

## **Biyosensörler ve Tarım Alanında Kullanımı**

**Burçin BOZ, İsmail Can PAYLAN, Mehmet Zeki KIZMAZ, Semih ERKAN**

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İzmir  
Sorumlu yazar: ismail.paylan@ege.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 06.06.2017 Kabul Tarihi (Accepted): 07.09.2017

**Özet:** Biyosensörler, bünyesinde biyolojik bir algılayıcısı bulunan ve bir fizikokimyasal çeviriciyle birleştirilmiş olan analitik cihazlar olarak tanımlanmaktadır. Bir biyosensör temel olarak biyoreseptör, dönüştürücü ve elektronik kısımdan oluşmaktadır. Biyoreseptör olarak en çok enzimler olmak üzere, nükleik asitler, mikroorganizmalar, organeller ve antikorlar gibi değişik biyomoleküller kullanılmaktadır. Dönüştürücü olarak en çok; elektrokimyasal elektrotlar, optik fiberler, transistörler, termistörler ve piezoelektrik kristaller kullanılmaktadır. Biyosensörlerin, eczacılık, tıp, tarımsal üretim, gıda işleme ve çevresel izleme faaliyetleri, askeri savunma sanayi gibi pek çok alanda uygulanma imkânı vardır. Biyosensörler, insanlarda, bitkilerde, hayvanlarda, gıdalarda, toprak, hava ve suda; pestisitler, antibiyotikler, patojenler, hastalıklar, toksinler, proteinler ve daha fazlasının spesifik, hassas ve hızlı ölçümünü sağlarlar. Biyosensörler düşük maliyet, hızlı sonuç ve yerinde analize imkân sağladığından özellikle çevresel analizlerde ve proses kontrollerinde diğer klasik analiz yöntemlerine göre önemli bir avantaj sunmaktadır. Biyosensörler sayesinde hastalıkların teşhisi, gıdaların kalite kontrolü, pestisitlerin veya zehirlerin belirlenmesi, sudaki organik kirliliklerin ölçülmesi, toksik maddelerin, ağır metallerin, patojenlerin tespiti kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece erken müdahale ile hastalıklar ileri safhalara geçmeden tedaviye başlamak mümkün olmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Tarım, biyosensörler, bitki hastalıkları, patojen

### **Biosensors and Their Using Areas in Agriculture**

**Abstract:** Biosensors are defined as analytical devices that have a biological sensor in their body and are combined with a physicochemical transducer. A biosensor consists essentially of a bioreceptor, a transducer, and an electronics section. As bioreceptors, various biomolecules such as nucleic acids, microorganisms, organelles and antibodies are used, mostly enzymes. As the converter, electrochemical electrodes, optical fibers, transistors, thermistors and piezoelectric crystals are used. Biosensors are available in many fields such as pharmacy, medicine, agricultural production, food processing and environmental monitoring activities, military defense industry. Biosensors provide specific, precise and fast measurement of pesticides, antibiotics, pathogens, diseases, toxins, proteins and more at humans, plants, animals, food, soil, air and water. Biosensors offer significant advantages over other classical analytical methods, especially in environmental and process control, as they provide low cost, rapid results and on-site analysis. Thanks to biosensors, detection of diseases, quality control of food, determination of pesticides or poisons, measurement of organic pollution in the water, detection of toxic substances, heavy metals, pathogens takes place in a short time. Thus, with early intervention, it is possible to start treatment without having to go to advanced stages of the diseases.

**Key words:** Agriculture, biosensors, plant diseases, pathogen

### **GİRİŞ**

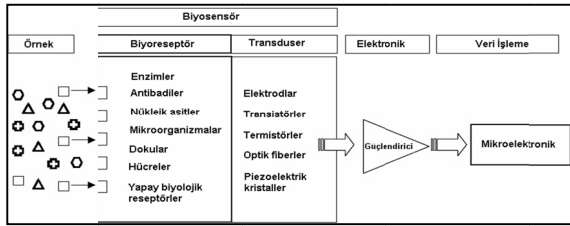
Biyosensörler, hastalıkların tanısında yeni bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyosensörler;

bünyesinde biyolojik bir algılayıcısı bulunan ve bir fizikokimyasal çeviriciyle birleştirilmiş olan analitik cihazlar olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak analizi

yapılacak madde (analit) ile seçici tanıma mekanizmasına sahip biyoaktif bir bileşenin, bu etkileşim sonucu ortaya çıkan sinyali ileten bir iletici sistemle birleştirilmesi ve bunların bir ölçüm sistemiyle kombinasyonu ile oluşturulurlar (Bulut, 2011). İlk biyosensör fikri 1950'li yıllarda biyosensörün babası bilinen L.C. Clark tarafından ortaya çıkmıştır. Clark bir ameliyat sırasında kandaki O<sub>2</sub> miktarını bir elektrot ile izlemiş, daha sonra Glikoz oksidaz (GOD) enzimi ile bu O<sub>2</sub> elektrodu sistemini birleştirmiş ve kandaki glikoz düzeyini ölçmeyi başarmıştır (Bulut, 2011). Böylece birçok maddenin tayini bu sistemle mümkün hale gelmiş ve geniş bir uygulama olanağı bulmuştur.

