

Bitkilerde Hareket, Davranış ve Zekâ

Zeynel DALKILIÇ*¹ ¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Güney Yerleşke 09100 AYDIN

Öz: Çevreye uyum sağlama ve esneklik kavramlarında bitkilerin davranışı konusunda gelişmekte olan bitki nörobiyolojisi alanında yapılan çalışmalar bitki biyokimyası, hücre biyolojisi ve moleküler biyoloji uzmanlıklarının ötesine geçmiştir. Davranış, bir bireyin yaşamı süresince çevresel değişikliklere ya da olaylara verdiği göreceli olarak hızlı ve potansiyel olarak geri dönüşümlü tepki olarak tanımlanabilir. Zekâ ise problem çözebilme yeteneğidir. Bitkilerin davranışı mekânsal olarak heterojen olan ve sürekli değişen bir çevrede besin kaynaklarını bulmaya, üremeye ve savunmaya en etkili şekilde olanak tanımaktadır. Davranış, bitkilerin genlerini sonraki nesle aktarmak için mücadele etmesinde kritik derecede öneme sahiptir. Bitkilerdeki binlerce kök ucunun hareketi, sürü içindeki hayvanların birbirlerine belirli bir mesafeyi koruyarak belirlenen hedefe doğru gitmesine benzetilebilir. Bitkiler çevreden gelen uyarılara tepki vererek, bireysel olarak hareket eder gibi gözlenirse de tüm populasyona avantaj sağlayacak şekilde davranırlar. Bitki dokularındaki oksin dağılımının eşit olmamasından dolayı hareket, uyarının geldiği yöne bağımlı ve büyüme şeklindeki değişiklik yönelim (tropizma) olarak tanımlanır. Bu tip hareketler uyarının ortadan kalkmasıyla geriye dönüşebilir. Eğer hareket, uyarının geldiği yönden bağımsız ve ozmotik ya da turgor basıncındaki geri dönüşebilir değişiklik ise salınım (nastik) olarak tanımlanır. Bu tip hareketler organın yukarıya (epinasti) ya da aşağıya (hiponasti) doğru kıvrılması şeklinde kendini gösterebilir. Bu hareketler bitkilerde yerçekimine (jeo), dokunmaya (tigmo), ışığa (foto), sıcaklığa (termo), güneşe (helio), kimyasala (kemo) ve suya (hidro) yönelim veya salınım şekillerinde ortaya çıkabilir.

Anahtar Kelimeler: bitki sinir bilimi, algılama mekanizması, öğrenme, algı, iletişim

Movement, Behaviour and Intelligence in Plants

Abstract: Studies conducted in plant neurobiology area in concept of adaptation to environment and plasticity have gone beyond the biochemistry, cell biology, and molecular biology professions. Behaviour is defined as a relatively fast and potentially reversible response to environmental stimuli or events during the lifetime of an organism. Intelligence, on the other hand, is the ability to solve a problem. Behaviour has a critical importance for plants to struggle in order to transfer their genetic information to the next generations. The movement of thousands of root tips in plants can be resembled to the movement of animals in swarm maintaining the distance among one another to travel to an identified destination. Although plants are seen as if moving individually for responding cues from the environment, they behave to gain benefit and advantage for their whole populations. Due to the asymmetrical distribution of auxin in plant tissues, the movement depends on the direction of the incoming stimulus and an observable change in growth which is name as tropism. This type of movements can be reversible when the stimulus disappears. If movement does not depend on the direction of the stimulus and a reversible change in osmotic or turgor pressure, it is defined as nastic. This type of movements can be displayed of upward curve of the tissue (epinasty) or downward curve of the tissue (hyponasty). All these movements can be seen as gravity (geo), touch (thigmo), light (photo), temperature (thermo), sun (helio), chemicals (chemo), and water (hydro) tropism or nasty in plants.

Keywords: plant neurobiology, sensing mechanism, learning, perception, communication

GİRİŞ

Filozoflar ve psikologlar yaklaşık 100 yıldır zekâ tanımı (kavramı) üzerinde tartışmaktadırlar. Üzerinde ortak karara varılan iki konu vardır. Bunlar: (1) Zekâ, karar verme ve soyut düşünme gibi gerçek zihinsel kalite gerektiren bir beyne ihtiyaç duyar. (2) Zekâ, çevresel şartlar ve durumlardan kaynaklanan güçlüklerle mücadele ederek tepki verebilme ve problem çözebilme yeteneğidir. Bitkiler, sürü halinde uçan kuşlar gibidir. Bitkilerdeki binlerce kök ucunun davranışı, sürü içindeki kuşların birbirlerine belirli bir mesafeyi koruyarak belirlenen hedefe doğru gitmesine benzetilebilir. Çevreden gelen uyarılara tepki vererek, belki de bireysel olarak hareket eder gibi gözlenip, aslında tüm organizmaya avantaj sağlayacak şekilde davranırlar. Eğer beyin (sinir sistemi) sadece hayvanlara ve insanlara özgüye, ortalama bir öğrenci 700 kelime kullanarak

çevresiyle iletişim kurabilirken, buna karşın bir bitki ise çevresiyle iletişim için yaklaşık 3000 değişik kimyasal madde kullanabilme yeteneğine sahiptir (Pollan, 2013).

Akıl (zihin, biliş) nerede bittiği ve dünyanın geri kalanının nerede başladığı hakkında üç görüş vardır. Bunlar: (1) vücudun dışında olan her şey aklın da dışındadır, (2) akıl kafada değildir (dışsallık) ve (3) bilişsel işlevlerin uyarılmasında çevrenin aktif rolü vardır (aktif dışsallık) (Clark ve Chalmers, 1998). Bu üçüncü genişletilmiş biliş (aktif dışsallık) görüşüne göre, akıl organizmanın görünen fiziksel sınırlarının ötesinden çevresine doğru genişler ve

Sorumlu Yazar: zdalkilic@adu.edu.tr

Geliş Tarihi: 26 Mart 2020

Kabul Tarihi: 5 Kasım 2020

vücudun parçası olmayan nesnelere de içerir. Bu hipoteze göre merkezi sinir sistemiyle ya da vücutla sınırlanmamış bilişsel işlevlerin uyarılmasında çevre aktif rol oynar (Clark ve Chalmers, 1998; Parise ve ark., 2020).

