mevsimsel değişikliklerini organize eden abiyotik bir sinyal olarak işlev görür. Yüksek enlemlerde, gün uzunluğundaki değişiklikler, dolayısıyla mevsim ilerlemesinin ve özellikle daha elverişli ilkbahar koşullarının başlangıcının doğru bir göstergesidir. Ancak, bu temel ışığa dayalı süreçlerin ışık kirliliğinden ne kadar etkilendiği belirsizdir. Vasküler bitkiler, ışığın kırmızı:uzak kırmızı oranına duyarlı olan fitokrom fotoreseptörleri kulla-

narak gün uzunluğunu etkili bir şekilde belirler ve bu yetenek, çiçeklenme ve tomurcuk gelişimi gibi önemli fenolojik olayları zamanlamalarına yardımcı olur, böylece bunlar elverişli çevresel koşullarla örtüşür.

Vasküler bitkiler, gün uzunluğunu etkili bir şekilde belirlemek için ışığın kırmızı: uzak kırmızı oranına duyarlı fitokrom fotoreseptörleri kullanır ve bu yetenek, çiçeklenme ve tomurcuk oluşumu gibi önemli fenolojik olayları zamanlamalarına yardımcı olur, böylece uygun çevresel koşullarla çakışır (Gaston vd. 2013, Basler vd. 2012, Smith 2000). Alacakaranlıkta ışığın kırmızı: uzak kırmızı oranını azaltan bir deney, gümüş huş ağacında (*Betula pendula*) tomurcuk patlamasını yaklaşık 4 gün iletmiştir (Linkosalo ve Lechowicz 2006). Birçok organizma için, bu tür olayların doğru zamanlaması önemli uygunluk etkilerine sahiptir. Ayrıca, multitrofik sistemlerde, optimal koşulların periyodu genellikle temelde trofik seviyedeki tür fenolojisi tarafından yönetilir (Visser vd. 2001). Bu, antropojenik iklim değişikliğinin fenoloji üzerindeki olası etkileri bağlamında kapsamlı bir şekilde incelenen Pendunculate meşe ağacı (*Quercus robur*) ev sahibi bitki ile kış güvesi tırtıl (*Operophtera brumata*) otobur arasındaki etkileşim ile iyi bir şekilde örneklenmiştir (Visser ve Holleman 2001, Buse vd. 1999, Buse ve Good 1996). Meşe ağaçlarının, büyüme mevsiminin uzunluğunu en üst düzeye çıkaracak ve aynı zamanda donma hasarı riskini azaltacak bir zamanda tomurcuklarını açmak için hem sıcaklığı hem de fotoperiyodu abiyotik ipuçları olarak kullandıkları düşünülmektedir (Phillimore vd. 2013, Kong ve Okajima, 2016). Buna karşılık, kış güvesi ot oburu, yumurtadan çıkışını tomurcuk patlamasının zamanlamasıyla eşleştirmek için baskı altındadır. Bu nedenle, yumurtalar çok erken çatlırsa, larvalar açlıkla karşı karşıya kalabilir ve çok geç yumurtadan çıkarılsa, daha az sindirilebilir ve daha iyi korunan tanen bakımından zengin yaprakları yemeye zorlanırlar (Visser ve Holleman, 2001, Buse vd. 1999, Feeny 1970, Legris vd. 2016, Kong ve Okajima 2016, Shikata 2014). Çoğu ılıman ağaçta tomurcuk patlaması fenolojisini belirlemek için fotoperiyot ve sıcaklık zorlamasının bir kombinasyonunun önemli olduğu düşünülmektedir ve tomurcuk patlaması için sıcaklık zorlama gereksinimi, birikmiş kış soğuğu ve/veya fotoperiyotta artışlar tespit edildiğinde minimum bir değere düşmektedir (Vitasse ve Basler 2013, Jenkins 2014). Fırsatçı, erken ardışık türler ve ilkbaharda daha erken yapraklanan ağaç türleri, fotoperiyodun çok az etkisi ile tek başına sıcaklığa daha duyarlı olma eğilimindedir. İlkbaharda daha sonra tomurcuk kırma eğiliminde olan geç ardışık türler, fotoperiyoda daha belirgin bir tepki verme eğilimindedir [2,8]. Gözlemler, birkaç kentsel ağaç türünün yaprak fenolojisinin, hem erken tomurcuk açılması hem de daha sonraki yaprak dökülmesi açısından sokak aydınlatmasının hemen yakınında değiştiğini göstermektedir (Bennie vd. 2016, Kawai vd. 2003).

Son 150 yılda, doğal gece ortamı, insan yapımı yapay aydınlatmanın çoğalmasıyla büyük ölçüde değişmiştir. Birleşmiş milletler 2009 astronomi yılında, dünya çapında dikkatleri uzun süredir ihmal edilen bir çevresel stres faktöründen etkilenen bir alana çekti: gece manzaralarımızın giderek daha fazla aydınlatılması. Astronomi Yılı, Galileo'nun Padua'da teleskopla yaptığı ilk gözlemler tarihi olan 400. yıldönümüne denk geldi. Ancak Galileo'nun bugünkü gök kubbeye bakabilmesi için uzak bölgelere kaçıp araştırma yapması gerekecekti. Bunun nedeni, Dünya'nın geceleri daha parlak hale gelmesidir. Elektrik ışıklarının hızla yaygınlaşması, hem ışık yoğunluğu hem de ışık spektrumu açısından dünya genelinde gece manzaralarını büyük ölçüde yeniden düzenlemiştir (Hölker vd. 2010).

Yapay aydınlatma insan yaşamının kalitesini artırmış olsa da, bu faydalara gizli maliyetler de eşlik etmektedir. Gökbilimciler, gökyüzü ışığının sönük gök cisimlerinin algılanmasını engellediğini ve gözlemlerini daha karanlık alanlardan veya yörüngeden yapmak zorunda bıraktığını ilk fark edenlerdir. Yapay aydınlatmanın ekoloji, insan sağlığı ve sosyal refah üzerindeki çoklu olumsuz etkileri ancak son zamanlarda tanınmış ve gündeme gelmiştir (Hölker vd. 2010, Navara ve Nelson 2007, https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitigation-measures-environmental-protection-issue-28_en). 2001 yılında, Dünya'nın kara yüzeyinin neredeyse beşte birinin ışıkla kirlendiği tahmin ediliyordu ve daha sonra yapay ışık miktarı yılda yaklaşık % 6 oranında artmaktadır [29]. Giderek artan miktarda yapay gece aydınlatması ve ışığın doğal sistemler için bilinen önemi, ışık kirliliğinin potansiyel ekolojik etkileri konusunda yaygın bir endişeye yol açmıştır (Hölker vd. 2010, Navara 2007). Spesifik olarak, ışık kirliliğinin, canlı organizmalar tarafından algılanan gün uzunluğunu yapay olarak değiştirerek trofik etkileşimleri bozma potansiyeli hakkında endişeler dile getirilmiştir (Gaston vd. 2013, Longcore ve Rich 2004, Davies vd. 2012). Ağaç tomurcuk açılmasında dahil olmak üzere bahar fenolojisi kentsel alanlarda ilerlemiştir ve genellikle ana nedenin gelişmiş sıcaklık rejimlerinin kentsel 'ısı adası' (UHI) etkisi olduğu düşünülmektedir (Neil ve Wu 2006). Bununla birlikte, fotoperiyodu yapay olarak değiştiren deneyler, fotoperiyot kısaltıldığında bir dizi geç ardışık ağaç türünün tomurcuklanmasının geciktiğini göstermiştir (Basler ve Körner 2012, 2014). Kentsel ve banliyö alanlarının gece ışık ortamı son derece heterojendir, ışık yoğunlukları birkaç metrelik yatay ve dikey mesafeler boyunca çeşitli büyüklüklerde değişmektedir (Bennie vd. 2016). Bu nedenle yapılan bir çalışmada yapay aydınlatma yoluyla artan fotoperiyodun, kaydedilen en erken tomurcuk patlaması tarihini hızlandıracak ve bu etkinin geç tomurcuklanmada erken tomurcuklanan türlere göre daha büyük olacağı hipotezi ileri sürülmüştür. Bu hipotezi test etmek için, ışık kirliliğinin tomurcuk açılması tarihi ile ilişkili olup olmadığını araştırmak için tomurcuk açılması ve gece aydınlatmasının uydu görüntüleri hakkındaki mekansal-zamansal verileri analiz edilmiştir. Bu çalışmada, çarpıcı

bir şekilde, daha erken tomurcuk patlamasının gece aydınlatması ile ilişkili olduğunu, etkinin geç tomurcuklanan türlerde erken tomurcuklanan türlerden daha büyük olduğunu ve bu ilerlemenin büyüklüğünün tek başına artık kentsel sıcaklık etkileriyle açıklanamayacak kadar büyük olabileceğini ifade etmişlerdir (French-Constant vd. 2016).

Işık kirliliği ya da gece yapay ışıkların etkisi, dünyadaki çoğu canlıyı etkilemesinin temel nedenlerinden biri, bu canlıların sirkadiyen ritme sahip olmalarıdır. Bu ritim, her 24 saatte bir tekrarlanan ve aydınlık ya da karanlık olmasına göre düzenlenen doğal uyku-uyanıklık döngüsüdür. Çoğu canlı, yaşam süreçlerini ister gece ister gündüz sürdürsün yaşam süreçlerini bu döngüye göre gerçekleştirir. Dolayısıyla, örneğin gece süresinin kısaltıldığı hissiyle bu ritim bozulduğunda, içsel sistemlerin işleyişine gereksiz bir stres yüklenebilir. Bu tür bir bozulma ne kadar uzun sürerse, olumsuz etkilerin oluşma potansiyeli de o kadar artar. Bitkilerin, gün uzunluğunu belirlemek için kullandıkları çok sayıda fotoreseptöre sahip olduğu bilinmektedir. Fotoreseptörler, bitkilerin ne zaman çiçek açacaklarını ve yaprak dökme ağaçlar için ne zaman yaprak dökceklerini bilmelerine yardımcı olur (çiçek açma ve yaprak dökme, bir ağacın takviminde tartışmasız en önemli iki olaydır). Fotoreseptörlerden bazıları, Ay'dan ve yıldız ışığından gelen yakın kızılötesi ışığı emerken, bazıları bir tür UV ışığını emer. Gündüz süresini yapay olarak uzatarak, ışık kirliliği bu fotoreseptörleri o kadar uyabilir ki, bir bitkinin çiçeklenme düzeni değişebilir (Basler ve Körner 2012, 2014, Bennie vd. 2016).

Birçok bitki günün belirli saatlerinde belirli davranışlar sergiler; örneğin, yalnızca sabahları açan çiçekler. Bitkiler, sirkadiyen bir saatle günün saatini takip eder. Bu iç saat, diğer organizmalarda bulunan biyolojik saatlere benzer şekilde, her gün güneş ışığı, sıcaklık ve diğer ipuçlarını kullanarak güneş saatiyle senkronize edilir. Işığı algılama yeteneğiyle birleşen iç saat, bitkilerin günün saatini ölçmesini ve böylece yılın mevsimini belirlemesini sağlar. Birçok bitki ne zaman çiçek açacağını bu şekilde bilir (Marshall vd. 2023). Birçok bitkinin tohumları yalnızca ışığa maruz kaldıktan sonra çimlenir. Bu tepki, fitokrom sinyallemeyle gerçekleştirilir. Bitkiler ayrıca ışığın kalitesini algılayabilir ve uygun şekilde yanıt verebilir. Örneğin, düşük ışık koşullarında, bitkiler daha fazla fotosentetik pigment üretir. Işık çok parlaksa veya zararlı ultraviyole radyasyon seviyeleri artarsa, bitkiler güneş kremi görevi gören koruyucu pigmentlerinden daha fazlasını üretir (Marshall vd. 2023, Wei vd. 2023).

Profesör Antony Dodd ve araştırma grubu, fotoreseptörlerin kısmen düzenlediği sirkadiyen saati incelemişlerdir. Bristol Üniversitesi'nden Profesör Kerry A. Franklin'in grubuyla işbirliği içinde yapılan son araştırmalar, bu fotoreseptörlerden biri olan fitokrom A'nın, sirkadiyen ritmiyle

etkileşime girerek bitkilerin derin gölgelik koşullarda aşırı büyümelerini engellediğini göstermiştir (<https://www.jic.ac.uk/people/antony-dodd/>).

Çiçeklenme veya tomurcuk açılması genellikle ilkbaharda, daha sıcak hava koşullarının daha uzun günler ve daha fazla UV ışını ile çakışmasıyla gerçekleşir. Ancak Seymour, ışık kirliliğinin bitkiler için bu işaretleri karıştırdığını bildirmiştir. Seymour, “Bitkilerin mevsimsel değişimleri, gece yapay ışık nedeniyle etkileniyor,” demiştir. Bitkilerin tomurcuk patlamalarının daha erken olması veya yapraklarını daha uzun süre tutmalarının nedeni, gündüz ve gece arasındaki oranı ifade eden fotoperiyodun, gece yapay ışık tarafından maskelenmesidir.



Şekil 3. Işık kirliliği, yaban arıları da dahil olmak üzere birçok farklı tür üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır ([How light pollution disrupts plants' senses](#)).

Işık kirliliği, tozlayıcıların sirkadiyen ritimlerini ve genel yaşam desenlerini bozarak, nihayetinde bitki üremesini engellemektedir. Birleşik Krallık'taki gece güveni üzerine yapılan çalışma da dahil olmak üzere birçok araştırma, yapay ışık altında gece tozlaşmasının azaldığını ortaya koymuştur. 2017 yılında yapılan bir araştırma, parlak ışıklarla aydınlatılmış alanlarda gece bitki-tozlayıcı etkileşimlerinin, aydınlatılmayan alanlara göre %62 daha düşük olduğunu bulmuştur. Bu etkileşimler azaldığında, bitkiler polen üretme konusunda daha az uyarılır ve bu da arılar gibi gündüz tozlayıcılarının daha az polen bırakmasına neden olur. Jet lag'in insanları etkilediği gibi, ışık kirliliği de tozlayıcıların vücutlarını stres altına alabilir, çünkü uyku ve iyileşme sürelerini kısaltarak, onları polinasyon yapmayı ve üremeyi zorlaştırır. Işık kirliliği, göçü de etkileyerek, böcekleri (ve diğer uçan hayvan türlerini) doğal, amaçlanan yollarından uzaklaştırır ve tehlikeye, çoğu zaman ölümcül senaryolara sürükler. Işık kirliliğinin kuş göç yollarını şaşırtmakta ve türlerin üreme ya da kışlama yerlerini değiştirdiği bildirilmiştir. Bu göç olayındaki değişiklikler, kuşlar tarafından polinize edilen veya kuşlar tarafından tohumları dağıtılan bitkileri potansiyel olarak etkileyebilir. Tozlayıcı popülasyonları hızla azalmakta ve Seymoure gibi ekolojistler, bunun ışık kirliliği, kimyasal kirlilik, iklim değişikliği ve habitat kaybı gibi stres faktörlerinin birleşimi sonucu olduğunu bildirmişlerdir. Böcekler, bu gezegendeki yaşam için

temel bir taş olup, onları kaybettikçe türlerin domino etkisi daha belirgin hale gelmektedir. Örneğin, ABD'ye özgü bal arıları yok olursa, bu arıları polinize eden tüm bitki türleri de müdahale edilmezse yok olabilir – bu da çiçek açan bitkilerin %80'ini kapsar. ABD Tarım Bakanlığı, bu bitkilerin, Amerikalıların bugün tükettikleri yiyeceklerin %25'ini oluşturduğunu bildirmiştir. Seymoure, “Yaklaşık 200 milyon yıl önce, çiçekli bitkiler ve böcekler birbirleriyle evrimsel olarak uyum içinde gelişmeye başladılar. Eğer böceğin davranışı veya bitkinin davranışsal fizyolojisi değişmeye başlarsa, her ikisi de etkilenmiş olur. Işık kirliliği ile bu yeni tuhaf durumun ortaya çıkması bu gezegendeki her şey için sonuçları olacaktır, çünkü hemen hemen her şey böcekler ve çiçekli bitkilerle bağlıdır ve tarım ürünlerimizin %80'i böcekler tarafından polinize edilir (Hirschlag 2023). (How light pollution disrupts plants' senses).

Kırmızı/uzak kırmızı (R/FR) ışığı algılayan fitokrom ailesi tarafından algılanan ışık sinyalleri, bitki gelişimini düzenleyen en önemli çevresel uyarılardan biridir. Fitokromların özellikle önemli bir rolü, bitkilerin etraflarındaki bitki örtüsünün varlığını algılayarak yansıyan/iletile ışığın kalitesindeki değişiklikleri saptamaktır. Gün ışığının yaşam alanındaki bitki örtüsüyle etkileşimi, kırmızı (R) dalga boylarında bir azalma ve uzak kırmızı (FR) ışığının artmasına yol açar. Bu ışık kalitesi değişiklikleri (azalmış R:FR oranı), fitokromlar tarafından algılanır ve birçok bitki türünde sapların dramatik şekilde uzamasına ve yaprak morfolojisinin değişmesine neden olur. Bu tür yanıtlar (gölgeden kaçınma sendromu olarak adlandırılır), yaprakları filtrelenmemiş doğal ışığa yönlendirmek için hayatta kalma stratejisidir.

Araştırmaların bir diğer ana ilgi alanı, ışık kalitesi ve sıcaklık sinyal yollarının bitki mimarisinin düzenlenmesindeki etkileşimidir. Model bitki türlerinden *Arabidopsis thaliana*'nın bazı gölgeden kaçınma yanıtlarının, çevresel büyüme sıcaklığına göre modüle edildiği gösterilmiştir. Ayrıca, fitokromlar tarafından sıcaklığa bağlı olarak düzenlenen bir dizi gen tanımlanmıştır. Bunlar arasında, soğuk uyumu ve don toleransı ile ilgili olan CBF gen grubu yer almaktadır. Ayrıca, fitokromla etkileşen faktör PIF4'ün, yüksek sıcaklığa yanıt olarak bitki mimarisini düzenleyen anahtar bir düzenleyici olduğunu ve böylece ışık ve sıcaklık sinyallerinin entegrasyonunda merkezi bir rol oynadığını ifade edilmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklık nasıl algılanıyor ve UV-B sinyalleriyle sıcaklık sinyalleri nasıl etkileşerek bitki büyümesini ve gelişimini kontrol ediliyor bu konularda araştırılıyor. (<https://research-information.bris.ac.uk/en/persons/keara-a-franklin>).

4. SONUÇ

Işık, sadece fotosentetik enerji üretimi için değil, aynı zamanda bitki büyüme ve gelişimi için de çok önemli bir çevresel uyarandır. Bitkiler, gelen ışıktan bilgi algılamak ve yorumlamak için sofistike yöntemler kullanır.

Model bitki **Arabidopsis thaliana**'da beş farklı fotoreseptör, bitki yaşam döngüsünün birçok yönünü hassas bir şekilde ayarlama ya da belirgin bir şekilde ya da birbirini tamamlayarak çalışır. Hareketli hayvanlardan farklı olarak, sabit bitkiler, değişen çevre koşullarına uyum sağlamak ve hayatta kalmak için büyük bir plastisite geliştirmiştir. Bitkiler, çevredeki ışıktan gelen farklı bilgileri izleyerek, buna göre uyum sağlamak için aşağı akış sinyal yollarını hassas bir şekilde düzenler. Işık çevresindeki değişiklikler genellikle sıcaklık, abiyotik stresler ve mevsimsel değişiklikler gibi diğer çevresel uyarıcılarla senkronize olduğundan, ışık sinyal yollarının, bitki fizyolojisi ve gelişimini düzenlemek için birden çok yol ile bağlantılı olması şaşırtıcı değildir. Gerçekten de, bitki fotobiyolojisindeki son gelişmeler, farklı fotoreseptör sinyal yolları ile diğer içsel sinyal yolları (örneğin, hormon sinyal yolları) arasında büyük bir birlikte düzenlenme ağı ortaya koymuştur. Ayrıca, bazı fotoreseptörler, ışık dışı uyaranların algılanmasında doğrudan rol oynamaktadır (örneğin, sıcaklık). Bu nedenle, yüksek derecede birbirine bağlı sinyal ağlarını anlamak, bitkilerde fotoreseptör işlevlerini keşfetmek için çok önemlidir (Cheng vd. 2021). Ayrıca, bitki davranışları, hücre duvarlarındaki, çevrelerini algılamalarına ve uyum sağlamalarına yardımcı olan özel bir protein sınıfı tarafından düzenlenir. Bitkiler, hayvanların çevreleriyle etkileşim kurmasına yardımcı olan beş temel görme, koku alma, dokunma, tat alma ve iştme duyusundan yoksundur. Yine de çevresel ipuçlarına tepki verirler ve patojenler de dahil olmak üzere diğer organizmaların varlığına yanıt verirler. Yakın zamana kadar, bitkilerin çevrelerindeki değişiklikleri nasıl algıladıkları ve davranışlarını dış uyaranlara nasıl uyarladıkları büyük ölçüde bir gizemdi. Yeni bir keşif, bitkilerin gizli yaşamlarına ışık tutarak, hücre duvarlarında bulunan özel bir protein sınıfını içeren ve bitkilerin çevresindeki uyaranları tanımaya ve bunlara uyum sağlamaya yardımcı olan karmaşık bir ağı ortaya çıkardı. Bu proteinler hem bitkilerde hem de hayvanlarda yaygındır ve lōsin açısından zengin büyük bir protein ailesine aittir. Lōsin, proteinlerin yapı taşları olan 20 amino asitten biridir. Peptitler, hormonlar ve patojenlerden salgılanan proteinler gibi birçok farklı molekölü tanırlar ve lōsin açısından zengin tekrar reseptör kinazları (LRR RK) olarak bilinirler. Bu kinazlar hücre duvarını ve plazma zarını kaplar ve hem hücrenin içine hem de dışına doğru çıkıntı yapar. Hücrenin dışındaki protein kısmı, dış uyaranları algılamaktan sorumludur ve bu bilgiyi hücrenin içinde bulunan protein kısmı aracılığıyla hücreye iletir. Bilim insanları bir süredir LRR reseptörlerinin hücrenin dış ve iç ortamları arasında bir köprü görevi gördüğünü biliyorlardı. Ancak çeşitli LRR reseptör tiplerinin bitki davranışını veya LRR reseptör ailesi ağının küresel organizasyonunu etkilemek için nasıl birlikte çalıştıkları hakkında çok az şey biliniyordu. Yeni araştırma, LRR RK ağını inceleyerek ve ağ kararlılığının bitki gelişimi ve hayatta kalması için gerekli olduğunu göstererek bu bilgi boşluğunu kapatıyor.