Biyosensörler ile *E.coli*, *Candida* gibi mikroorganizmaların; glikoz, alkol, CO, CO<sub>2</sub>, üre, pestisit, herbisit, aspirin, parasetamol, penisilin, kolesterol, amino asitler, organik asitler, vitaminler, toksinler, ilaçlar, metal iyonları, mikotoksinler, fenolik bileşikler gibi küçük moleküllerin; DNA, RNA, enzimler, proteinler, hormonlar, virüsler gibi makromoleküllerin tayini yapılabilmektedir (Otlar).

Biyosensörler; biyoreseptör, transducer (dönüştürücü, çevirici) ve biyosensör okuyucu cihazı (elektronik kısım) olmak üzere 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Biyosensörler genellikle biyoreseptörlere ya da dönüştürücüye göre sınıflandırılırlar. Bir biyosensörün yapısı ve çalışma prensibi genel olarak şekil 1'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 1. Biyosensörün yapısı ve çalışma prensibi (Anonim,2013)**

Figure 1. Biosensor structure and working principle (Anonim, 2013)

## BİYORESEPTÖRLER

Biyoreseptörler, biyosensör sisteminin en önemli bileşenidir. Biyoreseptörler, analiti fark edebilen biyomoleküllerdir. Biyoreseptörler; spesifik, kararlı, sadece analite duyarlı olmalı ve diğer moleküllerden etkilenmemelidir. Biyoreseptör olarak enzimler, nükleik asitler, mikroorganizmalar, organeller, doku kesitleri, antikolar gibi çok çeşitli biyomoleküller kullanılabilir

(Otlar, 2011). Hedef moleküllere karşı yüksek spesifiklik, uygulama ve kurulumdaki kolaylık, her türlü analizde kullanılabilecek çok sayıda ve çok çeşitli enzimin varlığı, ticari uygun dönüştürücü çeşitlerinin bolluğundan dolayı en çok bilinen ve kullanılan biyoreseptörler enzimlerdir. Uygun bir enzimin bulunamaması, enzimin kararsız olması, birden çok maddenin tayini gibi durumlarda biyoreseptör olarak enzimler değil hücre sistemleri ve mikroorganizmalar kullanılır (Uyar ve ark., 2017). Herhangi bir biyomolekülün biyoreseptör amaçlı kullanımı için tek koşul, molekülün istenilen analiti özgün olarak tanıma kapasitesine sahip olmasıdır.

## DÖNÜŞTÜRÜCÜLER (TRANSDUCER)

Dönüştürücüler, biyoreseptörün analiti fark ettiği esnada ürettiği fiziksel veya kimyasal sinyali elektrik sinyaline dönüştüren yapılardır (Anonim, 2013).

Dönüştürücü olarak en çok; elektrotlar, optik fiberler, transistörler, termistörler, piezoelektrik kristaller kullanılmaktadır. Uygun dönüştürücü seçiminde biyolojik elementin önemi büyüktür. Ve ölçülecek değişimler nanogram gibi çok küçük boyutlarda olduğu için o tepkime için en doğru ve sağlıklı yanıtı veren o tepkime için en ideal dönüştürücüdür (Mutlu, 2002).

Amperometrik esaslı biyosensörlerde; sabit potansiyelde oluşan akım ölçülür. Güvenilir, maliyeti düşük, duyarlı, seçici ve kolay bir yöntem olduğu için klinik, çevre ve endüstri alanında çok çalışılmıştır. Glikoz oksidaz (GOD) biyosensörü amperometrik esaslı bir biyosensördür.

Piezoelektrik enzim sensörleri; enzim moleküllerine substratların bağlanmasından dolayı meydana gelen kütle değişiminin, piezoelektrik kristalinde sebep olduğu farklanmadan yararlanarak madde miktarını ölçer. Bu tip biyosensörler NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO ölçümünde, virüslerin tayininde kullanılmaktadır.

Termistörler; enzimatik reaksiyondaki entalpi değişiminden yararlanarak madde konsantrasyonunu belirler.

Optik sensörler; optik lif üzerine enzim immobilize edilerek hazırlanırlar, ölçümde enzimatik reaksiyon sonucu oluşan ışık yayılımı esas alınır (Gökdoğan, 2011).

## **BİYOSENSÖR İMMOBİLİZASYONUNDA KULLANILAN TEKNİKLER**

İmmobilizasyon, enzimlerin çözünmeyen destek görevi gören materyaller (matriksler) yardımıyla suda çözünmeyen hale getirilmeleridir. Biyoreseptör ile iletici sistem olan dönüştürücünün birleştirilmesinde oldukça farklı immobilizasyon yöntemleri kullanılır. Bunlar; jel içinde tutuklama, polimer matrikste tutuklama, çapraz bağlama, kovalent bağlama, elektrot yüzeyinde biriktirme yöntemleridir (Ulu, 2014).

İmmobilize enzimlerin normal enzimlere göre; pH, sıcaklık gibi dış faktörlere daha dayanıklı olma, daha kararlı olma, reaksiyon sonunda ortamdaki kolayca uzaklaştırılabilme, birçok kez ve uzun süre kullanılabilme gibi bazı üstünlükleri vardır (Ulu, 2014).