Yapılan denemeler, karşı karşıya kaldıkları sürekli değişen çevre şartlarına uyum sağlamak amacıyla, aynı genetik bilgiyi taşıyan tek yumurta ikizlerinin, çeşitli içsel ve dışsal sinyallere değişik şekilde tepki verebildiklerini göstermiştir. Yapısal ve işlevsel karmaşıklık seviyeleri ne olursa olsun, organizmaların çevresel değişikliklere ya da uyarılara verdikleri uyum sağlama tepkisi, bilinen bütün organizmalarda yaygın şekilde gözlenmektedir. Bu tepkiye fenotipik esneklik ismi verilmektedir. Genetik olarak sabit özellikler (örneğin insanlardaki tek burun) bulunduğu gibi çevre şartlarından etkilenen değişken özellikler (örneğin derideki mevsimsel renk tonu, yaşam standardına bağlı boy ve kilo, alınan eğitime bağlı I.Q. değişikliği, vb.) de bulunmaktadır. Fenotipik esneklik tek bir molekülden bütün bir organizmaya kadar bütün seviyelerde ifade edilmesine rağmen, pek çok ekolojik ve evrimsel çalışma, içsel ve dışsal uyarılara karşı tepkide organizmanın büyüklük, morfoloji ve mimarisindeki değişiklikleri içeren gelişimsel esneklik konusunu ele almaktadır. Gelecekte karşılaşacakları şartlara esnek şekilde tepki verebilmeleri, bitkiler gibi çok yavaş hareket eden organizmalar için çok kritik derecede önem arz etmektedir (Novoplansky, 2016).

BİTKİLERDE HAREKET

Yeryüzündeki bitkiler iletim demetine sahip olmayan ve suya uyum sağlamış talluslu (Thallophyta) ve iletim demetine sahip olan ve karaya uyum sağlamış kormuslu (Cormophyta) bitkiler olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Talluslu bitkiler suyun hareketine bağlı olarak kendilerine daha uygun ortama gidebilirken, kormuslu bitkiler kökleri ile toprağa bağlı oldukları için uygun olmayan ortamlardan kaçamadıklarından dolayı maruz kaldıkları çevresel etmenlerden yönelim hareketi yaparak en iyi şekilde yararlanmaya çalışmaktadırlar. Ayrıca bitki hareketleri cansız ve canlı dokulardaki hareketlere göre ikiye ayrılabilir (Güven, 1991; Kacar ve ark., 2002; Özen ve Onay, 2013). Canlı doku hareketleri (taksis): Canlı bitki dokularındaki taksis (yer değiştirme, göçüm) hareketleri uyarıya yaklaşma şeklindeyse topik, uyardıdan uzaklaşma şeklindeyse fobik hareketler olarak tanımlanır. Bunlara örnek ışığa (fototaksis), kimyasala (kematotaksis) ve yerçekimine göçüm (jeotaksis) şeklindedir.

Cansız doku hareketleri (higroskopik): Cansız bitki dokularındaki hücrelerin su alarak şişme ya da su vererek büzülme şeklindeki higroskopik hareketleri ya da su molekülleri arasındaki su gerilimi farklılıklarından dolayı kohezyon hareketleridir.

Canlı doku hareketleri (taksis): Canlı bitki dokularındaki göçüm (taksis) hareketleri uyarıya yaklaşma şeklindeyse

topik, uyardıdan uzaklaşma şeklindeyse fobik hareketler olarak tanımlanır. Bunlara örnek ışığa göçüm (fototaksis), kimyasala göçüm (kematotaksis), yerçekimine göçüm (jeotaksis) şeklindedir.

Çevresel uyarılara karşı bitkilerin verdiği tepkiler ayrıca iki bölümde de incelenebilir. Bunlar tropizma hareketleri ve nastik hareketlerdir (Güven, 1991; Kacar ve ark., 2002; Özen ve Onay, 2013).

Yönelim (Tropizma) Hareketleri

Hareket, uyarının geldiği yöne bağımlı (yönel) ve büyüme şeklindeki değişiklik olarak tanımlanır. Bu tip hareketler uyarının ortadan kalkmasıyla geriye dönüşebilir. Bu şekildeki farklı büyümeye dokulardaki oksin dağılımının eşit olmaması neden olmaktadır. Bunlar ışığa yönelim (fototropizma, *Sinapis alba*), güneşe yönelim (heliotropizma, *Helianthus annuus*, *Glycine max*, *Gossypium hirsutum*), sıcaklığa yönelim (termotropizma), neme yönelim (hidrotropizma), kimyasala yönelim (kematropizma, *Lupinus sp.*), yerçekimine yönelim (jeotropizma, *Arabidopsis thaliana*), *Papaver somniferum*) ve dokunmaya yönelim (tigmotropizma, *Vitis vinifera*) şeklindedir (Güven, 1991; Kacar ve ark., 2002; Özen ve Onay, 2013).

Nastik (Niktinasti, Sismonasti) Hareketler

Hareket, uyarının geldiği yönden bağımsız ve ozmotik ya da turgor basıncındaki geri dönüşebilir değişiklik olarak tanımlanır. Organın yukarıya (epinasti) ya da aşağıya (hiponasti) doğru kıvrılması şeklinde kendini sergileyebilir. Bunlar ışığa tepki hareketi (fotonasti), sıcaklığa (termonasti, *Tulipa sp.*, *Crocus sp.*), neme (hidronasti), kimyasala (kemonasti), dokunmaya ve yerçekimine (tigmonasti, *Mimosa pudica*, *Dionaea muscipula*, *Bryonia dioica*, *Maranta leuconeura*, *Cornus canadensis*, *Lotus japonicus*, *Ipomoea tricolor*) tepki hareketi şeklindedir (Güven, 1991; Kacar ve ark., 2002; Coutand, 2010; Özen ve Onay, 2013; Sparke ve Wünsche, 2020).