Gelecekte bilim insanları bu bilgiyi, belirli fizyolojik tepkileri kontrol eden LRR RK genlerini hedef alarak bitkileri genetik olarak değiştirmek için kullanabilirler. Bu protein ailesinin bu belirli tepkileri nasıl ilettiğini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Ancak değişen küresel iklim ve yeni ortaya çıkan patojenlerin mevcut bağlamında, daha dayanıklı, bağışıklık ve çevresel streslere karşı direnç geliştirecek bitkiler üretmek istiyorsak LRR RK'ı araştırmak çok önemlidir (<https://blog.scienceborealis.ca/author/scienceborealis/>).

KAYNAKÇA

- Basler, D., Körner, C. (2012). Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165, 73–81. doi:10.1016/j.agrformet.2012.06.001.
- Basler, D., Körner, C. (2014). Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest tree species. *Tree Physiology*, 34, 377–388. doi:10.1093/treephys/tpu021.
- Bennie, J., Davie, T.W., Cruse, D., Gaston, K.J. (2016). Ecological effects of artificial light on wild plants. *Journal of Ecology*, 104, 611– 620. doi:10.1111/1365-2745. 12551.
- Buse, A., Good, J.E.G. (1996). Synchronization of larval emergence in winter moth (*Operophtera brumata* L.) and budburst in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) under simulated climate change. *Ecological Entomology*, 21, 335–343. doi:10.1046/j.1365-2311.1996.t01-1-00001.x.
- Buse, A., Dury, S.J., Woodburn, R.J.W., Perrins, C.M., Good, J.E.G. (1999). Effects of elevated temperature on multispecies interactions: the case of Pedunculate oak, winter moth and tits. *Functional Ecology*, 13, 74 – 82. doi:10.1046/j.1365-2435.1999.00010.x.
- Burgie, E.S., Zhang, J., Vierstra, R.D. (2014). Crystal Structure of Deinococcus Phytochrome in the Photoactivated State Reveals a Cascade of Structural Rearrangements during Photoconversion. *Structure*, 24, 448–457.
- Cheng, M.C., Kathare, P.K., Huq, E. (2021). Phytochrome Signaling Networks. *Annual Review of Plant Biology*, 17:72:217-244. doi: 10.1146/annurev-arplant-080620-024221. Epub 2021 Mar 23.
- Christie, J.M., Blackwood, L., Petersen, J., Sullivan, S. (2015). Plant Flavoprotein Photoreceptors. *Plant and Cell Physiology*, 56(3), 401–413.
- Davies, T.W., Bennie, J., Gaston, K.J. (2012). Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters*, 8, 764 – 767. doi:10.1098/rsbl.2012.0216.
- Feeny, P. (1970). Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology*, 51, 565– 581. doi:10.2307/1934037.
- French-Constant, R.H., Somers-Yeates, R., Bennie, J., Economou, T., Hodgson, D., Spalding, A., McGregor, P.K. (2016). Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proceedings of the Royal Society B*, 283, 20160813.
- Ganesh, M.N., Legris, M., Goyal, A., Schmid-Siebert, E., Fleury, J., Mucciolo, A., De Bellis, D., Schüller, A., Fankhauser, C. (2023). Air channels create a directional light signal to regulate hypocotyl phototropism. *Science*, 382 (6673), 935-940 DOI: 10.1126/science.adh9384.
- Gaston, K.J., Bennie, J., Davies, T.W., Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of night time light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*, 88, 912–927. doi:10.1111/brv.12036.

- Hölker, F., Moss, T., Griefahn, B., Kloas, W., Christian, C., Voigt, C.C., Henc-
kel, D., Hänel, A., Kappeler, P.M., Völker, S., Schwöpe, A., Franke, S.,
Uhrlandt, D., Fischer, J., Klenke, R., Wolter, C., Tockner, K. (2010). The
Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollu-
tion Policy. *Ecology and Society*, 15(4), 13.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>.
[https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitiga-
tion-measures-environmental-protection-issue-28_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitiga-tion-measures-environmental-protection-issue-28_en)
<https://research-information.bris.ac.uk/en/persons/keara-a-franklin>
<https://www.jic.ac.uk/people/antony-dodd/>
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh9384>.
[https://www.bbc.com/future/article/20230308-how-light-pollution-disrup-
ts-plants-senses](https://www.bbc.com/future/article/20230308-how-light-pollution-disrup-ts-plants-senses).
<https://blog.scienceborealis.ca/author/scienceborealis/>
Jenkins, G.I. (2014). The UV-B photoreceptor UVB8: from structure to physio-
logy. *Plant Cell* 26, 21-37.
Kami, C., Lorrain, S., Hornitschek, P., Fankhauser, C. (2010). Lightregulated plant
growth and development. *Current Topics in Developmental Biology*, 91,
29–66.
Kawai H., Kanegae T., Christensen S., Kiyosue T., Sato Y., Takato Imaizumi T.,
Kadota A.& Masamitsu Wada (2003). Responses of ferns to red light are
mediated by an unconventional photoreceptor. *Nature*, 421, 16.
Kianianmomeni, A., Hallmann, A. (2014). Algal photoreceptors: in vivo functions
and potential applications. *Planta* 239(1), 1-26. doi: 10.1007/s00425-013-
1962-5.
Kong, S.G., Okajima, K. (2016). Diverse photoreceptors and light responses in
plants. *Journal of Plant Research*, 129, 111–114 DOI 10.1007/s10265-016-
0792-5
Legris M, Klose C, Burgie ES, Rojas CCR, Neme M, et al. 2016. Phytochrome B
integrates light and temperature signals in Arabidopsis. *Science* 354(6314),
897–900
Legris, M., Ince, Y.Ç., Fankhauser, C. (2019). Molecular mechanisms underlying
phytochrome-controlled morphogenesis in plants. *Nature Communica-tions*,
10:5219.
Legris, M., Boccaccini, A. (2020). Stem phototropism toward blue and ultraviolet
light. *Physiologia Plantarum*, 169, 357–368.
Linkosalo, T., Lechowicz, M.J. (2006). Twilight far-red treatment advances leaf
bud burst of silver birch (*Betula pendula*). *Tree Physiology*, 26, 1249 –
1256. doi:10.1093/treephys/26.10.1249.
Longcore, T., Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 191– 198. doi:10.1890/
1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2.

- Marshall, C.M., Thompson, V.L., Creux, N.M., Harmer, S.L. (2023). The circadian clock controls temporal and spatial patterns of floral development in sunflower. *eLife*, 12, e80984. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.80984>.
- Meng, L., Maob, J., Zhou, Y., Richardson, A.D., Leef, X., Thorntonb, P.E., Ricciuto, D.M., Lia, X., Daih, Y., Shi, X., Jia, G. (2019). Urban warming advances spring phenology but reduces the response of phenology to temperature in the conterminous. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(8), 201911117 DOI: 10.1073/pnas.1911117117
- Navara, K.J., Nelson, R.J. (2007). The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43:215-224.
- Neil, K., Wu, J. (2006). Effects of urbanization on plant flowering phenology: a review. *Urban Ecosystem*, 9, 243 – 257. doi:10.1007/s11252-006-9354-2.
- Nozue, K., Kanegae, T., Imaizumi, A.T., Fukuda, S., Okamoto, H., Yeh, K.C., Lagarias, J.C., Wada, M. (1998). A phytochrome from the fern *Adiantum* with features of the putative photoreceptor NPH1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 15826–15830.
- Patitaki, E., Schivre, G., Zioutopoulou, A., Perrella, G., Bourbousse, C., Barneche, F., Kaiserli, E. (2022). Light, chromatin, action: nuclear events regulating light signaling in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, 236, 333–349 doi: 10.1111/nph.18424.
- Phillimore, A.B., Proios, K., O'Mahony, N., Bernard, R., Lord, A.M., Atkinson, S., Smithers, R.J. (2013). Inferring local processes from macro-scale phenological pattern: a comparison of two methods. *Journal of Ecology*, 101, 774– 783. doi:10.1111/1365-2745.12067.
- Shikata, H., Hanada, K., Ushijima, T., Nakashima, M., Suzuki, Y., Matsushita, T. (2014). Phytochrome controls alternative splicing to mediate light responses in *Arabidopsis*. *PNAS* 111, 18781-18786.
- Smith, H. (2000). Phytochromes and light signal perception by plants: an emerging synthesis. *Nature*, 407, 585–591. doi:10.1038/35036500.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2010). Plant Physiology, *Sunderland, MA: Sinauer Associates*.
- Visser, M.E., Holleman, L.J. (2001). Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of the Royal Society B*, 268, 289–294. doi:10.1098/rspb.2000.1363.
- Vitasse, Y., Basler, D. (2013). What role for photoperiod in the bud burst phenology of European beech? *European Journal of Medical Research*. 132, 1-8. doi:10.1007/s10342-012-0661-2.
- Wei, Y., Wang, S., Yu, D. (2023). The Role of Light Quality in Regulating Early Seedling Development. *Plants (Basel)*, 24,12(14):2746. doi: 10.3390/plants12142746.

EXAMINING PICTURES AND OPINIONS OF SCIENCE TEACHER CANDIDATES TOWARDS ENVIRONMENTAL PROBLEMS¹

Nurcan ÖZKAN¹

1. INTRODUCTION

People have lived on earth for thousands of years and have worked to shape the environment they live in until today. People's desire to shape and use the environment has damaged the environment over time (Erol & Uzun, 2016: 17; Öztürk & Zeyimoğlu Öztürk, 2015: 117). Along with industrialization, growth efforts in the world economy, excessive production and consumption, and unconscious consumption of natural resources bring environmental problems and create an imbalance between the economy and the environment. The rapid increase in world population and production activities causes a decrease in natural resources, threatening the future of the world (Kaypak, 2013).

Problems that go unnoticed at first, thanks to the regenerative power of nature, become increasingly difficult to overcome by the cleaning power of nature as polluting elements increase and diversify (Baykal & Baykal, 2008: 4). This shows that environmental problems do not occur suddenly, but that pollution goes through a certain accumulation process before being noticed by living things. In this case, in order to combat environmental problems, the factors that cause pollution must be eliminated at the source without waiting for the problem to arise (Yaman & Gül, 2018).

Especially in the 20th century, the increase in industrialization and the intensive use of fossil fuels caused serious damage to the environment and caused environmental problems. Today, these problems are generally such as deforestation, desertification, unplanned urbanization, climate change, acid rain, and extinction of biodiversity (Can, 2016: 58; ÇEKÜD, 2009). The main element that disrupts the ecological balance and pollutes the environment in the process is humans. It has also begun to be heavily affected by the externalities resulting from pollution (Aydın & Çamur, 2017).

Environmental problems that transcend national borders around the world, and therefore their solutions must be transnational; Due to its characteristics, it is also one of the most suitable issues for countries to avoid responsibility. Every country tries to impose responsibility on others. Because the measures that can be taken to prevent damage to the environment

are costly. Eliminating the traces of environmental problems and trying to restore the environment brings with it huge costs. Expecting individuals or institutions to continue their activities based on the environment without legal regulations and incentive factors is nothing more than an optimistic thought (Kaypak, 2013).

Human beings affected by environmental problems have discussed these problems and sought solutions in national and international platforms in order to find solutions to the problems experienced and to prevent future problems. Environmental problems were first brought to the agenda at the conference held in Stockholm in 1972, and since then, environmental problems have begun to be widely discussed and talked about. In today's world, where the development of technology and industry is inevitable, how societies that want to benefit from these developments at a high level can develop without disturbing the balance of nature has become the main topic of national and international meetings. In the Brundtland Report published in 1987, the term 'sustainable development' was introduced and this term was defined as "meeting the needs of today's generations without jeopardizing the ability of future generations to meet their own needs" (Brundtland, 1987: 43).

During the meetings, it was revealed that although administrative and legal measures were taken, individuals must be informed and made aware of the environment they live in in order for the measures taken to be effective. It has been accepted that education plays a major role in achieving this, and that thanks to education, people have a more conscious and sensitive approach to environmental problems (Flogaiti, 2006; Özsoy, 2012).

Studies on environmental education in our country and around the world generally focus on issues such as environmental knowledge, environmental literacy, and attitude towards the environment. Students' thoughts about the environment, how they perceive and make sense of environmental problems appear to be a subject that has not been studied sufficiently. When the studies were examined, interviews were generally conducted to determine students' environmental perceptions and problems, and the method of having students draw pictures was not used much (Özsoy, 2012; White & Gunstone, 1992). Visual arts are the source of visual ideas. Thinking calls up images, images contain thoughts. While drawing, students show their inner world and thoughts directly and clearly (Özsoy, 2012). During the drawing process, students synthesize their thoughts and feelings about the subject with their observations and express them through color, form and lines (Malchiodi, 2005). In their drawings, students reflect their perception of the world by blending their observations of daily life with their own thoughts (Hayes et al., 1994).

Research strategies that use student drawings have many advantages. Drawing exercises are open-ended and activities that students are familiar

with. For some students, drawing is a preferred tool for communication (Einarsdottir et al., 2009). When drawings are supported by interviews with students, they can be a tool that enables them to interact under their own conditions (Einarsdottir et al., 2009; Özdemir Özden & Özden, 2015).

It is seen that research on this subject is mostly carried out using a quantitative research approach. It can be said that the number of qualitative studies is less. It is seen that semi-structured interviews are mostly used in qualitative research aiming to determine students' views on environmental problems (Özdemir Özden & Özden, 2015; Yardımcı & Bağcı Kılıç, 2010; Loughland et al., 2002).

It is thought that this research will contribute to the field in the same context. In this context, in the research, the perceptions of 4th grade Science Teaching students regarding environmental problems were examined with the drawings they made. In addition, it was aimed to examine the perspectives of teacher candidates, who will raise the children of the future, on environmental problems by supporting semi-structured open-ended questions.

2. METHOD

The research was conducted using the phenomenology design (Yıldırım & Şimşek, 2006). Phenomenology is designed to describe the meanings of different individuals' experiences regarding a concept or phenomenon (Creswell, 2007) and especially to examine the essence of these experiences (Çilesiz, 2011). In this research, students' drawings and their written evaluations of their drawings were used as data collection tools.

The use of drawings is a powerful tool, but it alone is not enough. For this, it is necessary to have an interview regarding the drawing they have made (Ersoy & Türkkan, 2009). For this purpose, forms were distributed to teacher candidates so that they could give their personal information, describe their drawings, and answer open-ended, semi-structured questions. Teacher candidates made their drawings in the classroom environment. A study permit was obtained by Trakya University Social and Human Sciences Research Ethics Committee with the number E-29563864-050.03.04-569946.

The data was collected from senior students studying in the Department of Science Teaching at Trakya University in the fall semester of the 2023-2024 academic year. In order for teacher candidates to express themselves freely, there are no restrictions on paper size, drawing technique and paint type, and flexibility is provided. In the course, teacher candidates were asked to draw an environmental problem that they considered important and then a form was distributed and they were asked to fill in their

demographic characteristics (Table 1). They were then asked to answer open-ended questions about the environmental problem they drew. Questions; (i) could you describe in writing the drawing you made regarding environmental problems? (ii) In your opinion, what is the most important environmental issue? (iii) Which environmental problem would you like to find a solution to, and why? The answers given to the first question enabled the researchers to evaluate and categorize the drawings more easily. The answers given to the second and third questions were aimed to determine the students’ opinions about the environmental problems they consider important and which problems they want to solve.

Then, the pictures and forms made by the teacher candidates were coded between 1-28 and the data were analyzed using the content analysis technique (Cohen & Manion, 1994). In this context, each drawing was analyzed separately, independently of each other. Both the drawings and written expressions were evaluated and analyzed as a whole, and similar or different aspects of the drawings were tried to be understood. Thus, drawings with common characteristics were tried to be grouped under similar themes.

Table 1. Distribution of Demographic Characteristics of Science Teacher Candidates

Demographic Characteristics	f	%
Gender		
Female	25	89.3
Male	3	10.7
Place of Residence		
Province	9	32.1
District	17	60.8
Village	2	7.1
Mother Occupation		
Housewife	18	64.2
Officer	2	7.1
Self-employment	3	10.8
Worker	3	10.8
Retired	2	7.1
Father Occupation		
Officer	5	17.9
Self-employment	8	28.6
Worker	2	7.1
Retired	11	39.3
Farmer	2	7.1
Total	28	100

2. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of analyzing the drawings made by the teacher candidates, the data were classified into two groups: Global environmental problems and local environmental problems. Under the theme of global environmental problems, sub-themes of global climate change, acid rain, melting of glaciers, water scarcity, food scarcity, nuclear pollution and ozone layer depletion were created. In the theme of local environmental problems, the data of the teacher candidates were grouped as sub-themes of air pollution, water pollution, soil pollution, visual pollution, deforestation, filling of the seas, unplanned urbanization, garbage problem, drought, desertification, excessive consumption of natural resources, destruction of the natural habitats of animals and concreting. The relationship between main themes and sub-themes is seen in Table 2.

Tablo 2. Themes and Frequencies of Environmental Problems Reflected in Students' Drawings

Themes	f
Global Environmental Problems	
Global climate change	8
Acid rain	7
Melting glaciers	2
Water scarcity	2
Food shortage	1
Nuclear pollution	1
Ozone layer depletion	2
Local Environmental Problems	
Air pollution	22
Water pollution	20
Soil pollution	4
Visual pollution	2
Deforestation	12
Filling of the seas	1
Unplanned urbanization	2
Garbage disposal	6
Drought	2
Desertification	2
Excessive consumption of natural resources	1
Destruction of animals' natural habitats	3
Concreting of the environment	5
Total	28

As seen in Table 2, teacher candidate's data focused on local problems with 13 themes and global problems with 7 themes. It was observed that all but one te-

acher candidate depicted more than one environmental problem together in their drawings. On average, 3-4 themes were discussed together, and two candidates included 7 themes, including global and local. In their drawings, they mostly included themes of local environmental problems such as air pollution, water pollution, deforestation and garbage disposal. The constant coverage of these issues, especially on social media, a greater focus on these issues in environmental education and other courses in their educational background, and daily life experiences also contribute to this situation.

He/She explained the TC3 (Teacher Candidate) drawing, which deals with the theme of water pollution, as follows. *“I explained the impact of water pollution on living things. I emphasized plastics that got into the mouths of fish and toxic substances that pollute the water.”* (Picture 1).



Picture 1. Water Pollution Contaminated with Plastic and Toxic Waste (TC3)

TC10 discussed the themes of air pollution, water pollution, deforestation and concreting. He/She expressed his/her drawing as follows: *“There are many environmental problems around us. The smoke coming out of the chimneys of factories and residences as a result of burning fossil fuels causes serious discomfort to the respiratory tract and circulatory system of people living around them. It also causes air pollution. Gases from automobile exhausts are released into the atmosphere, causing air pollution. Cutting down trees in forests and replacing them with concrete is also an environmental problem. The loss of trees in the environment increases the amount of CO₂ in the air. In this case, it causes serious damage to the respiratory and circulatory systems in humans.”* (Picture 2).



Picture 2. Air Pollution, Tree Destruction and Concreting Themed Drawing (TC10)

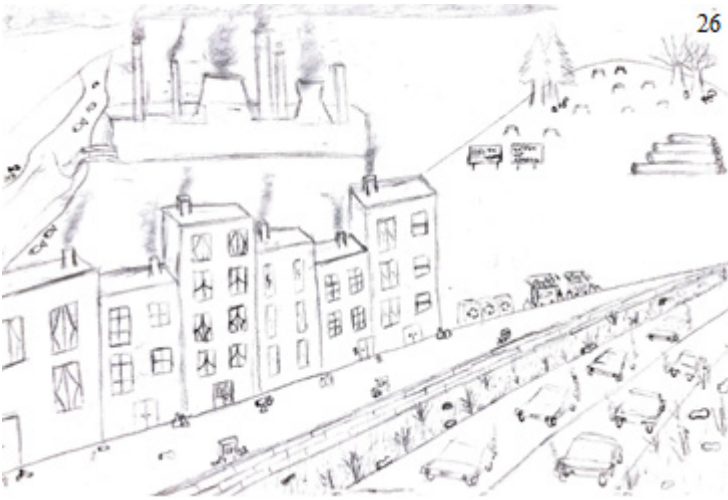
TC16, touched upon many themes in his/her drawing. He/She expressed / his/her drawing as follows: “The gases coming out of factory chimneys, house chimneys and car exhausts form a layer in the air and cause air pollution; Factories discharge their waste into streams, causing water pollution; Instead of using and separating recycling bins, they cause environmental pollution by throwing/piling up all garbage in conventional garbage containers; that it causes soil pollution by throwing down things that do not decompose in the soil for many years, such as batteries; By using personal vehicles instead of public transportation, increasing vehicle usage and traffic, resulting in excessive exhaust fumes and causing air pollution; causing water pollution in water areas such as lakes and streams with various wastes such as detergent; to build new structures instead of planting new trees in place of forests destroyed by events such as fire; I wanted to explain that although some areas were not destroyed by fire, trees were cut down for these new buildings.” (Picture 3).