## **BİYOSENSÖR ÇEŞİTLERİ**

Biyosensörler, kullanılan biyoreseptörlere göre enzim bazlı, hücre bazlı, DNA bazlı, antikor bazlı ve mikroorganizma bazlı olarak sınıflandırılabilirler;

Enzim bazlı biyosensörler; enzimler binlerce kimyasal arasından ilgili oldukları substratı seçer ve reaksiyonu katalizlerler. Tabii diğer tüm reaksiyonlarda olduğu gibi olumsuz koşullar enzimin aktivitesini yitirmesine ve bundan dolayı tayinin gerçekleşmemesine neden olabilir.

Hücre bazlı biyosensörler; reaksiyonu gerçekleştirecek olan enzim, hücre içinde bulunduğu ortamdaki koşullardan etkilenmez ve ayrıca enzimin saflaştırılması gibi zor ve maliyetli basamakların kullanılmasına gerek kalmaz.

DNA bazlı biyosensörler; DNA'nın türe özgü diziliminin hibridizasyonu ile virüsler gibi mikroorganizmaların belirlenmesi sağlanır. İlk olarak istenen hedef diziyeye karşılık gelen kısa bir baz dizilimine sahip sentetik oligomerin (prob) elektrot yüzeyine bağlanması ve sonrasında biyosensörün hedefi içeren bir örnek çözeltisine daldırılmasıyla elektrot yüzeyinde hibrit oluşumu sağlanır. Hibridizasyon, elektrokimyasal veya optik bir çevirici sinyali ile gözlemlenir (Aykut ve Temiz, 2006).

Antikor bazlı biyosensörler (İmmüno-sensörler); biyoreseptör olarak antikorların kullanıldığı biyosensörlerdir. Vücuda giren virüs, bakteri gibi yabancı organizmalara veya onların protein ürünlerine karşı bağışıklık sistemi hücreleri tarafından üretilen protein yapılı maddelere antikor denir. Antikorlar ve

antijenler arasında özgül etkileşim olduğundan immüno-sensörler ile spesifik ve duyarlı analizler yapılabilir. Antikor bazlı biyosensörlerin en önemli avantajı immünojen olmalarıdır. Bunun en önemli yararı, hedefin saptama öncesinde saflaştırılmasına ihtiyaç olmamasıdır. Hormon, ilaç, virüs, bakteri ve pestisitlerin tayini için immüno-sensörler geliştirilebilir (Otlu, 2011).

Mikrobiyal biyosensörler ise; canlı veya canlı olmayan mikroorganizmanın dönüştürücüye sabitlenmesi ile oluşturulur. Mikroorganizmalar olumsuz şartlara uyma gibi bazı avantajlara sahiptir.

## **BİYOSENSÖRLERDE BAZI ÖNEMLİ PERFORMANS KRİTERLERİ**

Üretilen bir biyosensörün pratikte kullanılabilmesi veya nitelikli bir biyosensör olarak kabul edilebilmesi için bazı parametrelere sahip olması gerekir. Bunlar;

- 1- Duyarlılık: cihazın ölçülecek maddedeki miktar değişimine bire bir cevap vermesi demektir.
- 2- Seçicilik: cihazın sadece analiz edilecek maddedeki özgünlüğünü gösterir. Cihaz başka reaktiflere ilgi göstermez ve hatalı sonuç vermez.
- 3- Ölçüm aralığı: cihazın ölçebildiği analit konsantrasyonunun aralığıdır.
- 4- Ölçüm süresi: bir tür cihazın ölçme hızını gösterir.
- 5- Tutarlılık: cihazın sonuçlarındaki tutarlılığı belirtir.
- 6- Tespit sınırı: cihazın tespit edebileceği en düşük konsantrasyonu ifade eder.
- 7- Ömrü: cihazın, performansında gözle görülür bir azalma olmadan verdiği hizmet süresidir.
- 8- Kararlılık: belirli bir süre içinde cihazın duyarlılığındaki veya baz çizgisinde değişimleri dikkate alan bir kalite ölçüm değeridir (Bulut, 2011).

## **BİYOSENSÖRLERİN UYGULAMA ALANLARI**

Biyosensörler en çok tıp alanında; kandaki pek çok biyolojik bileşenin tayininde kullanılır. Ticari olarak üretilen biyosensörlerin en büyük payı tıp alanındadır. İlk üretilen ve en çok kullanılan ticari biyosensör tıp alanında kullanılan Glikoz Oksidaz Biyosensörü'dür. Şeker hastaları için üretilmiş bu biyosensör ile hastalar evlerinde kolaylıkla ve kısa sürede kandaki glikoz seviyelerini ölçebilirler.

Yine tıp alanında, *Mycobacterium tuberculosis* bakterisinin neden olduğu insandan insana yayılan son derece bulaşıcı bir hastalık olan tüberkülozun tanısında

Yeni bir tanılama aracı olarak bir biyosensör ile çalışılmıştır (Mcnerney et al., 2010). Tüberkülozun laboratuvarında normal deri testleri ile teşhisinde en az 1-2 haftada sonuç alınırken; şekil 2’de gösterilen yüksek spesifiklik gösteren TB Breathalyzer biyosensörü ile 2 dakikada hastalığın tanısı yapılabilmektedir. Ayrıca tüberkülozu erken evrede tespit etmek için akıllı telefon tabanlı nanobiyosensörler de geliştirilmiştir (Mulpur, 2015; Srivastava et al., 2016).