BİTKİLERDE DAVRANIŞ

Kaynaklara Erişim Davranışı

Kaynağa (besin maddeleri, ışık, su, vb.) erişim, üzerinde en fazla çalışılan bitki davranışı konusu olmuştur. Bitkilerin en etkileyici davranışlarından birisi, fiziksel uyarılara karşı verdikleri tepkide hızlı hareket etmeleridir. Hızlı bitki hareketlerinden sorumlu mekanizmalar hayvanlarda bilinen aktin-miyosin sisteminden farklıdır. Bunlar turgordaki değişiklikler, iyon konsantrasyonundaki ozmotik değişiklikler, aksiyon potansiyelleri ve elektrik sinyalleridir (Karban, 2008).

Bitkiler yer değiştirmek yerine mineral maddeler, ışık ve su gibi yaşam için gerekli maddelere erişme konusunda doğrudan ve dikkati çekecek şekilde hareket ederek yer için mücadele ederler (Darwin ve Darwin, 1880). Sürgünlerin ve köklerin uçtan büyüüp dallanma göstermesi bu işin en iyi

çözümüdür. Bu şekilde maksimum alana yerleşme ile kaynaklara erişimi ve yakınındaki yarıştığı rakiplerinin kaynaklarını kullanmasını engellemesini sağlar. Işık için sergilenen yüksek rekabet ortamındaki bitkisel evrim, yukarıya doğru büyümeyi, yeni meristem ile kambiyum oluşturmayı ve gövdenin kalınlaşmasını sağlamaktadır. Kaynaklar hem hayvanlar hem de bitkiler için nadiren birörnek şekilde dağılmıştır. Gezen hayvanların potansiyel yiyeceği bulup ona doğru hareket etmesi gibi büyüyen bitkiler de çevrelerini kuşatan yerdeki zengin kaynakları belirlemek ve erişmek için onlara doğru büyürler. Bu durumda büyüme çok yavaş bir hareket gibi kabul edilir. Ne var ki, büyüme bütün canlılar için çok yavaştır; her zaman belirgin ve görünen bir değişiklikte sonuçlanmaz. Bu nedenledir ki, bitki davranışı çoğunlukla hesaba katılmaz. Ancak kaynakları, en etkili ve maksimum şekilde ele geçirme yeteneği konusunda hayvanlar ve bitkiler arasında fark yoktur. Bitki fenotipi esneklik ve yakın geçmişte meydana gelmiş çevresel olayların bir bölümünü yansıtır. Ancak bu her zaman büyüme şeklinde gözlenmez. Bitkinin çok sınırlı bir alanındaki motor hücreleri (meristem) çoğunlukla geri dönüşümlü olan fenotipi değiştirmek için turgor basıncını kullanır. Çok az bitki türünde bu turgor değişiklikleri (pulvinus ile), gözle görülür harekete ve davranışa yol açar. Ancak çoğu bitkide, turgor hareketleri çok yavaştır ve bizim kolayca görebilme yeteneğimizin dışındadır (Trewavas, 2017). Bitki biyologları 100 yıldan fazla süreden beri, besin maddelerini düşük seviyede bulduran topraklarla karşılaştırıldığında besin maddesinin zengin olduğu topraklarda köklerin daha çok miktarda bulunduğunu gözlemlemiştir. Arpa (*Hordeum* sp.)'da farklı besin maddeleri seviyeleri içeren toprak katmanlarında bitki köklerinin haritalanması ile ilgili yapılan denemeler bu hipotezi desteklemiştir (Karban, 2008). Hatta galvanometreye bağlandıklarında bitkilerin değişik uyarılara verdikleri tepki kaydedilebilmiştir (Tompkins ve Bird, 1983).

Yaprakların ve gövdenin yerçekimine (geotropizma) ve dokunmaya (tigmotropizma) karşı davranışı

Eğer baklagiller böceklerden ve komşu yapraklardan rahatsız olur ya da zedelenirse hassas yaprakçıkları hızlıca kapanır (Eisner, 1981; Braam, 2005). *Machaerium aorboreum* (Leguminosae) bitkileri hafif yağmurda ya da böceklerin tesadüfen dokunmasında bu davranışı göstermezler. Ancak şiddetli yağışa karşı yapraklarını aşağıya doğru indirirler. Bu tepki yaprak yüzeyinin kurumasını hızlandırır (Dean ve Smith, 1978). *Mimosa pudica*'da ince yaprak saplarındaki sinyal atış hızı saniyede 400 mm'ye kadar çıkmaktadır (Bose, 1926). Bu hızlı hareketlere ek olarak Darwin ve Darwin (1880), "circumnutation" ismini verdikleri, bütün organlarının bitkinin uzama eksenine çevresinde incelikli şekilde dönüş yaparak hareket ettiklerini ifade etmektedirler. Küsküt