Resim 3. Air Pollution, Water Pollution, Soil Pollution, Recycling and Deforestation Themed Drawing (TC16)

TC26 expressed the problems of water pollution, air pollution, soil pollution, destruction of green areas and garbage in his/her drawing. He/

She expressed /his/her drawing as follows: “Factories established for energy production discharge their waste into the river; the mixing of gases released as a result of burning solid fuels into the air; Cutting down trees for solid fuel and building new houses and factories instead of planting new trees; throwing all household waste into garbage instead of recycling; Pollution of places such as forest areas, roadsides and streets with garbage as a result of human activities; I wanted to explain the air pollution, water pollution and soil pollution that occur as a result of people choosing their personal cars for transportation instead of public transportation and the exhaust fumes mixed with car traffic and how life is affected as a result of these pollutions.” (Picture 4).



Resim 4. Air Pollution, Water Pollution, Soil Pollution, Recycling, Deforestation, and Concreting Themed Drawing (TC26)

TC28 discussed the themes of “Distorted and irregular settlement, air pollution, water pollution, factories not using filters, desertification, drying of fertile lands.” (Picture 5).

The second question was posed as follows: “In your opinion, what is the most important environmental problem?” The answers given by teacher candidates to this question are presented in Table 3.



Picture 5. Environmental Problem that Teacher Candidates Find Most Important (TC28)

Table 3. Environmental Problem that Teacher Candidates Consider to be the Most Important

I Think the Most Important Environmental Issue is	f
Air pollution	15
Water pollution	8
Deforestation	4
Climate change	4
Soil pollution	2
Garbage problem	1
Pollution with plastic and toxic waste	1
All	1

According to Table 3, the environmental problems that teacher candidates find most important are grouped into 8 themes. The theme of air pollution was the most preferred topic (15 candidates). Garbage problem, pollution with plastic and toxic waste, and all of them were preferred with 1 candidate each.

Thirdly, the question asked to the candidates was as follows. “Which environmental problem would you like to find a solution to, and why?” The answers given by teacher candidates to this question were collected under 8 themes. These themes are given in Table 4.

Table 4. Which environmental problem would you like to find a solution to?

Which Environmental Problem Would You Like to Find a Solution to?	f
Air pollution	13
Water pollution	5
Climate change	4
Deforestation	3
Garbage problem	2
Soil pollution	1
Water usage	1
All	3

Some of the answers given by teacher candidates to the third question are presented in this section. The candidate coded TC7 stated that he/she wanted to find a solution to the problem of air pollution and commented as follows: *“In my opinion, one of the most important environmental problems is air pollution. I would like to find a solution to this pollution. Because I want to leave a future where future generations can breathe easily, do not get respiratory diseases, rivers and streams do not get polluted and the creatures there do not die. As a solution, the slaughter of untouched beauties for the sake of money should be prevented, afforestation should be increased, and controls should be tightened. Awareness-raising training should be given from a young age.”*

TC10 stated that he/she wanted to find a solution to afforestation and cutting down trees. He/She expressed this very beautifully. *“More afforestation should be done, TEMA Foundation should be more prominent, and the consequences of cutting down trees and solutions should be featured on social media. Awareness should be created about planting trees. I want to find a solution to cutting down trees. Because there is no other World we can go to, so we must take care of our Earth and our environment.”*

TC13 stated that he/she wanted to find a solution to the global warming problem. *“I would like to find a solution to the global warming problem. Because it negatively affects us and all living things around us. In line with our own interests, we kill the environment that provides us with a living environment and the plants and animals that help us, through no fault of their own. We must put such cruelty aside, understand that our interests can actually be achieved by taking good care of our world, and find permanent solutions as soon as possible.”*

TC21 stated that he/she wanted to find solutions to all three air, soil and water pollution. *“I would like to find solutions to all 3 pollutions. Because I think they all affect each other. These 3 pollutions affect global warming, which is an event that radically affects living life. With global warming, all*

living things will be in danger and life will become increasingly difficult. All environmental problems are important and necessary studies need to be carried out for the factors affecting environmental pollution.”

TC23 stated that he/she wanted to find a solution to the waste problem. His/Her thoughts on this subject are as follows: *“Since new continents are being formed due to waste materials, I want to find solutions to the problems related to these waste materials. If we recycle them correctly, we can reduce waste such as glass and plastic. I think recycling is still insufficient. Waste such as plastic and glass also remain in nature for a very long time without decomposing.”*

TC25 stated that he/she could find a solution to garbage pollution by giving importance to children’s education. Solution suggestions are as follows: *“I would like to find a solution to garbage pollution. I can have students prepare presentations, performances and projects that will raise their awareness as school lessons. It can also be taken to conferences. Because if children grow up with this awareness, they will be more sensitive. In this way, it will not be damaged and visual pollution will not occur.”*

ÖA27 expressed his/her thoughts on water use as follows. *“I would like to find solutions for the careful use of our waters. Because the biggest problem we are experiencing right now is that the dams are not filling and we are polluting our seas. We should not let water flow in vain. I would like to find a solution to this issue, as the irregular rainfall these days, our summer being much hotter than expected, and the drying of some lakes make me very worried about the future. Because water is our most basic need.”*

4. CONCLUSION

In their drawings, prospective teacher candidates focused mostly on air and water pollution, followed by deforestation. These are the problems they constantly encounter in their daily lives and in their immediate and distant environments. They generally touched upon many themes in their drawings. Because our natural resources are gradually decreasing and damaged with the increasing population.

The environmental problems they deemed most important were grouped into 8 categories, most of which highlighted air pollution. Then comes water pollution. The environmental problem they want to solve is air pollution. This study is compatible with the study of Sadık, Çakan & Artut (2009) conducted with primary school students. It seems that the air pollution problem comes to the fore for individuals at all ages.

Özsoy (2012) also stated in his/her research that the environmental problems included in students’ drawings are related to the problems that children can observe in their environment. In this research, regarding local environmental

problems, students mostly depicted the problem of air pollution. Özsoy (2012); in studies conducted by Sadık, Çakan & Artut (2011) and Barraza (1999, 2001), it was found that the most frequently depicted environmental problem by students was air pollution. These data are also compatible with the study conducted.

In the study conducted by Alerby (2000), it was found that students in the upper age groups thought about issues such as the greenhouse effect and ozone hole, even if there was no environmental destruction in their immediate surroundings. In the research of Özsoy (2012), who worked on participants in a similar age group to this research, it was observed that global environmental problems such as global warming and ozone layer depletion were not included in the students' drawings. Students were also asked to describe their drawings in writing, but semi-structured interviews were not conducted with the students. In this study, similar to Alerby's study, it is seen that teacher candidates include global environmental problems and it differs from Özsoy.

Environmental problems both endanger human health and cause the extinction of many living species. Problems of such importance are far beyond what individual states can handle. Because the consequences of environmental pollution are not regional or national, but a global problem. For this reason, individual countries' determination of policies in this field is not very effective in preventing this pollution. In order to achieve success in the field of environmental problems, all countries need to determine and implement policies together. Many organizations established around the world create various policies in the field of environmental problems and lead the way for their implementation (Aydın & Çamur, 2017).

Today, in terms of environmental problems both in the world and in our country, environmental pollution is one of the most fundamental environmental problems that threaten human life. The main source of this problem is fossil fuel use and industrial activities. In order to solve this problem, suggestions for transition to green economy, which have started to be discussed more in recent years, are important. Because the fiscal policy tools held by the state will be able to encourage and accelerate this process. Incentives, tax reductions, and sometimes the state's entry into the market as a producer may shift investments to these areas. Studies conducted in recent years show that; these investments also support sustainable development. "Green economy" initiatives, especially those introduced by international organizations such as the United Nations, not only reduce environmental problems, but also contribute to sustainable development with positive externalities such as increased employment and welfare, and an increase in growth rate (Kete et al., 2017).

It should not be forgotten that; "Nature; "It can live without humans, but humans cannot survive after nature disappears." Paul Ehrlich.

REFERENCES

- Alerby, E. (2000). A way of visualising children's and young people's thoughts about the environment: A study of drawings. *Environmental Education Research*, 6(3), 205-222.
- Aydın, A.H. & Çamur, Ö. (2017). Avrupa Birliği çevre politikaları ve çevre eylem programları üzerine bir inceleme. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(7), 21-44.
- Barraza, L. (1999). Children's drawings about the environment. *Environmental Education Research*, 5(1), 49-66.
- Barraza, L. (2001). Perception of social and environmental problems by English and Mexican school children. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, 139-157.
- Baykal, H. & Baykal, T. (2008). Küreselleşen Dünya'da çevre sorunları. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 5(9), 1-17.
- Brundtland, G. (1987). Our common future: The word commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press.
- Can, F. (2016). Çevre politikasının ekonomik araçları. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 58-73.
- Cohen, L. & Manison, L. (1994) Research methods in education. London: Routledge.
- Creswell, J. W. (2007). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (2nd Ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Environmental & Cultural Organizations Solidarity Association, ÇEKÜD (2009). Temel çevre sorunları. http://www.cekud.org/site/page.asp?dsy_id=889.
- Çilesiz, Ş. (2011). A phenomenological approach to experiences with technology: Current state, promise, and future directions for research. *Educational Technology Research and Development*, 59(4), 487-510.
- Einarsdottir, J., Dockett, S. & Perry, B. (2009). Making meaning: Children's perspectives expressed through drawings. *Early Child Development and Care*, 179(2), 217-232.
- Erol, H. & Uzun, N. (2016). 5. sınıf öğrencilerinin çevre sorunlarına ilişkin görüşleri: Bir köy okulu örneği. *Social Sciences Studies*, 4(1), 16-30.
- Ersoy, F. & Türkkan, B. (2010). İlköğretim öğrencilerinin çizdikleri karikatürlerle yansıttıkları sosyal ve çevresel sorunların incelenmesi. *Eğitim ve Bilim Dergisi*, 35(156), 96-109.
- Flogaiti, E. (2006). Education for the environment and sustainability. Athens, Greece: Ellinika Grammata Editions.
- Hayes, D., Symington, D. & Martin, M. (1994). Drawing during science activity in the primary school. *International of Science Education*, 16, 265-277.

- Kaypak, Ş. (2013). Çevre sorunlarının çözümünde küresel çevre politikalarının önemi. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 31, 17-34.
- Kete, H., Aydın, M.S. & Kaya, H. (2017). Çevre sorunları ile mücadelede maliye politikaları. *Journal of Life Economics*, 167-190.
- Loughland, T., Reid, A. & Petocz, P. (2002). Young people's conceptions of environment: A phenomenographic analysis. *Environmental Education Research*, 8(2), 187-197. <https://doi.org/10.1080/13504620220128248>
- Malchiodi, C.A. (2005). Çocukların resimlerini anlamak. İstanbul: Epsilon Yayıncılık.
- Özdemir Özden, D. & Özden, M. (2015). Çevre sorunlarına ilişkin öğrenci çizimlerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 37 (Ocak 2015/I), 1-20.
- Özsoy, S. (2012). İlköğretim öğrencilerinin çevre algılarının çizdikleri resimler aracılığıyla incelenmesi. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 12(2), 1117-1139.
- Öztürk, T. & Zeyimoğlu Öztürk, F. (2015). Öğretmen adaylarının çevre ve çevre eğitimi ile ilgili görüşmeleri: Ordu Üniversitesi örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(33), 115-132.
- Sadık, F., Çakan, H. & Artut, D. (2009). Çocuk resimlerine yansıyan çevre sorunlarının sosyo-ekonomik farklılıklara göre analizi. Paper presented at the XVIII. National Educational Sciences Congress, Ege University, İzmir.
- White, R. & Gunstone, R. (1992). Probing understanding. London: Falmer Press.
- Yaman, K. & Gül, M. (2018). Kuruluşundan günümüze Avrupa Birliğinin çevre politikası. *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2(2), 198-217.
- Yardımcı, E. & Bağcı Kılıç, G. (2010). Çocukların gözünden çevre ve çevre sorunları. *İlköğretim Online*, 9(3), 1122-1136.
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2006). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Ankara: Seçkin Yayınevi.

MİKROSATELLİTLER VE KULLANIM ALANLARI

Gülcan GÜRSES¹

Nebiye YENTÜR DONİ²

1. GİRİŞ

Genom organizasyonunda DNA'nın büyük bir bölümü çok sayıda kodlanmayan bölgeden oluşmaktadır. Bu DNA dizilerinin bir kısmı genlerin ifadesinin düzenlenmesinde kullanılırken bir kısmı genlerin kodlayıcı bölgelerini birbirinden ayırır. Bu bölgelerde birçok tekrar dizileri bulunmaktadır.

Tek kopya DNA, genomda yalnızca bir kez bulunan belirli bir DNA dizisidir. Tekrarlayan DNA, genomda birden çok kez tekrarlanan belirli bir DNA dizisine sahip bir DNA segmentidir (Mitchell, 2017). Serpiştirilmiş (interspersed) tekrarlı DNA dizileri arasında segmental duplikasyonlar (>5 kb ve >%90 özdeşlikte duplike bölgeler) ve kısa (SINE) ve uzun (LINE) serpiştirilmiş nükleer elementler dahil olmak üzere transposable elementler bulunur (De coster ve ark., 2019). Aralıklı serpiştirilmiş uzun tekrar dizileri (LINE), 3' uçlarında adenince zengin yaklaşık 500-8000 bp uzunluğunda tekrar diziler içerir. SINE'ler daha kısadır (70-300 bp) ve genom başına 100,000'den daha çok kopya halinde bulunabilir. SINE'ler, orta büyüklükte benzer nükleotid dizilimli birçok tekrar segment ailesini içerir. Temel yapı, GC zengin segmentlerin, adenince zengin dizilerle ayrılan tandem duplikasyonudur. İnsanlarda en sık görülen SINE dizileri Alu ailesidir (Sanders ve ark., 2016, Richardson ve ark., 2015). Sıralı organize olan çeşitli kısa tekrarlardan meydana gelen diziler satellit DNA olarak adlandırılırlar.

Satellit DNA dizileri genom boyunca geniş bir şekilde dağılmış olarak bulunabilir. Tekrarlayan DNA dizileri genom içinde bir veya birkaç bölgede yerleştiği gibi genom boyunca tek kopya diziler arasında da yer alabilmektedir. Satellit DNA dizileri, genomdaki yerleşimlerine, tekrar dizilerinin toplam uzunluğuna ve diziyi oluşturan tekrar birimlerinin uzunluğuna göre farklılık göstermektedirler (Mitchell, 2017, Bennet, 2000).

Genomik tekrarlayan bölgelerin oluşumunda interspersed tekrarlarlarla birlikte tandem tekrarların alt kategorilerini mikrosatellitler ve minisatellitler oluşturur.

Mikrosatellitler 2-10 bp'den oluşan tekrar dizileridir. Minisatellitler uzunlukları 10-100 bp arasında değişen tekrarlanan DNA dizilerdir. Bu dizilere VNTR (Variable Number of Tandem Repeats) de denilmektedir. Minisatellit analizlerinden, genetik bağlantı analizleri, babalık ve akrabalık tespiti,

kemik iliği nakil işlemleri, adli tıpta kimlik tespiti gibi birçok alanda faydalanılmaktadır (Liehr, 2021, Jeffreys ve ark., 1988, Shelenkov ve ark., 2006).

2. MİKROSATELLİT TEKRAR DİZİLERİ

Mikrosatellitler, simple sequence repeat (SSR) yada short tandem repeats (STR) olarak bilinen, prokaryot ve ökaryotlarda bulunan tekrar dizileridir. Tekrar dizilerin bu grubu hem dağılmış hem birbirini izleyen gruplanmış düzenlenmeler halinde bulunur. Diziler 50 kereye kadar tekrarlanan 2-10 bp'den oluşur. Bunlar insan genomunun tamamına az çok eşit bir şekilde yayılmıştır ve tekrar biriminin boyutu arttıkça her birinin toplam sayısı azalır. Örneğin, mono nükleotid tekrarların, özellikle A ve T tekrarların, yaklaşık yarım milyon lokusta mevcut olduğuna inanılırken, pentanükleotid tekrar lokuslarının sayısının sadece birkaç bin olduğu tahmin edilmektedir (Bennet, 2000, Oliveira ve ark., 2006). Mikrosatellit diziler en çok bir iplikte CA ve karşılık iplikte GT dinükleotidlerin yinelenmesi halinde ise de, diğer birçok şekiller de görülmektedir. Bu tekrarların herhangi bir lokustaki sayısı iki kromozom üzerinde farklı olabilir ve böylece bir kişide belli bir mikrosatellit sayısının kopya sayısında heterozigotluk elde edilmiş olur. Mikrosatellitler kodlama yapan ve yapmayan bölgelerde bulunur ve kodominant olarak kalıtım gösterirler. Genellikle uzunluk polimorfizmi ile karakterize edilirler. Belirli bir lokustaki tandem tekrarların sayısı bireyden bireye değişiklik gösterebilir. Mikrosatellitler, pek çok lokusta tekrar sayılarındaki farklılıklar, genomda dağılmış halde bulunmaları, kodominant markerlar olmaları, yüksek düzeyde polimorfizm göstermeleri ve PCR (polymerase chain reaction) yöntemi ile çalışılabilirliği nedeniyle yakın akraba organizmaların incelenmesi, genom haritalama, eski ve adli örneklerde tanımlama, popülasyon yapısı çalışmaları, bağlantı analizleri ve organizmaların tiplendirilmesinde genetik haritalarının oluşturulması gibi genetik ile ilgili birçok alanda moleküler marker olarak önem taşımaktadır (Olivieria ve ark., 2006, Schlötterer ve ark., 2000, Harne ve ark., 1992). Mikrosatellit farklılıkları ile ilgili araştırmalar lokusun tipi, nükleotid dizisinin boyutu, tekrarlanan nükleotitler arası ilişkilerin araştırılması ile yapılmaktadır.

Homozigot bir mikrosatellit lokusu her iki homolog kromozomda aynı sayıda tekrara sahipken, heterozigot bir mikrosatellit lokusu her bir alel için farklı sayıda tekrara sahiptir. aynı lokusta bir bütün olarak popülasyon genellikle her biri farklı sayıda tekrara sahip birkaç alel içerir, bu da mikrosatellit belirteçlerin farklı bireyleri ayırt etmek için çok yararlı olduğunu göstermektedir (Olivieria ve ark., 2006). Genomda mikrosatellit tekrarların bulunduğu bölgelerdeki genetik varyasyonlar genellikle DNA kayması (DNA slippage), polimeraz kayması (polymerase slippage) veya kayan ipliklerin yanlış eşleşmesi sonucu oluşabilmektedir. DNA replikasyonu sırasında tekrarlı bölgede

yanlış eşleşme veya bir tekrarın atlanması sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir. Bu kaymanın DNA replikasyonuna aracılık eden protein kompleksi içinde, orijinal şablon iplik ile yeni sentezlenen DNA ipliği arasındaki yanlış eşleşmenin (bir tekrar birimi veya bazen daha fazla) bir sonucu olarak meydana geldiği düşünülmektedir. Bir tekrar ünitesinin kaybı veya eklenmesiyle mikrosatellit lokusunun daha uzun veya daha kısa olması farklılığı oluşturur. Eşit olmayan crossing-over meydana geldiğinde, çok sayıda tekrarın kaybedilmesi veya kazanılması gibi ciddi değişiklikler olabilir. Mikrosatellit tekrar bölgelerinde, sinapsis sırasında, kromozomlarda eşit uzunlukta olmayan parçalar değiş tokuş edilebilir ve bir kromozom daha fazla sayıda mikrosatellit tekrarı nedeniyle daha büyük bir parça alırken, homolog kromozom ise daha az sayıda tekrar alabilir. Populasyon içerisindeki genetik farklılıkların belirlenmesinde en önemli unsur tekrarlarda görülen mutasyonların oranıdır. Mikrosatellitlerin mutasyon oranının genomun diğer bölümlerinden çok daha yüksek olduğu ve lokus başına 10^{-2} ile 10^{-6} nükleotid arasında değiştiği bilinmesine rağmen, bu genomik bölgelerin mutasyon dinamikleri hala tamamen anlaşılmamıştır (Schlötterer, 1998, Gemayel ve ark., 2012, Sia ve ark., 2000).

Mikrosatellit dizileri belirlendikten sonra, yan bölgelere tamamlayıcı olan spesifik primerler sentezlenmeli, ardından amplifikasyon ve polimorfizm çalışmaları yapılmalıdır. Her mikrosatellit lokusu benzersiz bir dizi ile çevrelenmiştir. Tekrarlanan kısımların iki tarafını çevreleyen bölgeler 'flanking region' olarak adlandırılır. Mikrosatelliti çevreleyen diziler biliniyorsa, bu çevreleyen dizilere tamamlayıcı primerler sentezlenebilir, böylece mikrosatellit lokusunun tandem dizisi polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile çoğaltılabilir. Bu bölgelerde oluşabilecek mutasyonlar çok önemlidir. Bu kısımlar primerlerin bağlanma alanlarıdır. Meydana gelen mutasyonlar mikrosatellit allellerinin amplifikasyonunu engelleyebilir (Wright ve ark., 1995, Primmer ve ark., 2002).

İki nükleotitli tekrarlar içinde en yaygın mikrosatellitlerden biri olan (CA/GT) $_n$ mikrosatelliti, GT ve CA dinükleotitlerinin tandem dizilerinden oluşur. Bu tür tekrarlar kararsızdır ve sıklıkla tekrar bölgelerinin uzunluğunda değişikliklere uğrar. Bu değişiklikler genetik haritalama çalışmalarında yararlı olan polimorfizmlerle sonuçlanır ve frekans yükseklikleri bazı insan tümörlerinin teşhisinde kullanılabilir (Levinson ve ark., 1987). Bazı üçlü nükleotit tekrarlarındaki mutasyonların, insanlarda görülen Fragile X, Myotonic dystrophy ve Huntington hastalıklarında rol oynadığı belirlenmiştir (Seriola ve ark., 2011, Mateu, 2014).