**Şekil 2. TB Breathalyzer biyosensörü**

Figure 2. TB Breathalyzer biosensor

2002 yılında yapılmış bir habere göre, Ege Üniversitesi (EÜ) Eczacılık Fakültesinin geliştirdiği biyosensör adlı bir cihazın, bulaşıcı ve kalıtsal hastalıkların tanısını 15 dakikada yapabildiği belirtilmektedir.

TÜBİTAK BİLGEM ve Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ), işbirliğiyle geliştirilen MiSens isimli biyosensör, kanser tedavisinde kullanılan ilaçların insan vücudundaki DNA'ya hasar verebilecek özelliklerini belirleyebilecek bir cihazdır. Bu cihaz sayesinde kimyasalların anti-kanserojen etkisi olup olmadığının ön-taraması yapılarak konvansiyonel yöntemlere göre daha hızlı ve ucuz sayısal sonuçlar elde edilmektedir.

Tıp alanında biyosensörlerin önemli bir uygulama alanı da kanserlerin erken teşhisidir. Örneğin; erkeklerde sık görülen prostat kanserinde prostat spesifik antijen (PSA) denilen bir molekülün düzeyinde artış görülmektedir. Biyosensörler sayesinde PSA düzeyindeki en ufak bir artış dahi çok kısa sürede belirlenebilmektedir. Kanser hücrelerinin salgıladığı ve sadece onlara özgü molekülleri bu şekilde tespit edebilen biyosensörler ile kanserin erken teşhisi mümkündür (Şenel, 2013).

Ayrıca biyosensörler; tarım ve veterinerlikte tanı ve kalite kontrol, bakteriyel ve viral teşhis, eczacılıkta ilaç üretimi, madencilikte toksik gaz analizi, askeri savunma sanayisinde suçların tespit edilmesinde, gıdada tüm proseslerde kalite ve kontaminasyon

kontrolünde, endüstriyel atık su denetiminde, çevre koruma ve kirlilik kontrolünde toprak, hava ve sudaki toksik maddelerin tayininde, kimyasal ve karbon gibi biyolojik savaş ajanlarının tespit edilmesinde de kullanılabilirler (Kumar, 2016).

## **BİYOSENSÖRLERİN TARIMDA KULLANIMI**

Biyosensörler, tarımda genellikle pestisit, suni gübre, kötü koku ve bitki ve hayvan hastalıkları ölçümlerinde kullanılmaktadır (Li, 2006). Biyosensörler; toprakta ve yeraltı sularında pestisitlerin ve ağır metallerin seviyelerini ölçmekte, mevcut teknoloji ile mümkün olmayan toprak hastalıklarının olası oluşumunu tahmin etmekte kullanılabilir. Biyosensör kullanarak, daha erken bir aşamada toprak hastalıklarının önlenmesi ve dezenfekte edilmesi sağlanabilir (Bagde and Borkar, 2013).

Bilindiği gibi pestisitler tarımda sık olarak kullanılan insektisit, fungusit, herbisit vb. sınıflandırılan kimyasal maddelerin tümünü kapsar. Pestisitlerin insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur. Bu nedenle gıda maddelerindeki pestisit kalıntı miktarlarının daha önceden tespit edilip tolerans sınırlarını geçmemesi, gerek tüketici sağlığı açısından ve gerekse ihracat gıda ürünlerinin geri dönmemesi açısından büyük öneme sahiptir (Anonim, 2010). Tarımda pestisit analizlerinde; yüksek maliyetli ve deneyimli personel kullanımı gerektiren HPLC/DAD, LC/MS/MS ve GC/MS gibi kromatografik kimyasal analiz teknikleri kullanılmaktadır. Biyosensörler, bu ileri kimyasal analiz tekniklerine göre daha hassas bulunmuş, onlara alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir (Bahadır ve Pagano, 2014). Pestisit tayini için geliştirilen biyosensörlerde; enzim, antibiyo, hücre ve DNA teknikleri kullanılmıştır. Gökdoğan'ın 2011 yılında yapmış olduğu çalışmaya göre kolinesteraz temelli enzim biyosensörleri, pestisitlerdeki eser miktardaki organofosfatları ve karbametleri tayin etmekte kullanılmaktadır. Ayrıca pestisit tayinlerinde, guanin oksidasyonuna dayalı DNA biyosensörleri de kullanılmaktadır (Bahadır ve Pagano, 2014).

Biyosensörlerin tarımda bir başka kullanım alanı da bitki patojenlerinin özellikle de virüs ve bakterilerin hızlı tanısıdır. Bilindiği gibi funguslar, bakteriler, virüsler, viroidler, fitoplazma ve nematodlar gibi bitki patojenleri dünya çapında düşük tarımsal üretimin başlıca sebeplerinden biridir. Seralarda ya da tarla

koşullarında bir bitki hastalığını tedavi etmek için yapılacak ilk adım bitki patojenlerinin tanısıdır. Bitki patojenleri tespit etmek için ELISA gibi immünojenik teknikler ve PCR gibi DNA esaslı teknikler mevcut olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler zaman alıcı ve kullanımı basit olmayan ekipmanlar gerektirir, ayrıca in-situ analizler için de uygun değildir. Sonuç olarak; bitki hastalıklarının erken teşhisi için yeni biyosensör sistemlerinin geliştirilmesi yönünde artan bir ilgi vardır. Bu bağlamda yapılmış bir çalışmada; yerinde hızlı tespit için ucuz ve kullanımı kolay cihazların, piyasada bulunanların yanında araştırma geliştirme aşamasında da olduğu ifade edilmiştir (Khater et al., 2017).