(*Cuscuta* sp.) diğer bitkilere yapışır ve onların gövdelerinin etrafına sarılır. Konukçunun iletim demetlerine erişen almaçlar (haustoria) geliştirerek besin maddelerini emer (Kelly, 1992; Trewavas, 2017). Böcek yiyen bitkiler, beslenmeyle, sonuçlanacak hücrelerinin genişlemedeki bir seri değişikliği ayarlayarak yapraklarındaki tüylerini uyaran böcekleri yakalamak için hızlı hareket ederler (Darwin, 1875; Braam, 2005; Sparke ve Wünsche, 2020). Venüs sinekkapanı (*Dionaea muscipula*) bitkisi yaprağının her bir yarısında mekanik uyarılara tepki veren üçer adet tüy bulundurur. Yaprığın diğer bölgeleri dokunmaya tepki vermezken bu tüyler belirli zaman aralığında ardı ardına iki kez dokunulduğunda insan gözünün takip edemeyeceği derecede hızlı şekilde kapanır. Yaprığın yaklaşık 100 milisaniyelik kapanma süresi (Forterre ve ark., 2005) ya da 10 m/s kapanma hızı (Forterre, 2013; Volkov, 2019) bitkiler alemindeki en hızlı hareketlerden birisidir. Yaprak kapanması mekanik uyarıdan 0.1 saniye sonra başlayıp 1.0 saniye içinde bitmektedir (Forterre ve ark., 2005). Venüs sinekkapanı yaprağının kapanmasının 30 saniye içinde iki kez dokunulma uyarısına maruz kalması şartına bağlı olması, bu bitkinin kısa zamanlı elektriksel hafızaya sahip olduğunu göstermektedir (Volkov ve ark., 2008).

Işığa karşı davranış (fototropizma)

Bitkilerin, ışık yoğunluğuna şifrelenmiş kuantum bilgisini ve bunun enerjisini fotokimyasal olmayan baskılama (NPQ) ve singlet oksijen (1O_2), süperoksit (O_2^-) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi serbest oksijen radikallerinin (ROS) yardımıyla işleyebilme yeteneğinde olan biyolojik bir kuantum hesaplama cihazı gibi çalışıyor olabilecekleri fikri ortaya atılmıştır. Bu biyolojik bilgi, analog fotoelektro-fizyolojik haberleşmeye (PEPS) aktarılır ve sonucunda fizyolojik hafızaya işlenir. *A. thaliana*'nın rozet formu mutantında, bir saat şiddetli ışığa maruz kalan yapraklar, sonra gölgede kaldıklarında farklı davranmakta ve sistemik olarak kazanılmış aklimatizasyon ve dayanıklılık (SAAR) sergilemektedirler (Karpinski ve Szechynska-Hebda, 2010). Hareket etmesi engellenen bitkiler ile karşılaştırıldığında, eksenine çevresindeki hareketleri, bitkilerin ışık gibi kaynakları yakalamada daha etkili olmaktadır. Yetersiz ışığa maruz kalan bitkiler ile karşılaştırıldığında, uygun ışık şartlarındaki bitkilerin dikey sürgünleri daha az uzar, ancak daha fazla yan dal oluştururlar (Karban, 2008). Bitkiler kırmızı/kırmızı ötesi radyasyon oranını belirleyen fitokrom ışık algılayıcılarını kullanarak ışığın varlığını duyumsarlar (Vardar ve ark., 1973; Smith, 2000; Dalkılıç, 2018). Pek çok bitki fitokrom konusunda kırmızı/kırmızı ötesi ışığa tepkide fenotipik değişiklikleri önceden başlatarak, gelecekte karşılaşma ihtimalleri olan gölgeyi tahmin edebilirler (Whippo ve Hangarter, 2006; Mullen ve ark., 2006; Novoplansky, 2016; Creux ve Harmer, 2019). Komşuları tarafından gölgelenen bitkiler, tacın boşluklarına doğru ve daha uzun boylu büyüyerek morfolojik gelişmelerini

yeniden programlarlar (Ballaré, 1999). Gölgede kalan dallar ile karşılaştırıldığında, güneşe bakan dallar üzerinde tacın asimetric olması neden olan daha fazla ve büyük tomurcuklar oluştururlar. Çünkü bu büyüme deseni daha fazla ışık yakalanmasına izin verir (Schmitt ve ark., 1999).

Kimyasal maddelere karşı davranış (kemotropizma)

Pek çok bitki türünde (*Nicotiana glauca*, *A. thaliana*, *Lilium* sp.) dişik tepeleri (stigma) ve erkek organlar (stamen) yabancı döllenme olasılığını artıran böcek ziyaretlerine tepki olarak hareket ederler (Lush, 1999; Braam, 2005). Tozlanması engellenen *Ipomopsis aggregata* bitkileri, semelparous (yaşamı süresince bir kez çiçeklenip ölen) formdan, iteroparous (yaşamı süresince değişik zamanlarda tekrar tekrar çiçeklenen) forma dönüşmüşlerdir (Paige ve Whitham, 1987). Suya ve diğer besin maddelerine erişebilme bitkilerin daha çok dişik çiçekler üretmelerine neden olurken, çevresel stres ise genellikle bitkilerin orantısız olarak erkek çiçekler oluşturmalarına neden olmaktadır (Freeman ve ark., 1980). Uluslararası Uzay İstasyonu'nda SpaceX 52/53 Keşfi'nde (gidiş 15 Aralık 2017, dönüş: 13 Ocak 2018), mikro yerçekimi şartlarında yerçekimi, besin maddesi ve su arasındaki etkileşimler gibi çoklu tropizma (MULTITROP) olaylarında kökün nasıl yönleneceğini belirlemek amacıyla denemeler gerçekleştirilmiştir. Uzaydaki yerçekimsiz ortamda yapılan denemede, *Daucus carota* (Apiaceae) bitkisi kazık kökünün disodyum fosfat solusyonuna doğru pozitif kemotropizma sergilediği görülmüştür. Dünyada yapılan denemede ise kemotropizma yerçekiminin baskın etkisiyle maskelenmiş ve ortamdaki besin varlığı ya da yokluğuna bağlı olmaksızın köklerin aşağıya doğru büyüdüğü ve geliştiği gözlenmiştir (Izzo ve ark., 2019).