Fragil X sendromunda CGG tekrar sayısı FMR 1 geninde artarsa hastalık oluşabilmektedir. CGG mikrosatellit tekrarlarının normal genomda 6-52 tekrar arasında olduğu, Fragil X hastalarında FMR1 geninde 55-200 kadar tekrarlandığı bildirilmektedir (Mateu, 2014, Arrieta ve ark., 1999).

Myotonik distrofi tip 1 hastalığında kinase geninin 3' untranslated bölgesinde CTG tekrarlarının artmasının hastalığın oluşumunda rol oynadığı belirtilmiştir (Ranum ve ark., 2002, Lian ve ark., 2019).

Huntington hastalığının ise, huntingtin (HTT) geni içindeki bir CAG tekrarının uzunluğunun artmasından kaynaklandığı bilinmektedir (Zhao ve ark., 2019, Bastepe ve ark., 2015).

2.1. Mikrosatellit Analiz Yöntemleri

Mikrosatellitler genom içinde yaygın olarak bulunan ve yüksek derecede polimorfizm gösteren sıralı tekrarlardan oluşan kısa DNA dizileridir. Bireyden bireye küçük farklılıklar gösterebildiklerinden genom analizi ve genotipik farklılıkların belirlenmesinde uygun markerlar olarak kullanılabilirler.

Mikrosatellitler kullanılarak yapılan genotip çalışmalarında öncelikle DNA izolasyonu yapılması gerekmektedir. Çalışılacak bölge ile ilgili uygun primerlerin sentezlenmesi ve PCR işlemi ile hedef bölgenin amplifiye edilmesi gerekir. Elde edilen ürünler elektroforezde yürütülerek görüntülenebilir ve mikrosatellit farklılıkları analiz edilebilir. Mikrosatellit analizi için farklı teknikler kullanılabilir.

2.1.1. Elektroforez yöntemleri

Mikrosatellit markerları PCR işlemi ile amplifiye edildikten sonra elektroforez ile görüntülenebilir. Bu yöntem nispeten kolay ve düşük maliyetli bir prosedürdür. Belirli bir mikrosatellit lokusunun alel varyantları, agaroz jel elektroforezi (AGE) veya poliakrilamid jel elektroforezi (PAGE) ile tanımlanabilir. Poliakrilamid jel elektroforezi agaroz jel elektroforezine göre daha yoğun emek gerektirir ancak daha iyi çözünürlük sağlayarak, polimorfizmlerin bir tek baz çiftine kadar saptanabilmesine olanak sağlar (Kalia ve ark., 2011, Mason, 2015). Kapiller elektroforez yönteminde ise floresan işaretli primerler kullanılarak PCR işlemi gerçekleştirilir ve daha sonra güçlü bir elektrik alanı kullanılarak floresan işaretli DNA parçaları kapiller kanallardan geçirilir ve bu sırada mikrosatellit allel farklılıklarının tespiti yapılabilir (Toh ve ark., 2021, Mansfield, 1997).

2.1.2. Multipleks PCR

Birden fazla mikrosatellit lokusunun analizini gerçekleştirmek için floresan bazlı DNA analizi yapan multipleks PCR yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem tek bir PCR reaksiyonunda birkaç lokusun eşzamanlı amplifikasyonunu ve ardından tek bir jel şeridinde birden fazla moleküler markerin analizini içerir. Mikrosatellitlerin genetik belirteçler olarak geniş ölçekli kullanımı için daha düşük maliyet sağlayabilir. Mikrosatellit

lokusları otomatik sistemler ve kapiller elektroforez yoluyla kolayca tespit edilebilir (Garcia ve ark., 2012, Li ve ark., 2018).

2.1.3. RAPD (Randomly amplified polymorphic DNA) Fingerprinting

Mikrosatellit lokusları sıklıkla polimorfizm gösterdiğinden, özellikle rastgele çoğaltılmış polimorfik DNA (RAPD) gibi PCR tabanlı tekniklerle bireylerin moleküler tanımlanması ve ayırt edilmesi için ideal markerlardır. Bu yöntemde rastgele seçilen mikrosatellit primerleri kullanılarak PCR işlemi uygulanır. İşaretli, mikrosatellit oligonükleotitleri Southern blot analizleri aracılığıyla RAPD ürünlerindeki tamamlayıcı dizileri tespit etmek için prob görevi görür. Daha sonra, uygun boyuttaki RAPD parçaları klonlanır ve dizilenir. (Walczak ve ark., 2007, Richardson ve ark., 1995, Ender ve ark., 1996).

2.1.4. MLMT (Multilocus Microsatellite Typing) Yöntemi

Mikrosatellitleri kapsayan sekansların uzunluk polimorfizmlerinin analiz edilmesi, popülasyon analizi ve genetik çalışmalar için çok önemli bir araçtır. Mikrosatellit uzunluk farklılıkları özellikle yakın ilişkili organizmalar arasında varyasyon çalışmaları için yararlı bir yöntemdir. Mikrosatellit sekans varyasyonu tek tekrar ünitelerinin kazanılması ve kaybedilmesinden kaynaklanır ve flanking bölgelere spesifik primerlerle yapılan amplifikasyondan sonra belirlenebilir. Yöntemde, belirlenmiş mikrosatellit setleri kullanılarak PCR işleminden sonra poliakrilamid jel elektroforezinde ürünlerin uzunlukları ölçülür. Tür içi farklılıkların analizinde ve popülasyon genetiği çalışmalarında kullanılabilir (Schwenkenbecher ve ark., 2006).

2.2. Mikrosatellit instabilitesi

Mikrosatellit İnstabilitesi (MSI); DNA da yanlış eşleşme onarım (mismatch repair, MMR) genlerindeki inaktivasyonlara bağlı olarak tümör DNA'sında ekstra mikrosatellit alellerinin ortaya çıkmasına bağlı bir durumdur. Mismatch repair sistem, DNA replikasyon hataları sürecinde düzeltme yapabilir. Tümör hücrelerinde MMR genlerinin eksikliği veya replikasyon onarımı sürecindeki kusurlar nedeniyle, gen mutasyonu olasılığı artmaktadır. Replikasyon mekanizmasında mutasyona uğramış mikrosatellit başka bir zincirle eşleştğinde kayma sonrasında zincirde oluşabilecek fazlalık yapı nükleaz tarafından kesilip onarılsa replikasyondan önceki duruma tekrar geri getirilebilir, onarılmazsa yeni zincirde kalabilir. MMR eksikliği DNA replikasyonu sırasında oluşan hataların onarılmasını im-

kansız hale getirir, bu da nükleotid mutasyonuna ve mikrosatellit dizisinin uzunluğunda değişikliklere yol açar. Mikrosatellit instabilitesi tümörlerin oluşumunda ve gelişiminde önemli bir faktör olarak görülmektedir. MutS ve MutL DNA tamir genlerindeki mutasyonlar tamir mekanizmasının bozulmasına yol açar. MSI varlığı sporadik kolon, gastrik, sporadik endometriyal ve diğer kanserlerin çoğunda bulunmaktadır (Nojadeh ve ark., 2018, Boland ve ark., 2010, Li ve ark., 2020).

3. SONUÇ

Mikrosatellitler, kodominant kalıtım göstermeleri, genom içinde fazla miktarda bulunmaları ve yüksek polimorfizm göstermeleri nedeniyle genetik haritalama, sınıflandırma, popülasyon genetiği, adli tıp, genetik varyasyonların belirlenmesi gibi birçok alanda kullanılan faydalı belirteçlerdir. Mikrosatellit bölgelerin analizine yönelik yeni yaklaşımların ortaya çıkmasıyla, mikrosatellitlerin kullanım alanlarında artış olması olasıdır.

KAYNAKÇA

- Arrieta, I., Gil, A., Nunez, T., Telez, M., Martinez, B., Criado, B., & Lostao, C. (1999). Stability of the FMR1 CGG repeat in a Basque sample. *Human biology*, 55-68.
- Bastepe, M., & Xin, W. (2015). Huntington disease: molecular diagnostics approach. *Current protocols in human genetics*, 87(1), 9-26
- Bennett, P. (2000). Demystified...: Microsatellites. *Molecular pathology*, 53(4), 177.
- Boland, C. R., & Goel, A. (2010). Microsatellite instability in colorectal cancer. *Gastroenterology*, 138(6), 2073-2087.
- De Coster, W., & Van Broeckhoven, C. (2019). Newest methods for detecting structural variations. *Trends in biotechnology*, 37(9), 973-982.
- Ender, A., Schwenk, K., Städler, T., Streit, B., & Schierwater, B. (1996). RAPD identification of microsatellites in *Daphnia*. *Molecular Ecology*, 5(3), 437-441.
- Garcia-Linares, C., Mercadé, J., Gel, B., Biayna, J., Terribas, E., Lázaro, C., & Serra, E. (2012). Applying microsatellite multiplex PCR analysis (MMPA) for determining allele copy-number status and percentage of normal cells within tumors.
- Gemayel, R., Cho, J., Boeynaems, S., & Verstrepen, K. J. (2012). Beyond junk-variable tandem repeats as facilitators of rapid evolution of regulatory and coding sequences. *Genes*, 3(3), 461-480.
- Hearne, C. M., Ghosh, S., & Todd, J. A. (1992). Microsatellites for linkage analysis of genetic traits. *Trends in genetics*, 8(8), 288-294.
- Jeffreys, A. J., Wilson, V., Neumann, R., & Keyte, J. (1988). Amplification of human minisatellites by the polymerase chain reaction: towards DNA fingerprinting of single cells. *Nucleic Acids Research*, 16(23), 10953-10971
- Kalia, R. K., Rai, M. K., Kalia, S., Singh, R., & Dhawan, A. K. (2011). Microsatellite markers: an overview of the recent progress in plants. *Euphytica*, 177(3), 309-334.
- Levinson G, Gutman GA. High frequencies of short frameshifts in poly-CA/TG tandem repeats borne by bacteriophage M13 in *Escherichia coli* K-12. *Nucleic Acids Res.* 1987;15:5323–5338. doi: 10.1093/nar/15.13.5323.
- Li, D., Wang, S., Shen, Y., Meng, X., Xu, X., Wang, R., & Li, J. (2018). A multiplex microsatellite PCR method for evaluating genetic diversity in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Aquaculture and fisheries*, 3(6), 238-245.

- Li, K., Luo, H., Huang, L., Luo, H., & Zhu, X. (2020). Microsatellite instability: a review of what the oncologist should know. *Cancer cell international*, 20, 1-13.
- Lian, M., Lee, C. G., & Chong, S. S. (2019). Robust preimplantation genetic testing strategy for myotonic dystrophy type 1 by bidirectional triplet-primed polymerase chain reaction combined with multi-microsatellite haplotyping following whole-genome amplification. *Frontiers in Genetics*, 10, 589.
- Liehr, T. (2021). Repetitive elements, heteromorphisms, and copy number variants. In *Cytogenomics* (pp. 373-388). Academic Press.
- Mansfield, E. S., Vainer, M., Harris, D. W., Gasparini, P., Estivill, X., Surrey, S., & Fortina, P. (1997). Rapid sizing of polymorphic microsatellite markers by capillary array electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 781(1-2), 295-305.
- Mason, A. S. (2015). SSR genotyping. *Plant genotyping: methods and protocols*, 77-89.
- Mateu Huertas, E. (2014). Insight into disease processes of fragile X premutation carriers associated pathologies: expression-profile characterization and identification of a novel pathogenic mechanisms
- Mitchell, M. G. (2017). *Bioprinting: Techniques and Risks for Regenerative Medicine*. Academic Press.
- Nojadeh, J. N., Sharif, S. B., & Sakhinia, E. (2018). Microsatellite instability in colorectal cancer. *EXCLI journal*, 17, 159.
- Oliveira, E. J., Pádua, J. G., Zucchi, M. I., Vencovsky, R., & Vieira, M. L. C. (2006). Origin, evolution and genome distribution of microsatellites. *Genetics and Molecular Biology*, 29, 294-307.
- Ranum, L. P., & Day, J. W. (2002). Dominantly inherited, non-coding microsatellite expansion disorders. *Current opinion in genetics & development*, 12(3), 266-271.
- Richardson SR, Doucet AJ, Kopera HC, Moldovan JB, Garcia-Perez JL, Moran JV. The Influence of LINE-1 and SINE Retrotransposons on Mammalian Genomes. *Microbiol Spectr*. 2015 Apr;3(2):MDNA3-0061-2014. doi: 10.1128/microbiolspec.MDNA3-0061-2014. PMID: 26104698; PMCID: PMC4498412.
- Primmer, C. R., & Merilä, J. (2002). A low rate of cross-species microsatellite amplification success in Ranid frogs. *Conservation Genetics*, 3, 445-449.
- Richardson, T., Cato, S., Ramser, J., Kahl, G., & Weising, K. (1995). Hybridization of microsatellites to RAPD: a new source of polymorphic markers. *Nucleic acids research*, 23(18), 3798.

- Sanders, S. J., & Mason, C. E. (2016). The Newly Emerging View of the Genome. In *Genomics, Circuits, and Pathways in Clinical Neuropsychiatry* (pp. 3-26). Academic Press.
- Schlötterer, C. (1998). Genome evolution: are microsatellites really simple sequences?. *Current Biology*, 8(4), R132-R134.
- Schlötterer, C. (2000). Evolutionary dynamics of microsatellite DNA. *Chromosoma*, 109(6), 365-371.
- Schwenkenbecher, J. M., Wirth, T., Schnur, L. F., Jaffe, C. L., Schallig, H., Al-Jawabreh, A., ... & Schönian, G. (2006). Microsatellite analysis reveals genetic structure of *Leishmania tropica*. *International journal for parasitology*, 36(2), 237-246.
- Seriola, A., Spits, C., Simard, J. P., Hilven, P., Haentjens, P., Pearson, C. E., & Sermion, K. (2011). Huntington's and myotonic dystrophy hESCs: down-regulated trinucleotide repeat instability and mismatch repair machinery expression upon differentiation. *Human molecular genetics*, 20(1), 176-185.
- Shelenkov, A., Skryabin, K., & Korotkov, E. (2006). Search and classification of potential minisatellite sequences from bacterial genomes. *DNA research*, 13(3), 89-102.
- Sia, E. A., Butler, C. A., Dominska, M., Greenwell, P., Fox, T. D., & Petes, T. D. (2000). Analysis of microsatellite mutations in the mitochondrial DNA of *Saccharomyces cerevisiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(1), 250-255.
- Toh, J. W. T., Singh, P., Tangirala, V. A., Limmer, A., & Spring, K. J. (2021). A simple, accurate and cost-effective capillary electrophoresis test with computational methods to aid in universal microsatellite instability testing. *Cells*, 10(6), 1401.
- Walczak, E., Czaplińska, A., Barszczewski, W., Wilgoz, M., Wojtatowicz, M., & Robak, M. (2007). RAPD with microsatellite as a tool for differentiation of *Candida* genus yeasts isolated in brewing. *Food microbiology*, 24(3), 305-312.
- Wright, J. M., & Bentzen, P. (1995). Microsatellites: genetic markers for the future. In *Molecular genetics in fisheries* (pp. 117-121). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Zhao, M., Cheah, F. S. H., Tan, A. S. C., Lian, M., Phang, G. P., Agarwal, A., & Chong, S. S. (2019). Robust preimplantation genetic testing of huntington disease by combined triplet-primed PCR analysis of the HTT CAG repeat and multi-microsatellite haplotyping. *Scientific Reports*, 9(1), 16481.

HUMİK ASİTLER VE TARIM

ŞENER AKINCI¹

1. HUMİK ASİTLER NEDİR, NASIL OLUŞURLAR?

Humik asitler (HA), leonardit, linyit, kömür, turba, hayvan gübresi, kompost ve topraklar olmak üzere Dünyanın hemen her yerinde değişen miktarlarda bulunan, yüksek molekül ağırlıklı, kahverengi ile koyu renkli, belirli bir şekli olmayan, organik maddelerdir (Gollenbeek ve Van Der Weide, 2020; Yang ve ark. 2021). Yapısında humik asit bulunan bütün kay-nakların ortak özelliklerinden biri bitki (lignin, tanen, selüloz, kütin gibi ayrılmış kalıntıları) hayvan ve mikroorganizmaların milyonlarca yıl sonra çürümesiyle oluşması ve ilgili yerlerde yani toprak ve tortularda doğal ola-rak depolanmasıdır (Tan ve ark. 2000; Billingham, 2012; Hayes ve Swift, 2020).

Humik maddeler asit ve bazlardaki çözünürlüklerine göre humik asit, fulvik asit ve humin olarak üç gruba ayrılırlar. Humik asitlerin kimyasal analizlerinde; Karbon (C), Oksijen (O), Hidrojen (H) ve Nitrojen (N) ile Kükürt (S) içerdiği tespit edilmiştir (Chen ve Avnimelech, 1986; De Melo ve ark. 2016; Nardi ve ark. 2021; Sible ve ark. 2021) karboksilik (COOH) ve fenolik (OH) gruplarına sahip olması humik asitlerin topraktaki fonksiyonlarını fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra bitki büyümesinin iyileştirilmesi yolundaki etkinliğini belirlemektedir (De Melo ve ark. 2016; Nardi ve ark. 2021).

Dünyada üzerinde bitki yetişmesinin mümkün olduğu bütün topraklar humik maddelerin her bir çeşidini içerir. Buna karşın, bu dağılım coğrafik ve toprak özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin, orman topraklarının humusunda fulvik asit bulunurken turbalar ve çayır alanlarında ise yüksek miktarda humik asite rastlanır.

Humik ve Fulvik olarak adlandırılan organik maddeler, bitki ve hayvanların yapılarındaki karbon, organizmaların çürümesi ve parçalanması ile milyonlarca yıllık süreç içerisinde organik madde döngüsüyle yoğunlaşır ve kaya katmanları arasında birikirler. Günümüzde en çok kullanılan humik asitler “Leonardit” kaynaklı olup bu oluşumların sonucu ortaya çıkmıştır. Leonardit, linyit yataklarının oluşumuna katkıda bulunan yer küre

¹ Marmara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı 34722 Göztepe, İSTANBUL, akinci@marmara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2304-3500

katmanlarının kömürleşmemiş ancak yeterli değişikliklerin gerçekleştiği ve yapısal özelliklerini kazandığı derinliklerden elde edilmektedir. Leonarditin bulunduğu katmanlar jeolojik değişimlerle yer değiştirmeden önce yer kabuğu derinliklerinde bulunurken yüzey değişimleri nedeniyle daha üst tabakalarda daha sık rastlanmaktadır. Leonardit kömürleşme aşamasını tamamlamamış, bu sürecin devam ettiği ve yüksek oksidasyon sonucu kömürden farklı, yakıt olarak enerjisi olmayan organik maddelerdir. Evrimsel süreç açısından binlerce yıl gibi günümüze daha yakın bir süreç içinde oluştuğundan humik asitler, kömür oluşumları içinde yüksek konsantrasyonlu organik asit içerikli büyük rezervlerdir.

2. HUMİK ASİTLERİN YARARLARI NELERDİR?

Humik asitler toprağın yapısını fiziksel olarak değiştirir ve iyileştirir. Toprak tipine göre bu görevi farklı olarak yerine getirir. Örneğin drenajı yüksek kumlu topraklarda su kaybını (evaporasyon) azaltarak suda erimiş olarak bulunan bitki besleyicisi durumunda elementleri alımlarını sürdürür. Ağır ve sıkışık topraklarda partiküller arasında hava boşluklarının miktarını ve su tutma kapasitelerini artırır. Bu özelliğini mineral ve organik partiküllerden oluşan kolloidal yapısını onu daha gevşek ve yumuşak hale getirerek su ve hava tutma kapasitesini, toprağın çatlamasını engelleyerek, yüzey suyunun alt tabakalara inmesini ve muhafazasını sağlayarak gerçekleştirir. Bu özellikteki toprak kolayca ekime hazır hale gelecektir. Toprakta suyun partiküllere kolayca bağlanabilmesi ve tutulabilmesi kuraklık karşısında avantaj sağlayıcıdır (Akıncı, 2011). Toprakta humik maddelerin artması toprak renginin koyulaşmasına yol açacağı için güneş ışınlarını yüksek oranda soğurabildiğinden toprak sıcaklığı artacaktır. Toprak aşırı asit ya da alkali ortamlarını nötralize ederek pH değerlerini düzenler. Asitli topraklarda özellikle fosfor, kalsiyum ve magnezyum alımlarındaki eksiklik ortaya çıkmakta alüminyum ve mangan miktarlarındaki artışlar ürün yetersizliklerine yol açmakta, yüksek alkali olduğunda da bu defa demir ve çinko gibi elementlerin alımları zorlaşmaktadır (Pessarakli, 1999).

Kasyon değişim katsayısı (KDK) çok yüksek olduğu için toprak verimliliğini arttıran humik asitler topraktaki metaller ile şelat yapabilmektedir (Stevenson, 1994; Kerndorff ve Schnitzer, 1980). Humik asitlerin bu özelliği, aralarında antagonistik ilişki bulunan ve çok sayıdaki besleyici durumundaki elementlerin toprak tiplerine göre bitkilerce alınması mümkün olmayan formlara dönüşmesini engelleyecek ve demir gibi alımı çok zor olan bir elementin kökler çevresinde tutulmasına ve alınmasına yardımcı olacaktır. Humik asitlerin besleyici elementlerin alınması, negatif yüke sahip olması ile kasyonlar ile bağ yaparak tuttukları ve köklerden emilimini, özellikle iz elementlerin humik asit bağlantıları ile kök hücreleri zarları tarafından rahatlıkla mümkün olmaktadır (Tipping, 2002; Kuli-

kova ve ark. 2005; Yılmaz, 2007). Toprakta bitki kök çevresindeki bulunan ve uygun konsantrasyona sahip humik asitler, kation ve anyon halinde bulunan ve bitkiler tarafından yüksek miktarlarda alınması gereken makro besleyicilerin köklerden emilimini önemli bir oranda gerçekleştirmektedirler (Stevenson, 1994; Tipping 2002; Kulikova ve ark. 2005; Yılmaz, 2007; Akıncı, 2011; Büyükkeskin ve ark. 2014). Sağlıklı bir toprak, fiziksel özellikleri kadar içerdiği besleyiciler, faunistik ve floristik yapıları açısından da eksiksiz olmalıdır. Humik asitler içerdiği azot, kalsiyum, fosfor ve kükürt besleyicilerinden dolayı toprağın mikroorganizmalar açısından zenginleştirmektedir (Yılmaz, 2007; Larcher, 2003). Humik asitlerce zengin topraklarda bitkilerin büyüme ve gelişmelerindeki katkısı humik asitlerin hormonlar gibi rol oynadığını göstermektedir. Bu aktif büyüme özelliği humik asitlerin oksin ve sitokinin benzeri bir etki yaptığını ve ürün miktarının da arttığı bilinmektedir (Cacco ve Dell'Agnola, 1984; Nardi ve ark. 2002; Canellas ve ark. 2002; Quaggiotti ve ark. 2004; Kulikova ve ark. 2005; Billingham, 2012; Rose ve ark. 2014; Canellas ve ark. 2020; Laskosky ve ark. 2020; Nardi ve ark. 2021; van Tol de Castro ve ark. 2021).