Son zamanlarda viral patojenlerin saptanmasında da biyosensör kullanımı oldukça ilgi görmüştür. Virüsler, dünyada çok sayıda tarımsal bitki için önemli düzeyde ürün kayıplarına neden olmaktadır. Hastalıklı gıda, su, bitki, hayvan ya da insan örneklerinde virüslerin hızlı teşhisi mücadelede ön koşuldur. Günümüzde viral hastalıkların tespiti için en yüksek duyarlılık gösteren yöntem Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR)'dur. PCR; laboratuvar ekipmanı ve eğitilmiş personel gerektirir; uzun bir işlem süresi olup hızlı ve yerinde analiz yapma eksiği vardır. PCR'a alternatif olarak geliştirilen biyosensörler ile hızlı ve yerinde teşhis yapmak mümkündür. Örneğin; tarım alanında yapılan bir çalışmada, Mısır klorotik mozaik virüsü (MCMV)'nin SPR (Yüzey Plasmon Rezonans) temelli bir biyosensör ile hızlı bir şekilde tanısı yapılmıştır (Zeng et al., 2013). Fang ve Ramasamy 2015 yılında yayınladıkları bir makalede, son on yılda *Cowpea mosaic virus*, *Tobacco mosaic virus*, *Lettuce mosaic virus*, *Fusarium culmorum*, *Puccinia striiformis*, *Phytophthora infestans*, ve *Aspergillus niger* gibi bitki patojenlerinin tespiti için antikor bazlı biyosensörlerin kapasitesini gösteren birçok makalenin yayımlandığını belirtmişlerdir. Kumar ve ark., 2015 yılında, Patates Y virüsü (PVY) ve Hıyar mozaik virüsü (CMV)'nü tespit etmek için yeni, taşınabilir bir hücre biyosensörü sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın; tarla içi uygulamalar için uygun, taşınabilir bir bitki virüsü bulma sisteminin geliştirilmesine yönelik önemli bir adım olduğu bildirilmiştir. Khater ve ark.'nın 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada; dünya çapındaki laboratuvarlarda geliştirilmiş antibiyotik ve DNA bazlı biyosensörler gözden geçirilmiştir. Bu çalışmada CMV,

Patates X virüsü (PVX), Şarka virüsü (PPV) gibi bazı virüslerin antibiyotik temelli biyosensörler ile bazı virüs, bakteri ve funguslarda DNA temelli biyosensörler ile tanıldığı gösterilmiştir. Yapılmış çalışmalar incelendiğinde; bitki patojeni virüslerin yanında, tıp alanında HPV, HIV, Hepatit B ve C gibi insan patojeni virüslerin tanısı için geliştirilmiş biyosensörlerin varlığı da dikkat çekmektedir.

Tarımsal uygulamalarda kullanılan bir başka biyosensör örneği de Elektronik burun (E-nose)'dur. Elektronik burun, genellikle uçucu bileşiklerin ve kokuların tespiti, tanımlanması ve sınıflandırılması için kullanılan, insan koku alma işlevini taklit edebilen akıllı bir cihazdır. Tarımsal uygulamalarda; meyve olgunluk tayininde, toprak kaynaklı patojenlerin tespitinde, bakterilerin tespitinde, balıkların tazelik kontrolünde başarıyla uygulandığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Rahi and Pawar, 2017). Bu cihazın meyve olgunluk tayininde kullanımı şekil 3'de gösterilmiştir. 2007 yılında yapılan bu çalışmaya göre üzümde olgunluk tayininde elektronik burun cihazı kullanılmıştır (Patterson, 2007).



**Şekil 3. Meyve olgunluk tayininde elektronik burun cihazının kullanımı**

Figure 3. Use of electronic nose in determination of fruit maturity

Tarımda, aflatoksin, okratoksin gibi mikotoksinlerin belirlenmesinde de biyosensörler kullanılabilir. Mikotoksinler, küfler tarafından üretilen, insan ve hayvanlara toksik etkileri olan ikincil metabolizma ürünleridir. Ülkemizde son yıllarda tarım ürünleri için bazı yasal düzenlemeler yapılmış ve belli gıda maddeleri standartlarına, izin verilen en yüksek aflatoksin ve toplam aflatoksin üst sınırları belirlenmiştir. 2004 yılında yayınlanmış bir derlemeye göre; mikotoksinlerin belirlenmesinde, HPLC gibi kromatografik yöntemlerden ve antijen-antikor esasına dayalı ELISA yönteminden yararlanıldığı belirtilmektedir. Bu geleneksel yöntemlerin dışında mikotoksin analizi için biyosensörlerin kullanımının

daha iyi bulunduğu çalışmaların mevcut olduğu bildirilmiştir (Var ve ark., 2004). Amine ve ark.'nın 2006 yılında yaptıkları bir başka biyosensör çalışmasında ise zeytinyağında aflatoxin tespiti yapan bir biyosensör geliştirildiği bildirilmiştir.