BITKİLERDE ZEKÂ

Çevreye uyum sağlama ve esneklik kavramlarında bitkilerin davranışı konusunda gelişmekte olan "bitki nörobiyolojisi" alanında yapılan çalışmalar bitki biyokimyası, hücre ve moleküler biyoloji uzmanlıklarının ötesine gitmiştir. Bu konu kapsamında sinir bilim, algılama mekanizması, tahmin etme, hatırlama, görüş, planlama, duyuşsal, alışma, şartlandırma, uyum sağlama, esneklik, duyuşsuzlaştırma, bilişsel, karar verme, bilgi işleme, hesaplama, öğrenme, yetenek, tepki, yiyecek arama, farkında olma, hafıza, algı, sezgi, akıl, bilinç, duy(g)u, deha ve iletişim terimlerinin kullanıldığına rastlanmaktadır. Yakın zamana kadar bilişsel bilim çalışmaları, bitki dünyasında ihmal edilmiştir (Baluşka ve ark., 2006; Brenner ve ark., 2007; Calvo ve Friston, 2017; Calvo ve ark., 2017). Bu konu üzerinde taraf (Karban, 2008; Baluşka ve ark., 2006; Brenner ve ark., 2007; Trewavas, 2014; Witzany ve Baluşka, 2012; Gagliano ve ark., 2016; Mancuso ve Viola, 2017) ve karşıt (Firn, 2004; Alpi ve ark., 2007; Beigler, 2018; Chamovitz, 2018a) görüşte olan araştırma grupları yer almaktadır. Bitki davranışı, iletişimi ve

zekâsı üzerine yazılmış kitaplar (Pollan, 2011; Volkov, 2012; Pelt ve ark., 2012; Holdrege, 2013; Irigaray ve Marder, 2016; Chamovitz, 2018b; Gagliano, 2018; Thompson, 2019; Wohlleben, 2018; Bruni, 2019; Mancuso, 2019), bir uluslararası dernek, bir süreli yayın, bir düşünce kuruluşu ve beş farklı ülkede uygulama ve araştırma laboratuvarları bulunmaktadır (Anonim, 2020a-h).

Charles Darwin'in yazdığı toplam 25 kitabın 10 adedi Güney Amerika'ya yaptığı seyahat ile ilgiliyken diğer 15 kitabının bitkiler üzerine olduğunu öğrenmek şaşırtıcı olabilir. Işık, yerçekimi ve dokunma yoluyla uyarılan bitki dokularının hareketi gibi bitki davranışları üzerine ilk kitabı yazan Charles Darwin ve oğlu Francis Darwin, "Bitkilerde Hareketin Gücü" isimli kitapta bitkilerdeki zekâ hakkında şöyle bahsetmektedirler: "Radikulanın ucunun hassaslıkla bitişik kısımların hareketini yönlendirme gücü olduğunu, gelişmemiş hayvanlardan birinin beyni gibi davrandığını söylemek hiç de abartılı olmayacaktır. Vücudun ön ucunda yerleşmiş, duyu organlarından etki alan ve birçok hareketi yöneten bir beyin. ... İnanıyoruz ki bitkilerde, işlevleri göz önüne alındığında, radikulanın ucundan daha muhteşem bir yapı yoktur. ... Eğer uç havanın bir tarafta diğerinden daha nemli olduğunu algılasa benzer şekilde üst bitişik kısma bir mesaj gönderir ve neme doğru yönelim sağlar." (Darwin ve Darwin, 1880; Mancuso ve Viola, 2017).

Charles Darwin'den sonra Friedrich J. Haberlandt (1826-1878), Julius von Sachs (1832-1897), Wilhelm Pfeffer (1845-1920), Karl Immanuel Eberhard Ritter von Goebel (1855-1932), Sir Jagadish Chandra Bose (1858-1937), Otto Warburg (1859-1938) ve Otto Fritz Meyerhof (1884-1951) gibi bitki bilimi araştırmacıları, bitkilerdeki bilgi-davranış üzerine büyük katkılar sağlamışlardır. Bitki davranışının varlığı ya da nasıl oluştuğu hakkındaki görüşler üzerindeki araştırmalar ve tartışmalar sürmektedir (Bose, 1926; McClintock, 1984; Karban, 2008; Selvi, 2016; Trewavas, 2014, 2017).

Bitkiler üzerindeki denemelerini topladığı 12 eserden "Bitkilerdeki Sinir Mekanizması" isimli kitabında Bose (1926) şöyle bahsetmektedir: Yapılan deneyler, izole edilen bitki sinirlerinin tepkisinin, şartların paralel şekilde değiştirildiği seri denemelerde hayvan sinirlerinin tepkisinden farkı olmadığını göstermiştir. Bose, floemin aksiyon potansiyelini (elektrik sinyali) aktaran doku olduğunu doğru şekilde tanımlamıştır (Bose ve Guha, 1922; Shepherd, 2005).

Bitki hücreleri, çevreden gelen sinyallere karşı takdir edildiğinden çok daha fazla duyarlıdır. Tepkinin yavaş olmasının nedeni olayın aynı zamanda büyümeyi de içermesidir. Bitkiler üreme, kutuplaşma ve biyolojik saat işlevlerinin kontrolünde hücrel kalsiyum titreşimlerini kullanmaktadır (Trewavas ve ark., 1984; Knight ve ark., 1991; Bothwell ve Ng, 2005; Trewavas, 2003, 2014; Luan, 2011; van Bel ve ark., 2014; Harmer ve Brooks, 2018; Creux

ve Harmer, 2019). Bitkilerin çevresel uyarılara karşı verdiği tepkide karmaşık davranışlar sergilediği düşüncesi yeni bir olay değildir. Bir hücrenin sahip olduğu bilginin ve güçlüklerle mücadele edildiğinde bu bilgiyi düşünceli şekilde nasıl kullandığının kapsamını belirlemek gelecekteki hedef olabilir (McClintock, 1984). Burada bahsedilen düşünce ve güçlüklerle mücadele etmeyi, Trewavas (2014) sırasıyla zekâ ve davranış olarak yorumlamıştır. McClintock (1984)'un hayvan ve bitki davranışı arasındaki farklılığa dikkat çekmesi çok çarpıcıdır: Hayvanlar çevrede dolaşabilir, ancak bitkiler aynı şeyleri zeki şekildeki mekanizmayla yapmak için sabit durmak zorundadırlar. Bu organizmalar bizim en çılgın beklentimizin de ötesindedirler. Bitkilerin her türlü duyarlılığa sahip oldukları konusunda herhangi bir soru işareti yoktur. Bitkiler çevrelerine karşı pek çok tepki verirler (Trewavas, 2014).