Tarımda çok kullanılan herbisit ve pestisit gibi kimyasalların toprağa ve yeraltı sularına zararsız bir hale getirilmeleri, humik asitlerin bu maddeler ile birleşip kararlı yapılar oluşturması ile mümkün olmaktadır (Helal ve ark. 2006). Humik asitler kuraklık, tuzluluk ile topraktaki toksik ve ağır metallerin zararlı etkileri gibi stres koşulları altında yetişen bitkilerin hayatta kalma mekanizmalarıyla ilgili koruyucu özellik taşımaktadır (Fagbenro ve Agboda, 1993; David ve ark. 1994; Stevenson, 1994; Dursun ve ark. 1999; Pılanalı ve Kaplan, 2003; Sharif ve ark. 2002; Kolsarıcı ve ark. 2005; Büyükkeskin ve Akıncı, 2011; Khaled ve Fawy, 2011).

3. HUMİK ASİTLERİN BİTKİ BÜYÜME VE GELİŞMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Yapılan çok sayıdaki çalışma, humik asitlerin özellikle kök büyümesi ve gelişimi üzerine etkili olduğunu göstermiştir. Mısır ile yapılan araştırmalarda humik asitin bitki kök uzunluğunda ve kuru ağırlığında artışa neden olduğu rapor edilmiştir. Element tayini yapıldığında azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, bakır, mangan, çinko ve demir miktarlarının arttığı görülmüştür (Sharif ve ark. 2002; Eyheraguibel ve ark. 2008). *Helianthus annuus* L. (Ayçiçeği) üzerinde yapılan başka bir çalışmada kök uzunluğunun arttığı (Kolsarıcı ve ark. 2005); domates ve salatalıkta kök kuru ağırlığı artarken (Atiyeh ve ark. 2002); *Lolium perenne* (delice otu) kök gelişimiyle birlikte azot, potasyum, bakır ve mangan konsantrasyonlarında artış rapor edilmiştir (Bidegain ve ark. 2000). *Vitis vinifera* L. (üzüm) ile yapılan bir çalışmada, yapraklara uygulanan humik asitin ürün miktarının ve niteliğinin (tane boy, çap, ağırlık) önemli ölçüde arttığı saptanmıştır.

Humik asitlerle yapılan çalışmalarda, humik asitlerin yalnız kök veya sürgünlerin büyüme ve gelişmeleri üzerine değil çimlenme aşamasından itibaren etkisinin bulunduğu bilinmektedir (Dell'Amico ve ark. 1994; Garcia ve ark. 1992). Fide gelişimi humik asitlerin besleyici minerallerin alımları üzerine etkisini göstermektedir (Padem ve ark. 1997; Aydın ve ark. 1999; Akinremi ve ark. 2000; Dursun ve ark. 2002; Çimrin ve Yılmaz, 2005). Arjumend ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada humik asitlerin topraktaki besleyiciler üzerindeki etkisini organik maddelerin %9, azot miktarının %30, potasyumun %52, fosforun %166 (38); organik madde içeriğinin %7-14, azot içeriğinin de %7 arttığı rapor edilmiştir (Hai ve Mir, 1998; Sharif ve ark. 2002). Domates, çilek, soğan ile yapılan araştırmalarda yapraklara humik asitin püskürtülerek verilmesiyle bu bitkilerde besleyici alımlarının arttığı ve ürün kalitelerine olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir (Padem ve Öcal, 1999; Neri ve ark. 2002, El-Desuki, 2004). Pirinç fidelerine humik asit ve kümes hayvanları gübresinin birlikte verilmesinin azot, potasyum, fosfor, kükürt, kalsiyum ve magnezyumun miktarlarında anlamlı artışlar bulunmuştur (Saha ve ark. 2014). Karpuz ile yapılan başka bir çalışmada ürün miktar ve kalitesi yanında karpuz çap ve ağırlığında artışlar kaydedilmiştir (Salman ve ark. 2005). Humik asitin değişik konsantrasyonlarının domates ve patlıcan fidelerinde besin elementlerinin alımını kolaylaştırmasından dolayı her iki bitkide de yaprak sayılarını ve alanlarını, kök ve gövde yaş ile kuru ağırlıklarını anlamlı bir şekilde arttırdığını (Pılanalı ve Kaplan, 2003) sera ortamında da farklı humik konsantrasyonlarının domates fidelerinin büyümelerine ve besleyici elementlerin alınmasına katkıda bulunduğu belirtilmektedir (David ve ark. 1994).

Humik asitlerin kök ve sürgün büyümesini teşvik ettiği (Rose ve ark. 2014; Olaetxea ve ark. 2020), makro ve mikro besleyici elementlerin alımlarının artmasının sürgün büyümesini olumlu yönde etkilediği (Chen ve ark. 2004; Fan ve ark. 2014; Sible ve ark. 2021), kök ve sürgün ağırlıklarının artmasının klorofil içeriğine ve dolayısı ile fotosentez verimliliğini arttırdığı rapor edilmiştir (Delfine ve ark. 2005; Bybordi ve Ebrahimian, 2013). Bakla ile yapılan bir çalışmada humik asit uygulamasının yaprak ve gövde ağırlıklarını arttırdığını, özellikle kök gelişimleri üzerine olumlu etkileri olduğu, köklerde ve gövdelerde sodyum, potasyum, demir, mangan, kalsiyum içeriklerini de yükselttiği belirtilmiştir (Akıncı ve ark. 2009; Büyükkeskin ve Akıncı, 2011). Bezelye ile yapılan bir saksı deneyinde zengin humik asit içerikli vermikompost (solucan gübresi) uygulamasıyla on iki günlük bitki büyümesini takiben toprakta üreaz aktivitesinin arttığı belirlenmiştir (Maji ve ark. 2017).

Humik asitin olumlu etkilerinin görüldüğü bitkiler arasında; hıyar (El-Nemr ve ark. 2012); çilek (Pılanalı ve Kaplan, 2003); domates (David

ve ark. 1994; Dursun ve ark. 1999), patlıcan (Dursun ve ark. 1999); biber (Çimrin ve Yılmaz, 2005); buğday (Botella ve ark. 1994); mısır (Turan ve Aydın, 2005) ; fasulye (Aydın ve ark. 2012); pamuk (Rady ve ark. 2016); bamyı (Paksoy ve ark. 2010); arpa (Jarosova ve ark. 2016); keten (Bakry ve ark. 2014); maş fasulyesi (Kalyoncu ve ark. 2017); darı (Shen ve ark. 2020); maydanoz (Tursun ve ark. 2019) bulunmaktadır.

4. HUMİK ASİTLERİN TARIMDAKİ ROLLERİ

Humik asitler gübre olarak tanımlanmaz ancak toprak düzenleyici, bitki için biyolojik katalizör ve biyolojik uyarıcı olarak bilinmektedir. Organik yapıya sahip olduğundan temel besin maddelerinin yani makro ve mikro elementlerin alınabildiği ve bunların toprağın içerisinde zenginleştirildiği bir ortam özelliği taşır. Leonardit kökenli olanlarının bitki büyüme ve gelişmesi (biyokütle artışı) üzerine uzun süreli etkili olduğu ve toprağın verimini arttırdığı bilinmektedir. Verimin artmasında humik asitlerin, metal iyonlarını, oksitleri ve hidroksitleri bağlaması ve bunları yavaşça kök çevrelerinde bırakmasıyla bitkilerin rahatça alabilmeleri yatmaktadır (Stevenson, 1994; Ghabbour ve Davies, 2001; Amping ve ark. 2022; Akıncı, 2023). Humik asitlerle yapılan çok sayıdaki çalışmada tarımda kullanılan kültür bitkilerinin özellikle abiyotik koşullardaki tepkileri ortaya konmuştur. Burada ağırlıklı olarak su stresi (kuraklık) tuzluluk ve ağır metallerin etkileri gelmektedir.

Humik asitlerin tarımda kullanılmasının gerekli olduğu özellikle besleyici olarak bilinen elementlerin alınabilme kolaylığına bağlıdır. Örneğin demir gibi zor alınan bir besleyici humik asitlerin şelatlama özelliğinden yararlanılarak alınmaktadır. Humik asitler besleyicilerin bitkilerde optimal olarak kullanılmasına yol açmaktadır (Akıncı, 2023). Humik asitlerin besin elementlerinin uygun konsantrasyonlarda alınabilmelerinde toprağın uygun pH derecesine sahip olması gerekmektedir. Toprağın nötralize edilmesi humik asitlerce sağlanmakta (Yılmaz, 2007) katyon değişim kapasitesinin artması, kök çevresindeki alınabilir ve iletilebilir mineral besleyicilerin varlığı toprağı çok verimli bir hale getirirler (Stevenson, 1994; Yılmaz, 2007; Tipping, 2002; Kulikova ve ark. 2005 Tiwari ve ark. 2023). Humik asitlerin tarımda tercih edilmesinin önemli nedenleri arasında toprağın yapısal olarak iyileştirilmesi, su tutma kapasitesinin artması, mikroskobik (mikrobiyal popülasyonlar) zenginleşme süreciyle mikro besinlerin alınabilmesi (Nardi ve ark. 2017, 2021; Fuentes ve ark. 2018; Shah ve ark. 2018; Yang ve ark. 2021), ağır metallerin çöktürülmeleri sonucu toksik elementlerin bitki kökleri tarafından alımları büyük oranda azaltılır (Wu ve ark. 2017). Yapılan uygulamalarda uygun nitelik ve nicelik seçimi yapılmış humik asit uygulamalarında %70 civarında verim artışı, gübre ve pestisit kullanımında %30'a varan azalma tespit edilmiştir. Humik asitin

kullanıldığı topraklar arasında humus bakımından fakir ve kumlu topraklar ve çeşitli nedenlerle yapısal özellikleri bozulmuş, hasar görmüş ve yeniden ekim yapılması planlanan yerler ile kuru ve sıcak bölgelerdeki bütün tarım alanları bulunmaktadır (Olivas, 2010).

5. SONUÇ

Humik asitler doğadaki her organik maddede, karasal ve sucul sistemlerin hepsinde değişik miktarlarda bulunmaktadır. Leonardit, humik asitlerin üretilmesinde en yüksek oranda kullanılan bir hammadde özelliği taşımaktadır.

Dünyanın her yerinde humik asitlerle yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Tarımsal üreticiler, gıdaya olan yüksek talep nedeniyle, kalitenin yanı sıra verim miktarını da artırmak için aşırı miktarda gübre kullanılmaktadırlar. Bunun toprağın doğal yapısının değişmesine yol açacağı ve kirlenmesine neden olacağı açıktır. Humik asit ile yapılan çok sayıdaki araştırma, uygun dozlarda/oranlarda kullanılan humik asidin özellikle bahçecilik ve tarımda faydalı olduğunu göstermiştir. Humik asitlerin toprak düzenlenmesinde ve nötralize edilmesinde çok önemli bir rolü olduğu için bitkilerin köklenmesine katkı sağladığı için çimlenmesinden itibaren büyüme gelişmelerinde etkili sonuçlar alınmıştır.

Artan Dünya nüfusunu beslemek amacıyla yapılan tarım faaliyetlerinde nitelik yerini giderek niceliğe bırakmaktadır. Bu amaçla yoğun gübre kullanımı yanında herbisit, pestisit, fungusit kullanımı artmakta, topraklar doğal yapılarını kaybetmektedirler. Humik asitlerle yapılan küresel çaplı çalışmaların büyük çoğunluğunda humik asitlerin bitki gelişimlerine katkısı iyi bilinmektedir. Bitkilerin bulunduğu ortamlarda su stresi, tuzluluk, ağır metallerle kirlenme ve pestisit kalıntılarının bitkilere zararlarını önlemek gibi “mücadelelerinde” humik asitlerin biyolojik bir düzenleyici etkisinin önemli olduğuna ilişkin yayınlar bulunmaktadır. Humik asitlerin tarımda yoğun ve bilinçli kullanılmasının ve her türlü etkisinin ortaya çıkarılması, yapılan çalışmaların ve araştırmaların artması ve bilinmeyen sorulara yanıt verebilmesi önemli ve öncelikli bir konu olma özelliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Akıncı, Ş. (2011). Hümik asitler, bitki büyümesi ve besleyici alımı. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1): 46-56, İstanbul.
- Akıncı, Ş. (2023). Contribution from Nature to Agricultural Ecosystems: Humic Substances. *Ecol Conserv Sci.*, 3(1): 555602.
- Akıncı, Ş., Büyükköskin, T., Eroğlu, A., Erdoğan, B. E. (2009). The Effect of Humic Acid on Nutrient Composition in Broad Bean (*Vicia faba* L.) Roots, *Not Sci Biol*, 1(1)) 81-87.
- Akinremi, O. O., Janzen, H. H., Lemke, R. L. ve Larney, F. J. (2000). Response of canola, wheat and green beans to leonardite additions. *Canadian Journal of Soil Science*, 80, 437-443
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Front. Agron.* 4. doi: 10.3389/fagro.2022.848621
- Arjumend, T., Abbasi, M. K., Rafique, E. (2015). Effects of lignite-derived humic acid on some selected soil properties, growth and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under greenhouse conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 47(6), 2231-2238.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., and Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm. *Bioresour. Technol.* 84, 7–14. doi: 10.1016/S0960-8524(02)00017-2
- Aydın, A., Turan, M. ve Sezen, Y. (1999). Effect of fulvic-humic acid application on yield and nutrient uptake in sunflower and corn. *Improved Crop Quality by Nutrient Management* (pp. 249-252). Boston, London: Kluwer Academic Publishers Dordrecht.
- Aydın, A., Kant, C., Turan, M. (2012). Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research* 7(7): 1073-1086.
- Bakry, B. A., Taha, M. H., Abdelgawad, Z. A., Abdallah, M. M. S. (2014). The Role of humic acid and proline on growth, chemical constituents and yield quantity and quality of three flax cultivars grown under saline soil conditions. *Agricultural Sciences* 5: 1566-1575.
- Bidegain, R. A., Kaemmerer, M., Guisresse, M., Hafidi, M., Rey, F., Morard, P., Revel, J. C. (2000). Effects of Humic Substances from Composted or Chemically Decomposed Poplar Sawdust on Mineral Nutrition of Ryegrass, *Journal of Agricultural Science*, 134 259.
- Billingham, K. L. (2012). Humic products-potential or presumption for agriculture? Can humic products improve my soil? in 27th Annual Conference (Orange, NSW: Grassland Society of NSW Inc.).

- Botella, M. A., Cerda, A., Lips, S. H. (1994). Kinetics of NO_3^- and NH_4^+ uptake by wheat seedlings: effect of salinity and nitrogen source. *Journal of Plant Physiology*, 144(1): 53-57.
- Büyükkeskin, T., Akıncı, Ş., and Eroğlu, A. E. (2014). The effects of humic acid on root development and nutrient uptake of *Vicia faba* L. (Broad Bean) seedlings grown under aluminum toxicity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46, 277–292. doi: 10.1080/00103624.2014.969402
- Büyükkeskin, T., Akıncı, Ş. (2011). The Effects of Humic Acid on Above-Ground Parts of Broad Bean (*Vicia faba* L.) Seedlings Under Al^{3+} Toxicity, *Fresenius Environmental Bulletin*, 20: 3, 539-548.
- Bybordi, A., and Ebrahimian, E. (2013). Growth, yield and quality components of canola fertilized with urea and zeolite. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 44, 2896–2915. doi: 10.1080/00103624.2013.823986
- Cacco, G., Dell’Angola, G. (1984). Plant Growth Regulator Activity of Soluble Humic Complexes, *Canadian Journal of Soil Sciences*, 64, 225.
- Canellas, L. P., Canellas, N. O. A., Luiz Eduardo, L. E. S., Olivares, F. L., and Piccolo, A. (2020). Plant chemical priming by humic acids. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 7, 12. doi: 10.1186/s40538-020-00178-4
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Faraña-Okorokova, A.L., Faraña, A. R. (2002). Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H^+ -ATPase Activity in Maize Roots, *Plant Physiology*, 130, 1.
- Chen, Y., Avnimelech, Y. (1986). The Role of Organic Matter in Modern Agriculture, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 80.
- Chen, Y., Magen, H., and Clapp, C. E. (2004). Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 1089–1095. doi: 10.1080
- Çimrin, K. M. and Yılmaz, I. (2005). Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B, *Soil and Plant Sci.* 55, 58-63.
- David, P. P., Nelson, P. V., Sanders, D. C. (1994). A Humic Acid Improves Growth of Tomato Seedling in Solution Culture, *Journal of Plant Nutrition*, 17(1): 173-184.
- De Melo, B. A. G., Motta, F. L., and Santana, M. H. A. (2016). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Mater. Sci. Eng. C* 62, 967–974. doi: 10.1016/j.msec.2015.12.001
- Delfine, S., Tognetti, R., and Ersilio Desiderio, A. A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agron. Sustain. Dev.* 25, 183–191. doi: 10.1051/agro:2005017
- Dell’Amico, C., Masciandaro, G., Ganni, A., Ceccanti, B., Garcia, C., Hernandez, T. ve Costa, F. (1994). Effects of specific humic fractions on plant growth.

- In Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health; Senesi, N., Miano, T.M., Eds.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, pp. 563-566.
- Dursun, A., Güvenc, I., Turan, M. (1999). Macro and Micronutrient Contents of Tomato and Eggplant Seedlings and Their Effects on Seedling Growth in Relation to Humic Acid Application”, Improved Crop Quality by Nutrient Management, Anaç, D.; Martin-Prevel, P. Editors.; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London pp. 229.
- Dursun, A., Güvenc, I., Turan, M. (2002). Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanica*, 56, 81-88.
- El-Desuki, M. (2004). Response of onion plants to humic acid and mineral fertilizers application. *Annals of Agricultural Sciences*, Moshtohor, 42 (4), 1955-1964.
- El-Nemr, M. A., El-Desuki, M., El-Bassiony, A. M., Fawzy, Z. F. (2012). Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and bio-stimulators. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6 (3): 630-637.
- Fagbenro, J. A. and Agboda, A. A. (1993). Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 1465-1483.
- Fan, H. M., Wang, X. W., Sun, X., Li, Y. Y., Sun, X. Z., Zheng, C. S. (2014). Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 177, 118-123.
- Fuentes, M., Baigorri, R., González-Gaitano, G., and García-Mina, J. M. (2018). New methodology to assess the quantity and quality of humic substances in organic materials and commercial products for agriculture. *J. Soils Sediments* 18, 1389–1399. doi: 10.1007/s11368-016-1514-2
- Garcia, C., Hernandez, T., Costa, F., Ceccanti, B. and Dell’Amico, C. (1992). Characterization of the Organic Fractions of an Uncomposted and Composted Sewage Sludge by Isoelectric Focusing and Gel-filtration. *Biology and Fertility of Soils*, 13, 112-118.
- Ghabbour, E. A., Davies, G. (2001). Humic Substances: Structures, Models and Functions, *Royal Society of Chemistry*, England p. 21.
- Gollenbeek, L., and Van Der Weide, R. (2020). Prospects for Humic Acid Products From Digestate in the Netherlands. Report WPR-867, 5–40. doi: 10.18174/541280
- Hai, S. M. and Mir, S. (1998). The lignitic coal derived HA and the prospective utilization in Pakistan agriculture and industry. *Science, Technology and Development*, 17, 32-40.