Yapılan başka bir tarımsal çalışmaya göre *Pseudomonas syringae pv. tomato*, *Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria* gibi bakteriyel fitopatogenlerin tespitinde doğrudan patojen DNA'sının kullanıldığı akustik biyosensörler mevcuttur (Papadakis et al., 2015).

Soya pas (*Phakopsora pachyrhizi*) hastalığının tespiti için geliştirilen, antijen ve antikor etkileşimi üzerinde çalışan SPR temelli immunosensör, hastalığın erken safhalarında teşhisi sağlar ve hastalığın kontrolüne yardımcı olur (Mendes et al., 2009).

Hasançebi'nin 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada, kateşol gibi fenolik bileşiklerin tayininde polifenol oksidaz aktivitesi yüksek olan bitki dokularının biyoreseptör olarak kullanılması ile bitki doku temelli ekonomik ve kullanışlı bir biyosensör hazırlanmıştır.

Biyosensörler tarımda süt teknolojisi uygulamalarında da kullanılmaktadır. Özellikle sütte laktoz tayininde biyosensörler, güvenilir ve hızlı bir alternatiftir. Kazein gibi süt proteinlerinin belirlenmesinde, süt yağı ve süt vitaminlerinin tayininde, kalıntı, toksin ve patojen mikroorganizmaların tespitinde biyosensörler kullanılmaktadır (Himmetağaoğlu ve ark., 2016).

Son olarak, tarımda son yıllarda tartışılara konu olan, çeşitli ülkelerin biyolojik silah amaçlı kullandığı genetik olarak modifikasyona uğramış mikroorganizmaların tanımlanmasında da yeni bir yöntem olarak biyosensörler kullanılabilir (Minunni et al., 2001).

## **BİYOSENSÖRLERİN GIDA SEKTÖRÜNDE KULLANIMI**

Biyosensörler, gıda alanında gıda kalitesi ve güvenliği için kullanılmaktadırlar. Gıda kalitesi, temel olarak içeriğindeki biyokimyasal kompozisyona dayanır. Bunun için geliştirilmiş biyosensörler ile gıda maddelerindeki çeşitli bileşenlerin miktarlarına bakılarak gıda kalitesi hakkında bilgi edinilebilir.

Biyosensörler gıdalarda; şeker, vitamin, organik asit gibi temel beslenme bileşenlerinin tayininde,

tarımsal ilaçların kalıntı analizinde, aroma ve tazelik parametrelerinde (özellikle et ve balıkta), toksinlerin, mikotoksinlerin, alerjen ve mutajenlerin tespitinde, *Salmonella*, *Listeria* gibi mikroorganizmaların kontaminasyonunun tespitinde, antioksidant, antimikrobiyal maddeler ve katkı maddelerinin gıdalardaki düzeylerini belirleme gibi birçok yerde kullanılabilirler (Aykut ve Temiz, 2006).

## **BİYOSENSÖRLERİN ÇEVRE KORUMA VE KONTROLÜNDE KULLANIMI**

Biyosensörler, hava ve suyun çevresel atıklar (siyanür, ağır metaller), mikroorganizmalar (*E. coli*, *Salmonella*, *Listeria*) ve toksinler (aflatoxin) yönünden kontrolünde kullanılırlar.

Örneğin; toksisite tespit kiti "Microtox" isimli biyosensör cihazı, atıksu örneklerinde toksik kimyasalların tespitinde kullanılan, bakteri türleri ile elektronik ölçüm aletinin birlikte kullanıldığı portatif ya da laboratuvar tipi analiz cihazıdır. Bu biyosensör, biyoreseptör olarak tıpkı ateş böcekleri gibi ışık üreten biyoluminesans bir bakteri olan "*Vibrio fischeri*"yi kullanır. Bu bakterinin toksisite karşısında yaydığı ışık azalır. Bu sistem güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar verir. Sonuçlar yüksek hassasiyetlidir ve hatalı sonuç verme oranı çok düşüktür. Çok geniş aralıktaki toksik maddelerin hassas ve hızlı ölçümünü sağlar. Hızlı sonuç almak ise özellikle kamu kuruluşları için önem alınabilmesi için çok önemlidir (SDI, 2003).

Başka bir örnek ise atık su kalite kontrolü için BOİ-BOD (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) biyosensörü'dür. BOİ biyosensörü, *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas syringae* vb. bakterilerin kullanıldığı mikroorganizma temelli bir biyosensördür. Atık sudaki organik madde konsantrasyonu kirliliğin ölçütüdür, bu sistemle bakterinin kullandığı O<sub>2</sub> miktarı ölçülür. Standartlaştırılmış BOİ ölçümünde; atığa ön işlem uygulanır, karanlık ve oda sıcaklığında 5 gün inkübasyon süresi beklenirken; BOİ biyosensörleri 1 saat içinde 20 ölçüm sonucu verebilir (Otleş; Kara, 2009).