Bitkiler sadece ışık ve yer çekimi değil diğer pek çok vektörü gözleyebilmektedirler. Uyum sağlamak için öngörü yeteneği hayati öneme sahip olabilir. Örneğin bazı kökler ve sürgünler, düzensiz şekilde dağılmış besin kaynakları için yarışarak, diğer vektörlerin yanı sıra besin maddeleri, su ve ışıktan elde edilecek olası kazanca bağlı olarak büyüme, dallanma ve çiçeklenme ile yakın gelecekte olabilecek tahmin edebilirler (Calvo ve Friston, 2017).

Davranış ya da esneklik, bir bireyin yaşamı süresince çevresel değişikliklere ya da olaylara verdiği göreceli, hızlı ve potansiyel geri dönüşümlü tepkidir (Silvertown ve Gordon, 1989). Davranış, kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla oluşan fizyolojik olaylar temelidir. Davranış, kısmen hızlı ve geri dönüşümlü olması yönünden, tohum çimlenmesi ve çöğür (fide) oluşumu gibi kalıcı olarak programlanmış diğer fizyolojik ve kimyasal ontogenetik değişikliklerden farklıdır. Bitkiler yapraklarını ve köklerini, buldukları heterojen çevre şartlarında rastgele olmayacak şekilde yerleştirirler. Bu yerleşim, besin maddeleri, su ve ışık gibi yaşamsal öneme sahip maddeleri aktif şekilde edinebilmelerine imkân sağlar (Karban, 2008).

Bitkilerin davranışı mekânsal olarak heterojen olan ve sürekli değişen bir çevrede etkili besin kaynağı bulmaya, üremeye ve savunmaya olanak sağlamaktadır. Henüz çoğu bitki davranışının sonuçlarını anlamada yetersiz olmamıza rağmen davranış, bitkilerin genlerini sonraki nesle aktarmak için mücadele etmesinde kritik derecede öneme sahiptir. Bitkiler farklı uyarıları içeren karmaşık işaretlere tepki vermede yeteneklidirler. Tanıma ve reaksiyon konusunda özellikle tepki gösterirler. Güvenilir ve tahmin edilen işaretlere tepki vererek bitkiler davranışları ile çoğunlukla gelecekteki çevresel şartları önceden öngörebilirler. Geçmiş tecrübeleri tarafından da şartlandırılabilirler ve hafızaya sahipmiş gibi görünürler. Sadece güvenilir işaretlere tepki vermekle kalmaz aynı zamanda diğer bitkiler ve tozlayıcılar, tohum dağıtıcıları, otobur hayvanlar ve bunların düşmanları gibi organizmalarla iletişim kuracak işaretleri de üretirler

(Karban, 2008). Diğer bütün organizmalar gibi bitkiler de büyüme, üreme, hastalık ve zararlılarla baş etme konularında gerekli kaynaklara erişmek zorundadırlar (Trewavas, 2017).

SONUÇ

Bitki zekâsı kavramı, pek çok araştırmacı tarafından alışılmışın dışında bir düşünce olarak kategorize edilmektedir. Ancak Ivan Pavlov'un köpekler üzerinde yaptığı denemelerden hatırlanacağı gibi insan dışındaki hayvanların da çevresel uyarılara tepki verdiği ve hatırlayabildiği rapor edilmiştir. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, sinir sistemine sahip olmayan bitkiler gibi karmaşık organizmaların, kendi içindeki sistemsel yapılarından zekâ davranışı sergileyebilecekleri anlaşılmaya başlanmıştır. Biyoloji temeline dayanan biyokimya, eczacılık, tıp, veteriner, ziraat, vb. alanlardaki araştırmacılar için bitkilerin hareketi (davranışı, iletişimi ve zekâsı) konusunun daha detaylı incelenmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alpi A, Amrhein N, Bertl A, ve ark. (2007) Plant Neurobiology: No Brain, No Gain? Trends in Plant Science 12: 135-136.
- Anonim (2020a) <http://ds9.botanik.uni-bonn.de/zellbio/AG-Baluska-Volkman/ Department of Plant Cell Biology, IZMB, University of Bonn, Bonn, Germany>.
- Anonim (2020b) [http://www.liniv.org/ International Laboratory of Plant Neurobiology \(LINIV\), Department of Plant, Soil and Environmental Science, University of Florence, Florence, Tuscany, Italy](http://www.liniv.org/ International Laboratory of Plant Neurobiology (LINIV), Department of Plant, Soil and Environmental Science, University of Florence, Florence, Tuscany, Italy).
- Anonim (2020c) [https://wp.ufpel.edu.br/lacev/ Laboratory of Plant Cognition and Electrophysiology \(LACEV\), Department of Botany, Institute of Biology, Federal University of Pelotas, Pelotas, Brazil](https://wp.ufpel.edu.br/lacev/ Laboratory of Plant Cognition and Electrophysiology (LACEV), Department of Botany, Institute of Biology, Federal University of Pelotas, Pelotas, Brazil).
- Anonim (2020d) [https://www.monicagagliano.com/the-bi-lab-biological-intelligence- Biological Intelligence \(BI\) Laboratory, School of Life and Environmental Sciences, The University of Sydney, Australia](https://www.monicagagliano.com/the-bi-lab-biological-intelligence- Biological Intelligence (BI) Laboratory, School of Life and Environmental Sciences, The University of Sydney, Australia).
- Anonim (2020e) <https://www.plantbehavior.org/ Society for Plant Signaling and Behavior>.
- Anonim (2020f) <https://www.tandfonline.com/toc/kpsb20/current Plant Signaling & Behavior journal>.
- Anonim (2020g) <https://www.thethirdwayofevolution.com/people/view/guenther-witzany Telos-Philosophische Praxis, Buermoos, Austria>.
- Anonim (2020h) [https://www.um.es/web/minimal-intelligence-lab/ Minimal Intelligence \(MINT\) Lab, Department of Philosophy University of Murcia, Murcia, Spain](https://www.um.es/web/minimal-intelligence-lab/ Minimal Intelligence (MINT) Lab, Department of Philosophy University of Murcia, Murcia, Spain).
- Ballaré CL (1999) Keeping Up With the Neighbours: Phytochrome Sensing and Other Signalling Mechanisms. Trends in Plant Science 4: 97-102.
- Baluška F, Mancuso S, Volkman D (2006) Communication in Plants: Neuronal Aspects of Plant Life. Springer, New York.