- Hayes, M. H. B., and Swift, R. S. (2020). Vindication of humic substances as a key component of organic matter in soil and water. *Adv. Agron.* 163, 1–37. doi: 10.1016/bs.agron.2020.05.001
- Helal, A. A., Imam, D. M., Khalifa, S. M., Aly, H. F. (2006). Interaction of Pesticides with Humic Compounds and Their Metal Complexes, *Radiochemistry*, 48, 419.
- Jarošová, M., Klejdus, B., Kováčik, J., Babula, P., Hedbavny, J. (2016). Humic acid protects barley against salinity. *Acta Physiologiae Plantarum* 38(6), 161.
- Kalyoncu, O., Akinci, Ş. and Bozkurt, E. (2017). The effects of humic acid on growth and ion uptake of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) grown under salt stress. *African Journal of Agricultural Research*, 12 (49): 3447-3460
- Kerndorff, H., Schnitzer, M. (1980). Sorption of Metals on Humic Acid, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1701.
- Khaled, H., and Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6, 21-29.
- Kulikova, N. A., Stepanova, E. V., and Koroleva, O. V. (2005). Mitigating activity of humic substances direct influence on biota, Use of humic substances to remediate polluted environments: From theory to practice, Perminova, I.V.; Hatfield, K. and Hertkorn, N.; Springer, Netherlands, pp. 285-310.
- Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, 4th. Edition, Springer, New York, 7.
- Laskosky, J. D., Mante, A. A., Zvomuya, F., Amarakoon, I., and Leskiw, L. (2020). A bioassay of long-term stockpiled salvaged soil amended with biochar, peat, and humalite. *Agrosyst. Geosci. Environ.* 3, e20068. doi: 10.1002/agg2.20068
- Maji, D., Misra, P., Singh, S., and Kalra, A. (2017). Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Appl. Soil Ecol.* 110, 97–108. doi: 10.1016/j.apsoil.2016.10.008
- Nardi, S., Ertani, A., and Francioso, O. (2017). Soil-root cross-talking: the role of humic substances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 180, 5–13. doi: 10.1002/jpln.201600348
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1527–1536. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00174-8

- Nardi, S., Schiavon, M., and Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26, 2256. doi: 10.3390/molecules26082256
- Neri, D., Lodolini, E.M., Savini, G., Sabbatini, P., Bonanomi, G.ve Zucchini, F. (2002). Foliar application of humic acid on strawberry (cv. Onda). *Acta Horticulturae*, 594, 297-302.
- Olaetxea, M., Mora, V., Baigorri, R., Zamarreño, A. M., and García-Mina, J. M. (2020). The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. *Molecules*, 26, 7–10. doi: 10.3390/molecules26010003
- Olivas, J. (2010). Where Does Humic Acid Come From? - prepared by Mesa Verde Resources, based on an article in BioScientific authored by John Olivas.
- Padem, H. and Öcal, A. (1999). Effect of humic acid applications on yield and some characteristics of processing tomato. *Acta Horticulturae*, 487, 159-163.
- Padem, H., Ocal, A. ve Alan, R. (1997). Effect of humic acid added foliar fertilizer on seedling quality and nutrient content of eggplant and pepper. ISHS Symposium on Greenhouse Management for Better Yields and Quality in Mild Winter Climates, 3-5 November 1997. *Acta Horticulturae*, 491, 241-246.
- Paksoy, M, Turkmen, O, Dursun, A (2010). Effects of potassium and humic acid on emergence, growth and nutrient contents of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedling under saline soil conditions. *Afr J Biotechnol* 9(33): 5343-5346.
- Pessarakli, M. (1999). *Handbook of Plant and Crop Stress*, Second Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, USA 51.
- Pılanalı, N., Kaplan, M. (2003). Investigation of effect on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition* 26(4): 835-843.
- Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S. (2004). Effect of Low Molecular Size Humic Substances on Nitrate Uptake and Expression of Genes Involved in Nitrate Transport in Maize (*Zea mays* L.), *Journal of Experimental Botany*, 55, 803.
- Rady, M. M, Abd El-Mageed, T.A., Abdurrahman H.A., Mahdi, A. H. (2016). Humic acid application improves field performance of cotton (*Gossypium barbadense* L.) under saline conditions. *J Anim Plant Sci* 26(2): 487493.
- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., and Cavanaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Adv. Agron.* 124, 37–89. doi: 10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4

- Saha, R., Saieed, M. A. U., Chowdhury, M. A. K., Chowdhury and M. A. H. (2014). Influence of humic acid and poultry manure on nutrient content and their uptake by T. aman rice. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 12(1), 19-24.
- Salman, S. R., Abou-hussein, S. D., Abdel-Mawgoud A. M. R., El-Nemr, M. A. (2005). Fruit Yield and Quality of Watermelon as Affected by Hybrids and Humic Acid Application, *Journal of Applied Sciences Research*, 1: 51.
- Shah, Z. H., Rehman, H. M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B. T., Mujtaba, T., et al. (2018). Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants. *Front. Plant Sci.* 9, 263. doi: 10.3389/fpls.2018.00263
- Sharif, M., Khattak, R. A., and Sarir, M. S. (2002). Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33, 3567-3580.
- Shen, J., Guo, M. J., Wang, Y. G., Yuan, X. Y., Wen, Y. Y., et al. (2020). Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signal Behav* 15: 177421.
- Sible, C. N., Seebauer, J. R., and Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: a categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11, 1297. doi: 10.3390/agronomy11071297
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons, New York.
- Tan, X.W., Ikeda, H., and Oda, M. (2000). Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Sci. Hortic.* 84, 265–273. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00107-7
- Tipping, E. (2002). *Cation binding by humic substances*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Tiwari, J., Ramanathan, A., Baudh, K., Korstad, J. (2023). Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems-a review. *Pedosphere* 2023, 33, 237–249
- Turan, M., Aydin, A. (2005). Effects of different salt sources on growth, inorganic ions and proline accumulation in corn (*Zea mays* L.). *European Journal of Horticultural Science* 70: 149-155.
- Tursun, T., Akıncı, S., Bozkurt, E. (2019). Determination of the Effect of Humic Acid on Growth and Development Parameters of Parsley (*Petroselinum sativum* Hoffm.) Grown in Boron Soil. *Notulae Botanicae Horti Agrobotici Cluj-Napoca*, 47(1): 183-193.
- van Tol de Castro, T. A., Berbara, R. L. L., Tavares, O. C. H., Mello, D. F., da, G., and Pereira, E. G. (2021). Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement

- in rice plants. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 171–184. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.02.043
- Wu, S., Li, R., Peng, S., Liu, Q., and Zhu, X. (2017). Effect of humic acid on transformation of soil heavy metals. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 207, 012089. doi: 10.1088/1757-899X/207/1/012089
- Yang, F., Tang, C., and Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chem. Soc. Rev.* 50, 6221–6239. doi: 10.1039/D0CS01363C
- Yılmaz, C. (2007). Hümik ve fülvik asit, Hasad Bitkisel Üretim, Ocak, 260: 74.

SU KALİTESİ ÇALIŞMALARINDA VATANDAŞ BİLİMİNİN KULLANIMI

Deniz Mercan¹

“Vatandaş katılımı, vatandaşın gücüdür.” ARNSTEİN (1969)

1. GİRİŞ

Doğadaki büyük ölçekli ilişkileri incelemek, yıllar hatta on yıllar boyunca çeşitli konumlarda ve yaşam alanlarında muazzam miktarda verinin toplanmasını gerektirir. Bu tür verileri elde etmenin bir yolu, halkı bilimsel bilgi toplamaya dahil eden bir araştırma tekniği olan **vatandaş bilimi**dir (Bhattacharjee, 2005). *Vatandaş bilimi (Citizen Science)*, yeni bilimsel bilginin üretilmesinde genel halkın (yani bilim insanı olmayanların) katılımını ifade etmektedir. Vatandaş bilimi tamamen yeni bir kavram değildir, ancak doğa bilimleri araştırmalarında giderek daha popüler hale gelmektedir (Silvertown, 2009). Daha geniş anlamda, bilime kamu katılımı aynı zamanda vatandaş bilimi (Kruger ve Shannon, 2000), toplum bilimi (Carr, 2004) ve daha yakın zamanda bilimsel araştırmalara kamu katılımı (Shirk ve diğerleri, 2012) olarak da anılmıştır. Vatandaş bilimini, bilimsel araştırmalarda daha az işbirlikçi kamu katılımı biçimlerinden ayıran şey, “aktif” katılım ögesidir (Wiggins ve Crowston, 2011); bu, bilim insanı olmayanların yeni bilimsel bilginin üretilmesine farklı derecelerde aktif olarak dahil edildiği ve bundan hem içsel olarak (örneğin artan bilimsel okuryazarlık) hem de dışsal olarak (örneğin artan sosyal sermaye) aktif olarak faydalandıkları bir yaklaşımdır. Topluluk temelli veri toplamadan, katkı talep etmeye, internet kullanımı yoluyla büyük insan gruplarının yardımıyla çeşitli bilimsel görevleri yürütmeye kadar çok çeşitli yaklaşımlar mevcuttur (Buytaert ve diğerleri, 2014).

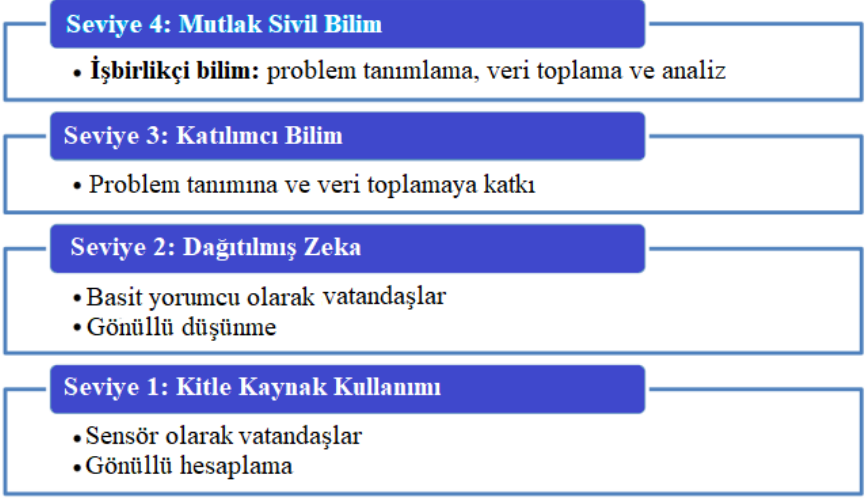
İki yüzyıl önce, neredeyse tüm bilim insanları geçimini başka bir meslekle sağlıyordu. Benjamin Franklin (1706–1790) bir matbaacı, diplomat ve politikacıydı; Charles Darwin (1809–1888) profesyonel bir doğa bilimci olarak değil, Kaptan Robert FitzRoy’un bir arkadaşı olarak Beagle’da yelken açtı. Bilimin ücretli bir meslek olarak yükselişi nispeten yeni bir olgudur ve 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. Ancak, vatandaş

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, dkara@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5526-8501

bilim insanları asla ortadan kalkmamıştır, özellikle gözlem becerisinin pahalı ekipmandan daha önemli olabildiği arkeoloji, astronomi ve doğa tarihi gibi bilimlerde. Günümüzde, çoğu vatandaş bilim insanı, gönüllülerin kendilerinin eğitimsel faydası veya projenin yararı için amatörler bir rol vermek üzere özel olarak tasarlanmış veya uyarlanmış projelerde profesyonel meslektaşlarıyla birlikte çalışmaktadır (Silwerton, 2009).

2. VATANDAŞ BİLİMİNİN TARİHİ

Vatandaş bilimi, bilimsel araştırma sürecinin bilimsel verilerin toplanması, kategorize edilmesi, yazıya geçirilmesi veya analiz edilmesi gibi farklı aşamalarına halkın katılımı olarak da tanımlanmaktadır (Bonney ve diğerleri, 2009). Vatandaş biliminin ilk örneklerine bakacak olursak Çin’de MÖ 10. yüzyılda yapılan doğa gözlem kayıtlarına ve Japonya’da 9. yüzyılda tutulan Sakura kayıtlarına kadar uzanmaktadır (Us, 2020). 1880’li yıllarda deniz feneri bekçilerinin kuş çarpmalarıyla ilgili veri toplamaya başlamaları, Ulusal Hava Durumu Servisi Kooperatif Gözlemci Programının 1890’da başlaması ve 1900’de Ulusal Audubon Topluluğu’nun yıllık Noel Kuş Sayımı çalışmaları halkın katılımı ile bilimsel araştırmalara katkılarını yani vatandaş bilimine ilk örnekler olarak gösterilmektedir (Droege, 2007; Bonney ve diğerleri, 2009). Bu kuş araştırmaları, şu anda on binlerce katılımcının katıldığı ve dünya genelinde meta verilerle birlikte 63 milyondan fazla kuş kaydı toplayan en büyük ve en uzun süredir devam eden başarılı vatandaş bilimi girişimleridir (Silwerton, 2009; Njue ve diğerleri, 2019). İngiltere’de, İngiliz Ornitoloji Vakfı, amatör kuş gözlemcilerinin çabalarını bilim ve doğa koruma yararına kullanma amacıyla 1932’de kurulmuştur. Bu veriler artık çoğunluğu amatör doğa bilimciler tarafından toplanan 27.000’den fazla Birleşik Krallık hayvan ve bitki türüne ait 31 milyondan fazla kayıt içeren Ulusal Biyoçeşitlilik Ağı’nın tuttuğu veritabanına katkıda bulunmaktadır. Benzer planlar, vatandaş bilim insanlarının biyolojik kayıtların temelini oluşturduğu birçok başka ülkede de mevcuttur (Silwerton, 2009). O zamandan beri, vatandaş biliminin uygulanması ölçek, boyut, kapsam, neyin izlendiği, sıklık, katılım düzeyi ve izleme maliyetleri açısından büyük ölçüde değişiklik göstererek disiplinler arasında büyümüştür (Danielsen ve diğerleri, 2005). Haklay (2013), vatandaş bilimi projelerine katılım merdivenini dört düzeyde tanımlamıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Vatandaş Bilimi projelerinde katılım ve etkileşim düzeyleri (Kocaman ve diğerleri, 2013'den uyarlanmıştır)

Vatandaş bilim insanları artık iklim değişikliği, istilacı türler, koruma biyolojisi, ekolojik restorasyon, su kalitesi izleme, populasyon ekolojisi ve her türlü izleme üzerine projelere katılmaktadırlar. Bu büyük aktivite patlamasından bazı faktörler etkili gibi görünmektedir. İlk olarak, projeler hakkında bilgi yaymak ve halktan veri toplamak için kolayca erişilebilen teknik araçların varlığı gösterilebilir. Elbette bu faktörde, internet en önemli gelişmedir, ancak mobil bilgi işlem de büyük bir rol oynamaktadır. Vatandaş biliminin büyümesini yönlendiren bir diğer faktör, profesyonel bilim insanları arasında, halkın ücretsiz bir emek, beceri, hesaplama gücü ve hatta finans kaynağı olduğu gerçeğinin giderek daha fazla farkına varılmasıdır (Silwerton, 2009).

3. SU KALİTESİ İZLEMESİNDE VATANDAŞ BİLİMİNİN YERİ

Vatandaş Bilimi, profesyonel olarak bilimle uğraşmayan insanların da bilimsel araştırma süreçlerinin farklı safhalarında yer alabileceğini savunan ve bu sayede klasik araştırmadan farklı olarak; araştırma maliyetlerinin azaltılması, büyük ölçekli araştırmaların hızlıca gerçekleştirilmesi, toplum ve bilim arasındaki iletişim boşluğunun kapatılması, bilimsel okur-yazarlığın yükseltilmesi ve bireylerin kendini gerçekleştirme hedeflerine ulaşmasının sağlanması gibi faydaların ortaya çıkmasını hedefleyen, daha paylaşımcı bir araştırma şeklidir.

Vatandaş biliminin su miktarı ve kalitesi çalışmalarındaki etkisinin literatürün bir parçası haline gelmesi son on yıl içinde olsa da (Njue ve diğerleri, 2019), su kalitesi araştırmalarına kamu katılımı çok daha eskidir,

bu durum özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde karşımıza çıkmaktadır (Hoyer ve Canfield, 2021). Örneğin, Izaak Walton Birliği (1922), nehirlerini korumak için kendilerini örgütleyen ve Mississippi Nehri'nin su kalitesi değerlendirmesini başlatan balıkçılar tarafından kurulmuştur (Kinchy ve diğerleri, 2014). Amerika Birleşik Devletleri'nde 1972'de çıkarılan federal bir politika olan Temiz Su Yasası, su kirliliğine ilişkin karar alma sürecinde genel halk tarafından toplanan verilerin dikkate alınmasını teşvik etmiştir (Field-Juma ve Roberts-Lawler, 2021). Mevcut su kalitesi izleme ağlarının çoğu, gerçek su kirliliği sorunları nedeniyle vatandaşlar ve sivil toplum kuruluşları tarafından kurulmuştur. Bazı bölgelerde, çalışmalar ötrofikasyonun etkilerini ele almaktadır. Örneğin, Çin'deki Huangpu Nehri'nde 400 gönüllü üç yıl boyunca veri toplamış (Zhang ve diğerleri, 2017) ve Brezilya'daki 80 dere ve nehir 600 katılımcı tarafından izlenmiştir (Cunha ve diğerleri, 2017a, b). Daha yakın zamanda, çalışmalar, tatlı su ortamlarında makro ve mikropplastikleri gözlemleyerek plastik kirliliğinin izlenmesi için vatandaş bilimi yaklaşımlarını araştırmaktadır (Rech ve diğerleri, 2015; Forrest ve diğerleri, 2019; van Emmerik ve diğerleri, 2020; Cook ve diğerleri, 2021). Bu çalışmalarda toplanan verilerin, toplumun güçlendirilmesi, çevresel farkındalığın ve korumanın artırılması ve kirlilik noktalarına ilişkin bilimsel kanıt sağlanması açısından değeri yadsınamaz (Mccauley, 2017; Ramírez ve diğerleri, 2023).

Dünyanın dört bir yanındaki gönüllülerin, yerel su kaynaklarının sağlığını değerlendirmek için veri topladığı bir program olan FreshWater Watch; gönüllülerin katılımını teşvik eden bir vatandaş bilimi programıdır. Program, küresel ölçekte su kalitesi verilerinin toplanmasına katkıda bulunurken, toplulukların çevresel farkındalığını artırmayı ve karar alma süreçlerinde daha etkin bir rol üstlenmelerini sağlamayı amaçlamaktadır. FreshWater Watch, Brezilya'da Amazon yağmur ormanlarının su yollarında nitrat ve fosfat seviyelerini izlemek için topluluklarla birlikte çalışmış, İngiltere'de gönüllüler, yerel nehirlerdeki kirlilik kaynaklarını tespit ederek bölgesel yönetimlere çözüm önerileri sunmuş, Hindistan'da nehirlerdeki kirliliğin azaltılması için yerel halkı eğitmiş ve katılımlarını artırmıştır. FreshWater Watch, vatandaş biliminin başarılı bir örneği olarak, su kaynaklarının korunmasında bilim insanları, politikacılar ve yerel topluluklar arasında bir köprü kurmayı başarmıştır. Bu program, çevresel sürdürülebilirlik ve toplum katılımı açısından önemli bir model sunmaktadır (<https://www.freshwaterwatch.org/>).

Vatandaş bilimi aynı zamanda suyla ilgili sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için gereken izleme standartlarına erişmek için bir fırsat olarak kabul edilmektedir (Hegarty ve diğerleri, 2021). Vatandaş bilimi ayrıca bilimsel okuryazarlığı artırabilir, çevresel farkındalığa katkı sağlayabilir ve çevre koruma için toplumsal kapasite oluşturabilir (Bishop ve

diğerleri, 2020). Su kalitesi açısından, 2018'deki Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 6.3.2 göstergesi (iyi ortam suyu kalitesine sahip su kütlelerinin oranı) ile ilgili son veriler yaklaşık 30 ülkeden elde edilerek değerlendirilmiştir. Bu ülkeler de çoğunlukla gelişmiş ülkelerdir. Daha az gelişmiş ülkeler veri toplamak, analiz etmek ve paylaşmak için insan ve finansal kaynak eksikliği yaşadığını bildirmiştir (UN Water, 2018). Oysaki 6.3.2. göstergesi tatlı suların kalitesini çözülmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, pH, ortofosfat gibi kolayca ölçülebilir temel parametrelerle tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Su kalitesinin uygun şekilde ölçülmesi genellikle yönetsel olarak karmaşık su kalitesi sorunlarını ele almanın başlangıç noktasıdır (Kirschke ve diğerleri, 2017). Bu nedenle, su kalitesi verilerindeki mevcut boşluk, hükümetlerin kendi bölgelerindeki tatlı suları incelemek için temel bir zorluk olarak kabul edilmektedir (UN Water, 2018; UNEP, 2016). Bu veri açığını etkili bir şekilde ele almak için araştırmacılar ve uygulayıcılar, vatandaşlar tarafından toplanan veriler gibi geleneksel olmayan veri kaynaklarının su kalitesi izlemesine entegre edilmesini talep etmektedir (Conrad ve Hilchey, 2011; Lowry ve diğerleri, 2013; Buytaert ve diğerleri, 2014; Quinlivan ve diğerleri, 2020). Buradaki fikir, vatandaşların zamansal ve mekansal veri kullanılabilirliğini artırma konusunda muazzam bir potansiyele sahip olması ve bu nedenle uluslararası toplumun karşı karşıya olduğu veri açığını kapatabilmesidir (Buytaert ve diğerleri, 2014; Hulbert, 2016; Ballard ve diğerleri, 2017; Assumpção ve diğerleri, 2018).