## **BİYOSENSÖRLERİN AVANTAJLARI**

Dış koşullarda güvenli analiz imkanı sunar, kısa ölçüm süresi ile hızlı ve doğru sonuç almak mümkündür, uzmanlık gerektirmez, yüksek spesifiklik ve hassasiyet gösterir, renkli ve bulanık çözeltilerde

geniş bir konsantrasyon aralığında doğrudan ölçüme imkan verir, örneğin analize hazırlanması işlemi daha kolaydır, örneğin laboratuvara transfer maliyeti yoktur, küçük örnek hacmi ile çalışır, konvansiyonel analiz tekniklerine göre daha düşük maliyetlidir, taşınabilir olabildiğinden yerinde analiz imkanı sunar, böylece kirlilik anında tespit edilebilir ve kirleticinin davranışı sürekli izlenebilir, kullanım kolaylığı sağlar, tasarlanan birçok biyosensör kullanıcı dostu arayüze sahiptir, multi-sensör sistemlerinin geliştirilmesi ile aynı anda birçok analitin tayini mümkün olabilmektedir.

### **BİYOSENSÖRLERİN DEZAVANTAJLARI**

Biyoreseptörlerin pH, sıcaklık, iyon konsantrasyonu gibi ortam koşullarından etkilenmesi, elektrotların iletkenliğini doğrudan etkilediği için biyosensörün kullanım ömrünü de kısaltır, elde edilen elektrik sinyali; analitin pozitif, negatif ya da nötr net yükü olup olmaması gibi birçok moleküler faktöre bağlıdır, ayrıca biyosensörlerin steril tutulabilmesi güçtür özellikle ısı sterilizasyonu mümkün değildir ve biyosensör hazırlamak uzun bir süreçtir.

### **LİTERATÜR LİSTESİ**

Amine, A., H., Mohammadi, I. Bourais, G. Palleschi, 2006. Enzyme Inhibition-based Biosensors For Food Safety And Environmental Monitoring, *Biosens. Bioelectron*, 21: 1405–1423.

Anonim, 2002. 15 Dakikada Hastalık Teshisi. <http://www.hurriyet.com.tr/15-dakikada-hastalik-teshisi-90905>, Erişim: Mayıs 2017.

Anonim, 2004. Breathalyser detects tuberculosis <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/3497900.stm>, Erişim: Eylül 2017.

Anonim, 2010. Gıdalarda Pestisit Kalıntıları. [http://www.diatek.com.tr/Makale-Yontem/Mikrobiyolojik-Analiz/Gıdalarda-Pestisit-Kalintilari\\_93.htm](http://www.diatek.com.tr/Makale-Yontem/Mikrobiyolojik-Analiz/Gıdalarda-Pestisit-Kalintilari_93.htm), Erişim: Mayıs 2017.

Anonim, 2013. Biyomalzemeler-Biyosensörler, [muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/bm04.pptx](http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/bm04.pptx), Erişim: Mayıs, 2017.

Aykut, U., H. Temiz, 2006. Biyosensörler ve Gıdalarda Kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3: 51-59.

Bagde V.L., D.B. Borkar, 2013. Biosensor: Use in Agriculture. *IJSR*, 2(10): 2277-8179.

Bahadır E.B., S.M. Pagano, 2014. Pestisit Analizlerinde Elektrokimyasal Biyosensörlerin Kullanımı. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2): 8-28.

### **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Bugüne kadar 180'den fazla farklı madde için biyosensör hazırlanmış, ancak dezavantajlarından dolayı 25 kadarı ticari olarak üretilmektedir. Bu biyosensör uygulamalarının da büyük bir kısmı tıp alanını kapsamaktadır.

Teknoloji geliştikçe ve biyosensörlerle bütünleştikçe biyosensörlerin tarla tarımı, bağ-bahçe tarımı, tarımsal üretim, hayvancılık, gıda sektörü ve çevre alanlarında kullanımı artacaktır; buna bağlı olarak biyolojik ve kimyasal etken maddelerin hızlı, belirli, hassas, düşük maliyetli, sahada, çevrim içi ve/veya gerçek zamanlı tespiti de gerçekleşmiş olacaktır (Li, 2006).

Biyosensörler hastalıklara erken müdahale imkânı sunmakta, hastalıklar ileri safhalara geçmeden tedaviye başlanmasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle biyosensörlerin tıpta önemli uygulamalarının yanı sıra, önümüzdeki yıllarda tarım, gıda ve çevre alanlarında da yaygın bir kullanıma sahip olacağı özellikle tarımda üretim ve kalitenin artırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bulut, Y., 2011. Biyosensörlerin Tanımı ve Biyosensörlere Genel Bakış, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

Fang, Y., R.P. Ramasamy, 2015. Current and Prospective Methods for Plant Disease Detection. *Biosensors*, 4: 537-561.

Gökdoğan, Ö., 2011. Lisin Tayini İçin Yeni Amperometrik Biyosensörlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi.

Hasançebi, Ö., 2008. Biyosensör Hazırlamada Enzim Kaynağı Olarak Değerlendirilmek Üzere Bazı Bitkisel Dokuların İncelenmesi. *Trakya Üniv. Fen Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi*.

Himmetağaoğlu, A.B., Z. Erbay, D. Baş, 2016. Biyosensörler ve Süt Teknolojisindeki Uygulamaları, Türkiye 12. Gıda Kongresi, 5-7 Ekim 2016, Edirne, Bildiri Özetleri Kitabı.