- Beigler R (2018) Insufficient Evidence for Habituation in *Mimosa pudica*: Response to Gagliano et al. (2014). *Oecologia* 186: 33-35.
- Bose JC, Guha SC (1922) The Dia-Heliotropic Attitude of Leaves as Determined by Transmitted Nervous Excitation. *Proceedings of the Royal Society B* 93: 153-178.
- Bose JC (1926) *The Nervous Mechanism in Plants*. Longmans, Green and Co. Ltd, London.
- Bothwell JHF, Ng CY-K (2005) The Evolution of Ca²⁺ Signalling in Photosynthetic Eukaryotes. *New Phytologist* 166: 21-38.
- Braam J (2005) In Touch: Plant Responses to Mechanical Stimuli. *New Phytologist* 165: 373-389.
- Brenner ED, Stahlberg R, Mancuso S, Vivanco JM, Baluška F, van Volkenburgh E (2007) Plant Neurobiology: An Integrated View of Plant Signaling. *Trends in Plant Science* 11: 413-419.
- Bruni R (2019) *Biyo-İnovasyon. Çeviren: Elisa Falcini Becer. The Kitap Yayınları. İstanbul.*
- Calvo P, Friston K (2017) Predicting Green: Really Radical (Plant) Predictive Processing. *Journal of the Royal Society Interface* 14: 20170096.
- Calvo P, Sahi VP, Trewavas A (2017) Are Plants Sentient? *Plant, Cell and Environment* 40: 2858-2869.
- Chamovitz DA (2018a) Plants Are Intelligent; Now What? *Nature Plants* 4: 622-623.
- Chamovitz DA (2018b) *Bitkilerin Bildikleri: Dünyaya Bitkilerin Gözünden Bakmak. Çeviren: Gürol Koca. Metis Yayınları. İstanbul.*
- Clark A, Chalmers D (1998) The Extended Mind. *Analysis* 58: 7-19.
- Coutand C (2010) Mechanosensing and Thigmomorphogenesis, A Physiological and Biomechanical Point of View. *Plant Science* 179: 168-182.
- Creux N, Harmer S (2019) Circadian Rhythms in Plants. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. doi: 10.1101/cshperspect.a034611.
- Dalkılıç Z (2018) Bitkilerdeki Fitokrom Işık Algılayıcıları. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 15: 107-114.
- Darwin C (1875) *Insectivorous Plants*. John Murray, London.
- Darwin C, Darwin F (1880) *The Power of Movement in Plants*. John Murray, London.
- Dean JM, Smith AP (1978) Behavioral and Morphological Adaptations of A Tropical Plant to High Rainfall. *Biotropica* 10: 152-154.
- Eisner T (1981) Leaf Folding in A Sensitive Plant: A Defensive Thorn-Exposure Mechanism? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 78: 402-404.
- Firn R (2004) Plant Intelligence: An Alternative Point of View. *Annals of Botany* 93: 345-351.
- Forterre Y (2013) Slow, Fast and Furious: Understanding the Physics of Plant Movements. *Journal of Experimental Botany* 64: 4745-4760.
- Forterre Y, Skotheim JM, Dumais J, Mahadevan L (2005) How the Venus Flytrap Snaps. *Nature* 433: 421-425.
- Freeman DC, Harper KT, Charnov EL (1980) Sex Change in Plants: Old and New Observations and New Hypotheses. *Oecologia* 47: 222-232.
- Gagliano M (2018) *Thus Spoke the Plant: A Remarkable Journey of Groundbreaking Scientific Discoveries and Personal Encounters with Plants*. North Atlantic Books. Berkeley.
- Gagliano M, Vyazovskiy VV, Borbély AA, Grimonprez M, Depczynski M (2016) Learning by Association in Plants. *Scientific Reports* 6: 38427.
- Güven A (1991) *Bitkilerde Hareket Fizyolojisi*. In: Kıvanç M (ed.) *Bitki Fizyolojisi Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir*, 231-248.
- Harmer SL, Brooks CJ (2018) Growth-Mediated Plant Movements: Hidden in Plain Sight. *Current Opinion in Plant Biology* 41: 89-94.
- Holdrege C (2013) *Thinking Like A Plant: A Living Science for Life*. Lidisfarne Books, Great Barrington.
- Irigaray L, Marder M (2016) *Through Vegetal Being: Two Philosophical Perspectives*. Columbia University Press, New York.
- Izzo LG, Romano LE, de Pascale S, Mele G, Gargiulo L, Aronne G (2019) Chemotropic vs Hydrotropic Stimuli for Root Growth Orientation in Microgravity. *Frontiers in Plant Science* 10: 1547.
- Kacar B, Katkat AV, Öztürk Ş (2002) *Bitki Fizyolojisi*. Vipaş İnş. Tur. Eğt. A.Ş. Bursa.
- Karban R (2008) Plant Behaviour and Communication. *Ecology Letters* 11: 727-739.
- Karpinski S, Szechynska-Hebda M (2010) Secret Life of Plants. *Plant Signaling and Behavior* 5: 1391-1394.
- Kelly CK (1992) Resource Choice in *Cuscuta europaea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89: 12194-12197.
- Knight MR, Campbell AK, Smith SM, Trewavas A (1991) Transgenic Plant Aequorin Reports the Effects of Touch and Cold-Shock and Elicitors on Cytoplasmic Calcium. *Nature* 352: 524-526.
- Luan S (2011) Coding and Decoding of Calcium Signals in Plant Cells. *Signaling and Communication in Plants Series*, Springer, New York.
- Lush WM (1999) Whither Chemotropism and Pollen Tube Guidance? *Trends in Plant Science* 5: 413-418.
- Mancuso S (2019) *La Nazione Delle Piante*. Giuz. Laterza and Figli Spa, Roma
- Mancuso S, Viola A (2017) *Bitki Zekası. (Verde Brilliant). Çeviren: Almıla Çiftçi. Yeni İnsan Yayınevi. İstanbul.*
- McClintock B (1984) The Significance of Responses of the Genome to Challenge. *Science* 226: 792-801.
- Mullen JL, Weing C, Hangarter RP (2006) Shade Avoidance and the Regulation of Leaf Inclination in *Arabidopsis*. *Plant, Cell and Environment* 29: 1099-1106.
- Novoplansky (2016) Future Perception in Plants. In: Nadin N (ed.) *Anticipation Across Disciplines*, Springer, New York, 57-70.