Capdevila ve diğerleri (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, su kalitesi izleme çalışmalarında vatandaş bilimi projelerinin başarı faktörlerini belirlemek amacıyla Google Scholar, Scopus ve Web of Science bilimsel platformları kullanılarak 1999-2019 yıllarını kapsayacak şekilde literatür taraması yapılmıştır. İlgili literatürü belirlemek için, genel olarak “water” gibi anahtar kelimelerle başlanarak, ardından “water quality” ve “water monitoring” gibi süreç tabanlı terimlerle devam edilmiş ve belirli su tipi terimleriyle sonlandırılmıştır. Ayrıca, belirtilen anahtar kelimeler hem “citizen science” terimiyle hem de yakından ilişkili olan “community based monitoring” terimiyle birleştirilerek taranmış. Çalışma sonucunda, suyla ilgili anahtar kelimelerin “Community-based monitoring” terimiyle birleştirilmesinin “Citizen science” terimiyle birleştirilmesinden on kat daha fazla sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. *Google Scholar, Scopus ve Web of Science platformlarında anahtar kelime aramasının çıktısı (Capdevila ve diğerleri, 2020'den uyarlanmıştır).*

Anahtar Kelimeler		Sayı		
İlk Yapı	İkinci Yapı	Google scholar (yuvarlanmış)	Scopus	Web of Science
Citizen science	Water	409000	714	498
	Water quality	145000	219	176
	Water monitoring	81500	222	176
	Surface waters	25500	83	61
	Groundwater	19400	42	29
	Aquifer	16700	12	10
Community-based monitoring	Water	332000	25181	24972
	Water quality	571000	5208	5034
	Water monitoring	592000	3554	3060
	Surface waters	14800	3948	4405
	Groundwater	166000	1642	1563
	Aquifer	49500	530	647
Volunteers	Water + science	68000	495	341
Citizen engagement	Water + science	88900	54	47
Crowdsourcing	Water + science	16300	23	16

Vatandaş bilimiyle ilgili tatlı su kalitesi izleme çalışmaları, esas olarak Hedef 6: Temiz Su ve Sanitasyon olan BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG) katkıda bulunabilir. SDG 6.3.2'ye göre, "İyi ortam suyu kalitesine sahip su kütlelerinin oranı", tatlı sular için beş temel parametre oksijen, tuzluluk, azot, fosfor ve asitlenme olarak belirlenmiştir. Bu temel parametreler, vatandaş bilimi yoluyla ucuz ve basit saha teknikleriyle ölçülebilir (UN Water, 2018). Ek olarak, SDG Hedef 4: Kaliteli Eğitim (Hedef 4.7: Sürdürülebilir kalkınma küresel vatandaşlığı için eğitim) vatandaşları (örneğin, bağlamımızdaki öğrencileri) doğayla etkileşime sokarak ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için bilgi ve becerileri artırarak ele alınabilir (Queiruga-Dios ve diğerleri, 2020). Son araştırma çalışmaları, vatandaşların saha verilerini toplamasını sağlayan açık ve serbestçe erişilebilen teknolojilere dayanan çevrimiçi eğitim materyalleri geliştirmeye odaklanmaktadır (Anbaroglu ve diğerleri, 2020). Dahası, vatandaş bilimi tabanlı su kalitesi izleme projeleri, iç tatlı su ekosistemlerinin ve hizmetlerinin sürdürülebilir kullanımını teşvik ederek Hedef 15: Karada Yaşam'a katkıda bulunabilir (Fraisl ve diğerleri, 2020). Literatürde nehirlerdeki su kalitesinin, yağmur suyunun, akarsuyun kalitesinin, tarımsal kirliliğin, kanalizasyon taşmalarının, zararlı fitoplankton patlamalarının veya göllerin

ötrofikasyonunun izlenmesi gibi vatandaş bilimi temelli birkaç su kalitesi izleme çalışması bulunmaktadır (Cunha ve diğerleri, 2017; Farnham ve diğerleri, 2017; Schupe, 2017; Scott ve Frost, 2017; Zhang ve diğerleri, 2017; Abbott ve diğerleri, 2018; Tornhill ve diğerleri 2019; Quinlivan ve diğerleri, 2020). Bu çalışmalar, çeşitli su kalitesi parametrelerinin vatandaş bilimi yaklaşımıyla başarılı bir şekilde izlenebileceğini ve sonuçların vatandaş bilimi uygulamalarını yaymak için oldukça ümit verici olduğunu göstermiştir. Türkiye’de vatandaş bilimi temelli çalışmalar çok sınırlıdır ve bilinen kadarıyla su kalitesi izlemeyle ilgili tek bir çalışma mevcuttur. Kendir Çakmak ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada; Türkiye’deki Trabzon ilinde yer alan Uzungöl için vatandaş bilimi tabanlı bir yaklaşımla su kalitesi izlemesi gerçekleştirilmiştir (Kendir Çakmak ve diğerleri, 2021). Çalışma kapsamında, gönüllüler (ilkokul öğrencileri) göl suyu örnekleme ve sıcaklık, pH, nitrat ve fosfat dahil olmak üzere su kalitesi parametrelerinin analizi için seçilerek eğitim verilmiştir. Örnekler gönüllüler tarafından periyodik olarak toplanmış ve çalışma kapsamında geliştirilen bir mobil uygulama aracılığıyla toplanarak saklanmıştır. Çalışma birçok açıdan başarıya ulaşmıştır. Özellikle çalışmada gönüllü olarak yer alan ilkokul öğrencilerine yönelik oldukça teşvik edici (ileride bilim insanı olmak gibi) motivasyonlar sağladığı değerlendirilmiştir. Ayrıca, katılımcı vatandaş bilimi projelerinin çocukların öz güvenini geliştirebileceği ve çevreyle etkileşim, sorumluluk ve doğa ve diğer şeyler için empati sağlayabileceği de vurgulanmıştır. Proje gönüllü motivasyonu ve mobil uygulama geliştirme açısından başarılı olsa da bunlarla beraber çalışmada bazı sınırlamalar olduğu da rapor edilmiştir. Çalışma sırasında, sediment taraması ve kötü hava koşulları (yağmur veya kar yağışı nedeniyle izleme yapılamaması) gibi bazı dış faktörlerle karşılaşmış ve bu sınırlamalar hem verilerin kalitesini hem de miktarını olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir. Bir diğer sınırlamanın ise gönüllü grubunun büyüklüğü olarak gözlemlendiği ifade edilmiştir. Çalışmanın başlangıcında farklı yaş gruplarından gönüllülerle çalışılmak istenmiş, ancak çeşitli sosyal faktörler ve gönüllülük ilkesi nedeniyle yalnızca küçük bir ilkokul öğrencisi grubuyla çalışılması uygun görülmüş. Bu sınırlamaların daha ileriki çalışmalarda başarılı şekilde giderilerek daha etkin ve verimli çalışmalarla vatandaş bilimine büyük katkı sağlayacağı ifade edilmiştir (Kendir Çakmak ve diğerleri, 2021).

4. SONUÇ

Ekstrem durumların sayısı iklim değişikliği ve insan nüfusunun artışıyla birlikte artmaktadır. Ayrıca, günümüzde neredeyse tüm olaylar bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin yardımıyla kaydedilmektedir. Kayıtlara göre, afetlerin sayısı ve şiddeti 1980’lerden günümüze artmaktadır. Cutter ve diğerleri (2015) çalışmalarında jeofizik, hidro-meteorolo-

jik ve iklimsel olaylardan kaynaklanan yıllık küresel ekonomik kayıpların 2005'deki seviyelerinden 2030'a kadar iki katına çıkabileceğini ve 300 milyar ABD dolarını aşabileceğini belirtmiştir. İklim değişikliği, küreselleşme, teknolojik değişim, kentleşme ve politik ve ekonomik istikrarsızlık daha fazla can ve varlığı riske atmaktadır (Cutter ve diğerleri, 2015). Sürdürülebilir toplumlar için, iyileştirilmiş afet riski yönetimi ve dayanıklılık hem yerel hem de küresel düzeyde önemli bir odak noktasıdır. Birleşmiş Milletler (BM), 25 Eylül 2015'te Zirve'de yoksulluğu sona erdirmek, gezegeni korumak ve herkes için refahı sağlamak amacıyla 2030 hedefleri olarak da bilinen 17 Hedef kabul etmiştir (BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, 2018). Her hedefin 2030 yılına kadar ulaşılması gereken belirli hedefleri vardır. Bu yeni hedeflerle, tüm ülkeler, hiç kimsenin geride kalmamasını sağlayarak, her türlü yoksulluğu sona erdirmek, eşitsizliklerle mücadele etmek ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için çabaları harekete geçirecektir. Çevresel izleme, yaban hayatı izleme, eğitim, kentsel veri toplama vb. alanlarda yürütülen vatandaş bilimi projelerinin sayısı son on yıllarda hızla artmıştır. Bu projeler özellikle 2030 Hedeflerine, özellikle de Kaliteli Eğitim, Temiz Su ve Sanitasyon, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, İklim Eylemi, Su Altındaki Yaşam ve Karada Yaşam'a hizmet etmektedir. Açık bilim, açık veriler ve birçok ülkede açık hükümet verilerini desteklemeye yönelik hükümet politikaları ve yasalarındaki değişiklikler, vatandaş bilimi projelerinde kamu farkındalığını artırmaya ve 2030 Hedeflerine ulaşmaya yardımcı olabilecektir (Kocaman ve diğerleri, 2018).

KAYNAKÇA

- Abbott, B. W., Moatar, F., Gauthier, O., Fovet, O., Antoine, V. ve Ragueneau, O. (2018). Trends and seasonality of river nutrients in agricultural catchments: 18 years of weekly citizen science in France. *Science of the Total Environment*, 624, 845-858. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.176>.
- Anbaroglu, B., Coşkun, İ. B., Brovelli, M. A., Obukhov, T. ve Coetzee, S. (2020). Educational material development on mobile spatial data collection using open source geospatial technologies, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Journal of Spatial Information Science*, XLIII-B4-2020, 221–227. <https://doi.org/10.5194/isprs-archi-2020-221>.
- Assumpção, T.H., Popescu, I., Jonoski, A. ve Solomatine, D.P. (2018). Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 22, 1473-1489. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1473-2018>.
- Ballard, H.L., Dixon, C.G.H. ve Harris, E.M. (2017). Youth-focused citizen science: examining the role of environmental science learning and agency for conservation. *Biol. Conserv.*, 208, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.024>.
- Bhattacharjee, Y. (2005). Citizen scientists supplement work of Cornell researchers. *Science*, 308, 1402-1403.
- Bishop, I.J., Warner, S., Van Noordwijk, T.C.G.E., Nyoni, F.C. ve Loiselle, S. (2020). Citizen science monitoring for sustainable development goal indicator 6.3.2 in England and Zambia. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su122410271>.
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J. ve Wilderman, C.C. (2009). Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education. A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE), Washington, D.C.
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T.C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D.M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., Tilahun, S., Van Hecken, G. ve Zhumanova, M. (2014). Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, 2, 26. doi: 10.3389/feart.2014.00026.
- Capdevila, A.S.L., Kokimova, A., S Sinha Ray, S., Avellán, T., Kim, J. ve Kirschke, S. (2020). Success factors for citizen science projects in water quality monitoring. *Science of the Total Environment*, 728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137843>.

- Carr, A. (2004). Why do we all need community science? Soc. Nat. Res., 17, 841–849. doi: 10.1080/08941920490493846.
- Conrad, C.C. ve Hilchey, K.G. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. Environ. Monit. Assess., 176, 273-291. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>.
- Cook, S., Abolfathi, S. ve Gilbert, N.I. (2021). Goals and approaches in the use of citizen science for exploring plastic pollution in freshwater ecosystems: a review. Freshw. Sci., 40 (4), 567-579. <https://doi.org/10.1086/717227>.
- Cunha, D.G.F., Marques, J.F., De Resende, J.C., De Falco, P.B., De Souza, C.M. ve Loiselle, S.A. (2017b). Citizen science participation in research in the environmental sciences: key factors related to projects' success and longevity. An. Acad. Bras. Cienc., 3, 2229-2245. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160548>.
- Cunha, D.G.F., Casali, S. P., de Falco, P. B., Thornhill, I. ve Loiselle, S. A. (2017a). The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. Sci. Total Environ., 584–585, 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.080>.
- Cutter S.L., Ismail-Zadeh, A., Alcantara-Ayala, I., Altan, O., Baker, D.N., Briceño, S., Gupta, H., Holloway, A., Johnston, D., McBean G.A., Ogawa, Y., Paton, D., Porio, E., Silbereisen, R.K., Takeuchi, K., Valsecchi, G.B., Vogel, C. ve Wu, G. (2015). Global risks: Pool knowledge to stem losses from disasters. *Nature*, 522, 277–279. doi:10.1038/522277a.
- Danielsen, F., Burgess, N.D. ve Balmford, A. (2005). Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches. Biodivers. Conserv., 14, 2507-2542.
- Droege, S. (2007). Just Because You Paid Them Doesn't Mean Their Data Are Better. Pages 13–26 in McEver C, Bonney R, Dickinson J, Kelling S, Rosenberg K, Shirk J, eds. Citizen Science Toolkit Conference. Cornell Laboratory of Ornithology.
- Farnham, D.J., Gibson, R.A., Hsueh, D.Y., McGillis, W.R., Culligan, P.J., Zain, N. ve Buchanan, R. (2017). Citizen science-based water quality monitoring: Constructing a large database to characterize the impacts of combined sewer overflow in New York City. Science of the Total Environment, 580, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.116>.
- Field-Juma, A. ve Roberts-Lawler, N. (2021). Using partnerships and community science to protect wild and scenic rivers in the eastern United States. Sustainability, 13, 2102. <https://doi.org/10.3390/su13042102>.
- Forrest, S.A., Holman, L., Murphy, M. ve Vermaire, J.C. (2019). Citizen science sampling programs as a technique for monitoring microplastic pollution: results, lessons learned and recommendations for working with volunteers for monitoring plastic pollution in freshwater ecosystems. Environ. Monit. Assess., 191 (3). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7297-3>.

- Fraisl, D., Campbell, J., See, L., Wehn, U., Wardlaw, J., Golf, M., et al. (2020). Mapping citizen science contributions to the UN sustainable development goals. *Sustainability Science*, 15, 1735–2175. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00833-7>.
- Haklay, M. (2013). CitSci and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. In *Crowdsourcing geographic knowledge* (pp. 105–122). *Springer Netherlands*. doi:10.1007/978-94-007-4587-2_7.
- Hegarty, S., Hayes, A., Regan, F., Bishop, I. ve Clinton, R. (2021). Using citizen science to understand river water quality while filling data gaps to meet United Nations Sustainable Development Goal 6 objectives. *Sci. Total Environ.*, 783, 146953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146953>.
- Hoyer, M.V. ve Canfield, D.E. (2021). Volunteer-collected water quality data can be used for science and management. *Lake Reserv. Manag.*, <https://doi.org/10.1080/10402381.2021.1876190>.
- Hulbert, J.M. (2016). Citizen science tools available for ecological research in South Africa. *S. Afr. J. Sci.*, 112 (5–6), 1–2. <https://doi.org/10.17159/sajs.2016/a015>.
- <https://www.freshwaterwatch.org/> Erişim tarihi: 19 Aralık 2024.
- Kendir Çakmak, E., Uğurlu, A. ve Anbaroğlu, B. (2021). Adopting citizen science approach for water quality monitoring in Uzungöl, Turkey. *Environ Monit Assess*, 193, 604. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09395-2>.
- Kinchy, A., Jalbert, K. ve Lyons, J. (2014). What is volunteer water monitoring good for? Fracking and the plural logics of participatory science. *Political Power Soc. Theory*, 27, 259-289. <https://doi.org/10.1108/S0198-871920140000027017>.
- Kirschke, S., Newig, J., Völker, J. ve Borchardt, D. (2017). Does problem complexity matter for environmental policy delivery? How public authorities address problems of water governance. *J. Environ. Manag.*, 196, 1-7.
- Kocaman, S., Anbaroglu, B., Gokceoglu, C. ve Altan, O. (2018). A review on citizen science (CitSci) applications for disaster management. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Journal of Spatial Information Science*, 42, 301-306. <https://doi.org/10.5194/isprs-archi-3-XLII-3-W4-301-2018>.
- Kruger, L.E. ve Shannon, M.A. (2000). Getting to know ourselves and our places through participation in civic social assessment. *Soc. Nat. Resour.* 13, 461–478. doi: 10.1080/089419200403866.
- Lowry, C.S., Fienen, M.N., 2013. CrowdHydrology: crowdsourcing hydrologic data and engaging citizen scientists. *Groundwater*, 51, 151-156. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.00956.x>.
- Mccauley, J. (2017). We can help the people who can make a difference. *Sociol. Focus*, 50 (2), 125–137. <https://doi.org/10.1080/00380237.2017.1251748>.

- Njue, N., Kroese, J.S., Gräf, J., Jacobs, S.R., Weeser, B., Breuer, L. ve Rufino, M.C. (2019). Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: State of the art and future prospects. *Science of the Total Environment*, 693, 133531.
- Queiruga-Dios, M.Á., López-Iñesta, E., Diez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M.C. ve Vázquez Dorrio, J.B. (2020). Citizen science for scientific literacy and the attainment of sustainable development goals in formal education. *Sustainability*, 12, 4283. [https:// doi. org/ 10. 3390/ su121 04283](https://doi.org/10.3390/su12104283).
- Quinlivan, L., Chapman, D.V. ve Sullivan, T. (2020). Validating citizen science monitoring of ambient water quality for the United Nations sustainable development goals. *Sci. Total Environ.*, 699.
- Ramírez, S.B., van Meerveld, I. ve Seibert, J. (2023). Citizen science approaches for water quality measurements. *Science of the Total Environment*, 897, 165436.
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J.F., Rivadeneira, M.M., Kroeger Campodónico, C. ve Thiel, M. (2015). Sampling of riverine litter with citizen scientists-findings and recommendations. *Environ. Monit. Assess.*, [https:// doi.org/10.1007/s10661-015-4473-y](https://doi.org/10.1007/s10661-015-4473-y).
- Schupe, M.S. (2017). High resolution storm water quality assessment in the Vancouver, British Columbia Region:A citizen science study. *Science of the Total Environment*, 603–604, 745–749. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. scito tenv. 2017. 02. 195](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.195).
- Scott, A.B. ve Frost, P.C. (2017). Monitoring water quality in Toronto’s urban stormwater ponds: Assessing participation rates and data quality of water sampling by citizen scientists in the FreshWater Watch. *Science of the Total Environment*, 592, 738–744. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. scito tenv. 2017. 01. 201](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.201).
- Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B.V., Krasny, M.E. ve Bonney, R. (2012). Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecol. Soc.*, 17 (2). [https://doi. org/10.5751/ES-04705-170229](https://doi.org/10.5751/ES-04705-170229) Published Online: Jun 27, 2012 | Doi:10.5751/ES-04705-170229.
- Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends Ecol. Evol.*, 24, 467–471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>.
- Thornhill, I., Loiselle, S., Clymans, W. veVan Noordwijk, C.G.E. (2019). How citizen scientists can enrich freshwater science as contributors, collaborators, and co-creators. *Society of Freshwater Science*, 38, 231–235. [https:// doi. org/ 10. 1086/ 703378](https://doi.org/10.1086/703378).
- UN Water (2018). Progress on AmbientWater Quality. Piloting the Monitoring Methodology and Initial Findings for SDG Indicator 6.3.2. Online. [https:// www.unwater.org/publications/progress-on-ambient-water-quality-632/](https://www.unwater.org/publications/progress-on-ambient-water-quality-632/).

- UNEP (2016). A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. United Nations environment Programme, Nairobi, Kenya. 162pp. https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf.
- Us, H. (2020). Türkiye'deki Vatandaş Bilimine Dair Bir İnceleme. Ed: Turanlı, A., Aydınoglu, A.Um., Şahinol, M.: Türkiye'de STS: Bilim ve Teknoloji Çalışmalarına Giriş. İstanbul Teknik Üniversitesi, 177-188. ISBN: 978-975-561-516-5.
- van Emmerik, T., Seibert, J., Strobl, B., Etter, S., den Oudendammer, T., Rutten, M., bin Ab Razak, M.S. ve van Meerveld, I. (2020). Crowd-based observations of riverine macroplastic pollution. *Front. Earth Sci.*, 8 (August), 1-12. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00298>.
- Wiggins, A. ve Crowston, K. (2011). "From conservation to crowdsourcing: a typology of citizen science," in 2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2011) (Koloa, HI).
- Zhang, Y., Ma, R., Hu, M., Luo, J., Li, J. ve Liang, Q. (2017). Combining citizen science and land use data to identify drivers of eutrophication in the Huangpu River system. *Sci. Total Environ.*, 584–585, 651–664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.093>.
- Zhang, Y., Ma, R., Hu, M., Luo, J., Li, J. ve Liang, Q. (2017). Combining citizen science and land use data to identify drivers of eutrophication in the Huangpu River system. *Science of the Total Environment*, 584–585, 651–664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.093>.

EFFECTS OF ST. JOHN'S WORT (*HYPERICUM PERFORATUM*) ON DAILY FOOD CONSUMPTION, BODY WEIGHT, LEPTIN HORMONE AND BLOOD GLUCOSE LEVELS IN SYRIAN HAMSTERS

Bülent GÜNDÜZ¹, Emine İnci BALKAN²

1. INTRODUCTION

St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) is a medicinal plant with a rich phytochemical composition that has been used in traditional medicine for many years to treat a variety of conditions, including depression, wound healing and inflammation (Klemow et al., 2011; Barnes et al., 2001). The main bioactive components of *Hypericum perforatum* responsible for its therapeutic effects are hypericin, hyperforin and flavonoids (Nahrstedt and Butterweck, 2010; Shrivastava et al. 2015). These ingredients have been extensively studied for their antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective properties (Hostanska et al., 2003; Saddiqe et al., 2010). In recent years, the effects of St. John's Wort on metabolic processes have also been the focus of scientific research (Butterweck, 2003).

Studying the physiological and metabolic effects of St. John's Wort requires the use of animal models (Can et al., 2015). Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*), in particular, stand out as a preferred model organism for metabolism, obesity and endocrinology studies (Gattermann et al., 2008; Henderson et al., 2008). This photoperiodic species is frequently used in research due to its human-like regulation of lipid and glucose metabolism (Liu et al., 2021; Ma et al., 2024). However, the potential effects of St. John's Wort on food consumption, body weight, leptin hormone and blood glucose levels in hamsters have not yet been fully elucidated (Vandenbogaerde et al., 2000).

Leptin is a hormone secreted by adipocytes that plays a critical role in regulating energy balance and body weight (Friedman & Halaas, 1998; Considine et al., 1996). High leptin levels are generally associated with decreased energy intake and increased energy expenditure (Maffei et al.,

¹ Prof. Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale/Turkey, bgunduzbio@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0497-8287.

² Asst. Prof., Demiroglu Bilim University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Laboratory Techniques, Istanbul/Turkey, inci.balkan@demiroglu.bilim.edu.tr, Or- cid: 0000-0002-2708-2427.

1995; Harris, 2000). However, conditions such as leptin resistance can weaken the effects of this hormone, leading to obesity and metabolic disorders (Montague et al., 1997; Myers et al., 2010). On the other hand, blood glucose levels associated with obesity are an indicator of glucose metabolism, which is regulated by the action of insulin, and maintaining levels in homeostatic balance is essential for healthy metabolic functions (Güemes et al., 2016; Shulman, 2000).