Kara, S., 2009. Mikrobiyal Biyolojik Oksijen İhtiyacı Biyosensörlerinin Geliştirilmesi. *Gebze İleri Teknoloji Ens. Mühendislik ve Fen Bil. Ens. Doktora Tezi*.

Khater, M., A. Escosura-Muniz, A. Merkoçi, 2017. Biosensors for Plant Pathogen Detection. *Science Direct Biosensors and Bioelectronics*, 93: 72-86.

Kumar, A., S.K. Dash, D.P.S. Suman, 2015. DNA Based Biosensors for Detection of Pathogens. *Plant Fungal Disease Management*, 31–35.

- Kumar, P., 2016. Biosensor, <https://www.slideshare.net/PAWANpawankamiya/biosensor-60259553>, Erişim tarihi: Mayıs 2017.
- Li, Y., 2006. Section 2.3 Biosensors, 52-93pp, of Chapter 2 Hardware, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology, (Çev. P. Demircioğlu ve İ. Böğreki), [www.tarmakbir.org/haberler/Kitap/5\\_2.3%20Biyosensörler.pdf](http://www.tarmakbir.org/haberler/Kitap/5_2.3%20Biyosensörler.pdf), Erişim: Mayıs 2017.
- McNerney, R., B.A. Wondafrash, K. Amena, A. Tesfaye, E.M. McCash, N.J. Murray, 2010. Field Test of a Novel Detection Device for *Mycobacterium tuberculosis* Antigen in Cough. *BMC Infect Dis.* 10: 161
- Mendes, R.K., R.F. Carvalhal, D.R. Stach-Machado, L.T. Kubota, 2009. Surface Plasmon Resonance Immunosensor for Early Diagnosis of Asian Rust on Soybean Leaves. *Biosensors and Bioelectronics*, 24: 2483-2487.
- Minunni, M, S. Tombelli, E. Mariotti, M. Mascini, 2001. Biosensors as New Analytical Tool for Detection of Genetically Modified Organisms (GMOs). *Fresenius J. Anal Chem.*, 369(7-8): 589-93.
- Mulpur P, 2015. Smartphone-based Nano-biosensors for Early Detection of Tuberculosis. Sri Sathya Sai Institute, <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=41286.php>, Erişim: Mayıs 2017.
- Mutlu, M., 2002. Yeni Ufuklara, *Biyomalzemeler. Bilim ve Teknik Dergisi*, Temmuz Sayısı, 17s.
- Otles, S., "Biosensors", Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, <http://eng.ege.edu.tr/~otles/Biyosensörler/turkce/yapi.html>, Erişim tarihi: Mayıs 2017.
- Otlu, B., 2011. Biyosensörler: Biyoreseptör Moleküller, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- Papadakis, G., N. Skandalis, A. Dimopoulou, P. Glynos, E. Gizeli, 2015. Bacteria Murmur: Application of an Acoustic Biosensor for Plant Pathogen Detection, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132773>, Erişim: Mayıs, 2017.
- Patterson, T., 2007. The Electronic Nose Knows <https://www.winesandvines.com/features/article/51554/The-Electronic-Nose-knows+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr>, Erişim: Eylül, 2017.
- Rahi, D., D. Pawar, 2017. Biosensors in agriculture. [https://www.biotecharticles.com/PDF\\_Articles/Biosensors\\_in\\_Agriculture\\_Deepali\\_Deepa\\_3774.pdf](https://www.biotecharticles.com/PDF_Articles/Biosensors_in_Agriculture_Deepali_Deepa_3774.pdf), Erişim: Ekim 2017.
- SDI, 2003. [http://www.yeneranalitik.com/toksisite\\_olcum\\_cihaz.html](http://www.yeneranalitik.com/toksisite_olcum_cihaz.html), Erişim: Mayıs 2017.
- Srivastava, S.K., C.J.M. Van Rijn, M.A. Jongsma, 2016. Biosensor-based Detection of Tuberculosis. *RSC Adv.*, 6: 17759-17771.
- Şenel, F., 2013. *Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık Sayısı, 44-45.
- Tübitak, 2016. <http://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/haber/tubitak-bilgem-ve-gtu-isbirligiyle-gelistirilen-misensin-devir-teslim-toreni-gerceklesti>, Erişim: Mayıs 2017.
- Ulu, S., 2014. Biyosensör Teknolojisinde İmmobilize Enzimlerin Kullanımı, <https://prezi.com/u408xdmwm2ev/copy-of-biyosensörler-immobilize-enzimlerin-kullanilmas/> Erişim: Mayıs 2017.
- Uyar, İ., Ö. Güven, I., 2017. Artıkta, *Biyolojik sensörler*, [kisi.deu.edu.tr/bulent.cavas/ders/bok10.ppt](http://kisi.deu.edu.tr/bulent.cavas/ders/bok10.ppt), Erişim: Mayıs 2017.
- Var, I., B. Kabak, M. Özkarslı, 2004. Mikotoksin Aranmasında Kullanılan Analiz Yöntemleri. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 2(11): 1-11.
- Zeng, C., X. Huang, J. Xu, G. Li, J. Ma, H. Ji, S. Zhu, H. Chen, 2013. Rapid and Sensitive Detection of Maize Chlorotic Mottle Virus Using Surface Plasmon Resonance-based Biosensor. *Analytical Biochemistry*, 440: 18-22.