- Özen HÇ, Onay A (2013) Hareket Fizyolojisi In: Özen HÇ, Onay A (ed.) Bitki Fizyolojisi, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 255-274.
- Paige KN, Whitham TG (1987) Flexible Life History Traits: Shifts by Scarlet Gilia in Response to Pollinator Abundance. *Ecology* 68(6): 1691-1695.
- Parise AG, Gagliano M, Souza GM (2020) Extended Cognition In Plants: Is It Possible? *Plant Signaling and Behavior* 15(2): e1710661.
- Pelt J-M, Mazoyer M, Monod T, Girardon J (2012) Bitkilerin En Güzel Tarihi. Çeviren: Nedret Tanyolaç. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları. İstanbul.
- Pollan M (2013) The Intelligent Plant. *The New Yorker* 89: 92-105.
- Pollan M (2011) Arzunun Botaniği. Çeviren: Sevin Okyay. Domingo Yayınları. İstanbul.
- Schmitt J, Dudley SA, Pugliucci M (1999) Manipulative Approaches to Testing Adaptive Plasticity: Phytochrome-Mediated Shade-Avoidance Responses in Plants. *American Naturalist* 154: S43-S54.
- Selvi E (2016) Bitki Farkındalığı ve İletişimi. *Orman ve Av Dergisi* 4: 33-40.
- Shepherd VA (2005) From Semi-Conductors to the Rhythms of Sensitive Plants: The Research of J. C. Bose. *Molecular and Cellular Biology* 51: 607-619.
- Silvertown J, Gordon DM (1989) A Framework for Plant Behavior. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 20: 349-366.
- Smith H (2000) Phytochromes and Light Signal Perception by Plants-An Emerging Synthesis. *Nature* 407: 585-591.
- Sparke MA, Wünsche JN (2020) Mechanosensing of Plants. *Horticultural Reviews* 47: 43-83.
- Thompson K (2019) Darwin'in En Güzel Bitkileri: Günümüzde Darwin Botaniği. Çeviren: M. Bona. Ginko Bilim Yayınları. İstanbul.
- Tompkins P, Bird C (1983) Bitkilerin Gizli Yaşamı. Çeviren: Sulhi Dölek. Sungur Yayınları. İstanbul.
- Trewavas A (2003) Aspects of Plant Intelligence. *Annals of Botany* 92: 1-20.
- Trewavas A (2014) *Plant Behaviour and Intelligence*. Oxford University Press. Oxford.
- Trewavas A (2017) The Foundations of Plant Intelligence. *Interface Focus* 7: 20160098.
- Trewavas AJ, Sexton R, Kelly P (1984) Polarity, Calcium and Abscission: Molecular Bases for Developmental Plasticity in Plants. *Journal of Embryology and Experimental Morphology* 83: 179-195.
- van Bel AJE, Furch ACU, Will T, Buxa SV, Musetti R, Hafke JB (2014) Spread the News: Systemic Dissemination and Local Impact of Ca²⁺ Signals Along the Phloem Pathway. *Journal of Experimental Botany* 65: 1761-1787.
- Vardar Y, Güven A, Ahmet M (1973) Bitkilerde Fitokrom Sistemi. *Acta Biologica Turcica* 23: 47-56.
- Volkov AG (2012) *Plant Electrophysiology: Methods and Cell Electrophysiology*. Springer, New York.
- Volkov AG (2019) Signaling in Electrical Networks of the Venus Flytrap (*Dionaea muscipula* Ellis). *Bioelectrochemistry* 125: 25-32.
- Volkov AG, Carrell H, Adesina T, Markin VS, Jovanov E (2008) Plant Electrical Memory. *Plant Signaling and Behavior* 3: 490-492.
- Whippo CW, Hangarter RP (2006) Phototropism: Bending Towards Enlightenment. *Plant Cell* 18: 1110-1119.
- Witzany G, Baluška F (2012) *Biocommunication of Plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wohlleben P (2018) Ağaçların Gizli Yaşamı: Ne Hissederler, Nasıl İletişim Kurarlar? Sırlarla Dolu Bir Dünyada Keşifler. Çeviren: Ali Sinan Çulhaoğlu. Kitap Kurdu Yayınları. İstanbul.