Current literature suggests that St. John's Wort has hypoglycemic effects and may have certain regulatory roles on energy metabolism (Soumyanath et al., 2005; Wong et al., 2006). For example, some studies suggest that St. John's wort extracts may increase insulin sensitivity and support pancreatic function by reducing oxidative stress. However, these findings are generally obtained from different animal models or in vitro experiments. There is a lack of data on the effects in hamster species (Novelli et al., 2020).

This study aims to fill the gap in knowledge on this subject by investigating the effects of St. John's Wort on daily food consumption, body weight, leptin hormone and blood glucose levels in Syrian hamsters. In this context, the findings of the study are expected to provide a new perspective on the effects of St. John's Wort on metabolic processes and provide an important basis for exploring the potential role of phytotherapy in the management of metabolic diseases.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Preparation of the *H. perforatum* Extract

Dried flowers of *Hypericum perforatum* were obtained from a local herbalist in Çanakkale. The dried samples were physically ground using a grinder. A Soxhlet device was used to extract 50 g of powdered *H. perforatum* flowers in 400 mL of 70% ethanol over the course of eight hours. Ethanol was removed using an evaporator (40 °C). The extract was stored at +4 °C until use. *H. perforatum* extract solutions used in the study were prepared using physiological saline.

2.2. Animals and Housing

Male Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*) weighing about 120 g and 6–8 weeks of age were used. Four groups of twenty four male hamsters, each consisting of six hamsters, were randomly assigned. The animals were obtained from the Hamster and Gerbil unit of the Çanakkale Onsekiz Mart University Research and Application Center for Experimen-

tal Animals (COMUDAM). During the 21-day experimental period, the laboratory temperature was maintained at approximately 22 ± 2 °C. The hamsters were housed individually in polycarbonate cages (16 x 31 x 42 cm). The photoperiod was set at 16 hours of light and 8 hours of darkness (lights off at 20:00 h). Cool-white fluorescent tubes were used for lighting, which were controlled by automatic programmable timers, and the minimum light intensity was at least 200 lux. Food pellets and tap water were provided ad libitum. All methods were conducted with the approval of the Çanakkale Onsekiz Mart University Animal Ethics Committee (Approval number: 2019/10-09).

2.3. Experimental Design

The research was carried out in four groups. Only physiological saline was administered to the first group (n=6), which served as the control group. In the experimental groups, *H. perforatum* extract dissolved in physiological saline (50 mg/kg, 100 mg/kg, 200 mg/kg) was administered intraperitoneally. Injections were given at the same time (12:00-13:00 h) each day during the 21-day experimental period.

2.4. Measurement of Food Intake and Body Weight

Weighed amounts of food pellets were put in the cages to measure the amount of food consumed. The food scraps and leftovers in the cages were weighed after a day. Possible food pieces were also considered into the consumption calculation because these animals have a tendency to keep food in their mouth. The amount of food consumed each day was assessed, and the average consumption for 21 days was noted. Weekly changes in body weight were recorded.

2.5. Measurement of Serum Hormone Levels and Blood Glucose Levels

At the end of the 21-day period, blood samples were collected from each group at midday (12:00 h). Six hamsters from each group were decapitated at 12:00 h for sample collection. Approximately 5 mL of blood was taken for the measurement of leptin levels. The blood samples were centrifuged at 4000 rpm for 30 minutes (Cence L-500), and the serum was stored at -20°C until analysis. Hormone was measured using commercial ELISA kits (BioAssay-Technology Laboratory Rat Leptin E051Ra) following the manufacturer's instructions. Optical densities were determined at 450 nm using an ELISA microplate reader (Thermo Scientific Multiskan

FC Microplate Reader USA). Blood glucose levels were measured at the time of decapitation (Optima Blood Glucose Meter).

2.6. Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using SPSS 22.0 and Sigma Plot 14.0. One-way ANOVA was used to analyze hormone levels, followed by Duncan's multiple range test. t-tests were used to determine whether there were differences in means within or between groups. At $p < 0.05$, values were considered statistically significant. The data is presented as mean $\pm$ SEM.

3. RESULTS

3.1. Food Intake

Figure 1 shows the effects of *Hypericum perforatum* extract injections on daily food consumption in Syrian hamsters. There was no difference in the food consumption of either the control group or the St. John's Wort groups at different doses. Although there were increases and decreases at some times during the experiment, there was no statistically significant difference as a result.

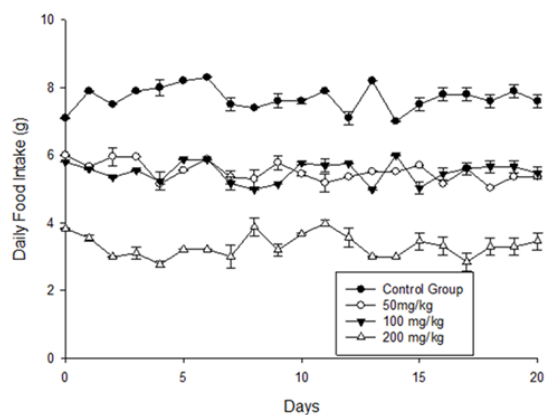


Figure 1. Effects of *H. perforatum* extract injections on food intake in ad libitum-fed adult male Syrian hamsters. Values are expressed as mean $\pm$ SE. Daily average values are presented every five days. Evaluations were made within groups.

3.2. Body Weights

Figure 2 shows the changes in body weight of hamsters. There was no statistical difference within or between groups during the experiment.

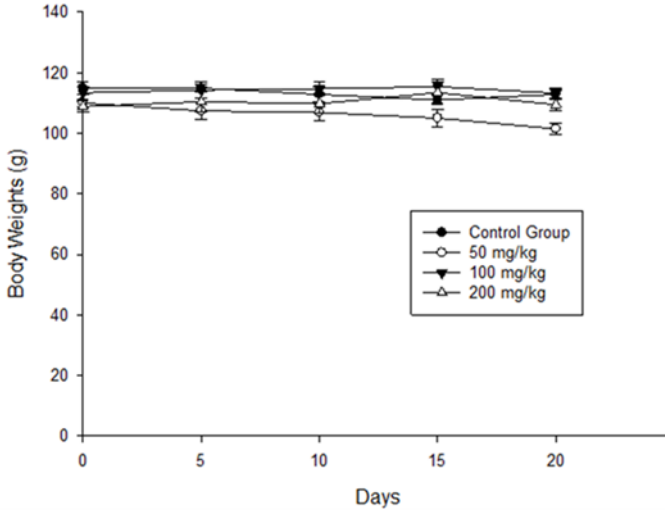


Figure 2. Effects of *H. perforatum* extract injections on body weight of adult male Syrian hamsters. Values are expressed as means $\pm$ SE. Daily mean values are given every five days. Only the last week was statistically compared.

3.3. Serum Leptin Levels

Figure 3 shows the effects of *H. perforatum* extracts on leptin hormone. Compared to the control group, a significant decrease in serum leptin levels was observed in all experimental groups ($p < 0.05$). This decrease was much more pronounced in the 100 and 200 mg/kg groups. These results suggest that *H. perforatum* at high doses may inhibit leptin energy balance regulation.

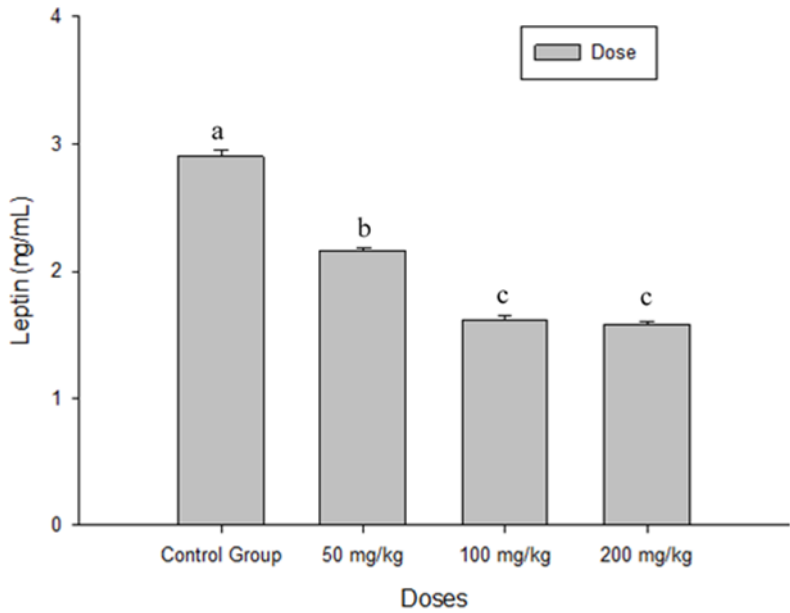


Figure 3. Effect of *H. perforatum* extracts on leptin levels in adult male Syrian hamsters. Values are expressed as mean $\pm$ SE. Different letters indicate statistical differences ($p<0.05$).

3.4. Blood Glucose Levels

Figure 4 shows the effect of *Hypericum perforatum* application on blood glucose levels. Compared to the control group, a significant increase in blood glucose levels was observed in all experimental groups ($p<0.05$). This effect suggests that *H. perforatum* may alter insulin sensitivity and affect glucose metabolism.

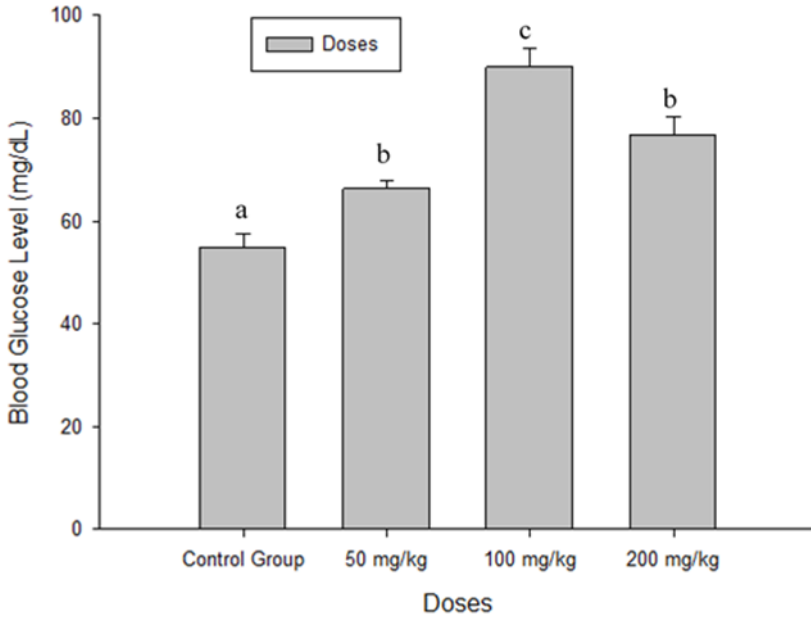


Figure 4. Effect of *H. perforatum* extracts on blood glucose levels in adult male Syrian hamsters. Values are expressed as mean $\pm$ SE. Different letters indicate statistical differences ($p < 0.05$).

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study is one of the first to investigate the effects of *Hypericum perforatum* (commonly known as St. John's Wort) on metabolic parameters in Syrian hamsters. The fact that *H. perforatum* did not have any effect on food consumption and body weight at the doses used indicates that it may not play a metabolic role in food intake or utilization of this food. Considering this situation and its effect on leptin levels, our result is partly consistent with studies in the literature supporting the hypoglycemic and antiobesity effects of bioactive compounds such as hypericin and hyperforin (Butterweck, 2003; Soumyanath et al., 2005). The information we gathered from the article evaluation indicates that the method used and the animal chosen affect how well St. John's Wort lowers blood glucose (antihyperglycemia). The majority of mice and rats that have been diabetic with STZ exhibit this kind of antihyperglycemic response. Furthermore, the primary characteristic that distinguishes hamsters apart from other rodents is their strong photoperiodic nature. This indicates that they modify their metabolism, particularly the reproductive system, in accordance with the time of year, or the duration of daylight. These features lead these animals to

have an active period during the dark part of the day and an inactive period during the light part of the day. As a result, they also feed during the dark hours of the day. Other animals' food intake, leptin levels, and subsequently blood glucose levels may be affected differently by this circumstance.

Although our study did not show any effect on food intake and body weight, the decrease in leptin levels suggests that *H. perforatum* may be effective in regulating energy balance. The effects of a comparable mechanism on leptin secretion in mice, for instance, are supported by a study conducted by Lee et al. (2006). The relationship between *Hypericum perforatum* (St. John's Wort), leptin, and food intake is not fully understood, but there are potential interactions worth exploring. Leptin is a hormone that helps regulate appetite and energy balance by signaling to the brain when the body has enough energy stored, thus suppressing hunger. Some studies suggest that *Hypericum perforatum* may influence serotonin levels, which in turn could affect leptin secretion and the body's appetite regulation. While there is limited direct evidence connecting St. John's Wort and leptin specifically, its effects on mood and neurotransmitter pathways might indirectly impact leptin sensitivity, potentially influencing food intake. For example, by alleviating symptoms of depression and anxiety, which often disrupt eating behaviors, *Hypericum perforatum* may help normalize appetite. However, more research is needed to understand whether and how *Hypericum perforatum* directly affects leptin levels and its role in appetite regulation.

The relationship between *H. perforatum* and glucose regulation has been a subject of some research, though the findings remain inconclusive. Some studies suggest that *Hypericum perforatum* may have a modest effect on lowering blood glucose levels, potentially due to its active compounds, such as hypericin and hyperforin, which could influence insulin sensitivity or glucose metabolism. However, the clinical evidence supporting a significant impact on blood glucose control is limited, and much of the research has been conducted in animal models rather than humans. Increases in blood glucose levels could have an impact on pancreatic function and insulin sensitivity (Röder et al. 2016). In this regard, in vitro studies conducted by Soumyanath et al. (2005) who examined the protective effects of *H. perforatum* on the pancreas support the mechanistic dimension of the present findings. In addition, Mizuno et al. (2018) reported that this plant may contribute to glucose metabolism by reducing oxidative stress.

These results demonstrate the potential therapeutic effects of St. John's Wort, but their long-term effects and mechanisms at different doses and/or different times of a day need to be investigated in more detail. Studies have shown that St. John's Wort extract, especially given in different doses on rats, reduces blood glucose (Arokiyaraj et al., 2011). Another study

showed that different doses (6, 12 and 25 mg/kg) of *H. perforatum* did not affect body weight and blood glucose levels in rats (Hasanein and Shahisi, 2010). In our study, since hamsters were used, blood glucose increased in some way. The possible mechanism of *H. perforatum*'s hyperglycemic effect in hamsters may be to attenuate the insulin effect of plasma by reducing pancreatic insulin secretion from beta cells or by inhibiting its release from the bound form. Although it is not clear what the reason for this may be, the timing of the extract administration may be important for these photoperiodic animals. Similarly, to fully understand the effects of different doses of St. John's Wort, studies should also be conducted on streptozotocin (STZ)-induced diabetic animals. Some studies mentioned above suggest that *Hypericum perforatum* may lower blood glucose levels. This effect could be attributed to the active compounds in the plant, particularly hypericin and hyperforin, which may influence insulin sensitivity or have other mechanisms of action that help reduce blood glucose. Although there is some evidence of a hyperglycemic effect in animal studies, both human clinical data and animal data on this subject are limited and inconclusive.

The relationship between *H. perforatum* and blood glucose is not fully established but has been a topic of research. While there is some indication that *Hypericum perforatum* may affect blood glucose, more research is needed to understand the full scope of its effects.

5. KAYNAKÇA

- Arokiyaraj S, Balamurugan R, Augustian P. Antihyperglycemic effect of *Hypericum perforatum* ethyl acetate extract on streptozotocin-induced diabetic rats. *Asian Pac J Trop Biomed*. 2011 Oct;1(5):386-90.
- Barnes, J., Anderson, L. A., & Phillipson, J. D. (2001). St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): a review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of pharmacy and pharmacology*, 53(5), 583-600.
- Butterweck, V. (2003). Mechanism of action of St John's wort in depression: what is known?. *CNS drugs*, 17, 539-562.
- Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Turumtay, E. A., Silici, S., & Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, anti-oxidant capacities and phenolic profiles. *Food chemistry*, 180, 133-141.
- Caro, J. F., Sinha, M. K., Kolaczynski, J. W., Zhang, P. L., & Considine, R. V. (1996). Leptin: the tale of an obesity gene. *Diabetes*, 45(11), 1455-1463.
- Friedman, J. M., & Halaas, J. L. (1998). Leptin and the regulation of body weight in mammals. *Nature*, 395(6704), 763-770.
- Gattermann, R., Johnston, R. E., Yigit, N., Fritzsche, P., Larimer, S., Özkurt, S., ... & McPhee, M. E. (2008). Golden hamsters are nocturnal in captivity but diurnal in nature. *Biology letters*, 4(3), 253-255.
- Güemes, M., Rahman, S. A., & Hussain, K. (2016). What is a normal blood glucose?. *Archives of disease in childhood*, 101(6), 569-574.
- Harris, R. B. (2000). Leptin—much more than a satiety signal. *Annual review of nutrition*, 20(1), 45-75.
- Hasanein P, Shahidi S. Effects of *Hypericum perforatum* extract on diabetes-induced learning and memory impairment in rats. *Phytother Res*. 2011 Apr;25(4):544-9
- Henderson, H. L., Townsend, J., & Tortonese, D. J. (2008). Direct effects of prolactin and dopamine on the gonadotroph response to GnRH. *Journal of endocrinology*, 197(2), 343-350.
- Hostanska, K., Reichling, J., Bommer, S., Weber, M., & Saller, R. (2003). Hyperforin a constituent of St John's wort (*Hypericum perforatum* L.) extract induces apoptosis by triggering activation of caspases and with hypericin synergistically exerts cytotoxicity towards human malignant cell lines. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 56(1), 121-132.
- Klemow, K. M., Bartlow, A., Crawford, J., Kocher, N., Shah, J., & Ritsick, M. (2011). *Herbal medicine: biomolecular and clinical aspects*. CRC Press, 2(11), 211-28.
- Lee, Y.S.; Kim, W.S.; Kim, K.H.; Yoon, M.J.; Cho, H.J.; Shen, Y.; Ye, J.M.; Lee, C.H.; Oh, W.K.; Kim, C.T.; et al. Berberine, a natural plant product, activates AMP-activated protein kinase with beneficial metabolic effects in diabetic and insulin-resistant states. *Diabetes* 2006, 55, 2256–2264.

- Liu, G., Lai, P., Guo, J., Wang, Y., & Xian, X. (2021). Genetically-engineered hamster models: applications and perspective in dyslipidemia and atherosclerosis-related cardiovascular disease. *Medical Review*, 1(1), 92-110.
- Ma, Y. H., Wang, Y., & Liu, G. (2024). Development of a hamster model of spontaneous hypertriglyceridemia in diabetes. *Animal Models and Experimental Medicine*.
- Maffei, Á., Halaas, J., Ravussin, E., Pratley, R. E., Lee, G. H., Zhang, Y., ... & Friedman, J. M. (1995). Leptin levels in human and rodent: measurement of plasma leptin and ob RNA in obese and weight-reduced subjects. *Nature medicine*, 1(11), 1155-1161.
- Mizuno, H., Taketomi, A., & Nakabayashi, T. (2018). Potentially beneficial effects of st. John's wort (*Hypericum perforatum*) in patients with metabolic syndrome. *OBM Integrative and Complementary Medicine*, 3(3), 1-8.
- Montague, C. T., Farooqi, I. S., Whitehead, J. P., Soos, M. A., Rau, H., Wareham, N. J., ... & O'Rahilly, S. (1997). Congenital leptin deficiency is associated with severe early-onset obesity in humans. *Nature*, 387(6636), 903-908.
- Myers, M. G., Leibel, R. L., Seeley, R. J., & Schwartz, M. W. (2010). Obesity and leptin resistance: distinguishing cause from effect. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 21(11), 643-651.
- Nahrstedt, A., & Butterweck, V. (2010). Lessons learned from herbal medicinal products: the example of St. John's wort. *Journal of Natural Products*, 73(5), 1015-1021.
- Novelli, M., Masiello, P., Beffy, P., & Menegazzi, M. (2020). Protective role of St. John's wort and its components hyperforin and hypericin against diabetes through inhibition of inflammatory signaling: Evidence from in vitro and in vivo studies. *International journal of molecular sciences*, 21(21), 8108.
- Röder, P. V., Wu, B., Liu, Y., & Han, W. (2016). Pancreatic regulation of glucose homeostasis. *Experimental & molecular medicine*, 48(3), e219-e219.
- Saddiqe, Z., Naeem, I., & Maimoona, A. (2010). A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. *Journal of ethnopharmacology*, 131(3), 511-521.
- Shrivastava, M., & Dwivedi, L. (2015). Therapeutic potential of *Hypericum perforatum*: a review. *Int J Pharm Sci Res*, 6(12), 4982-4988.
- Shulman, G. I. (2000). Cellular mechanisms of insulin resistance. *The Journal of clinical investigation*, 106(2), 171-176.
- Soumyanath, A., & Srijayanta, S. (2005). In vitro models for assessing antidiabetic activity. *Traditional Medicines for Modern Times. Antidiabetic Plants. Series traditional Herbal Medicines for Modern Times*, 6, 99-116.
- Tian, J. Y., Tao, R. Y., Zhang, X. L., Liu, Q., He, Y. B., Su, Y. L., ... & Ye, F. (2015). Effect of *Hypericum perforatum* L. extract on insulin resistance and lipid

metabolic disorder in high-fat-diet induced obese mice. *Phytotherapy research*, 29(1), 86-92.

Vandenbogaerde, A., Zanolli, P., Puia, G., Truzzi, C., Kamuhabwa, A., De Witte, P., ... & Baraldi, M. (2000). Evidence that total extract of *Hypericum perforatum* affects exploratory behavior and exerts anxiolytic effects in rats. *Pharmacology biochemistry and behavior*, 65(4), 627-633.

BİYOLOJİDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com