
Derleme Makalesi / Review

Mikrobiyal Tabanlı Ped Biyosensörü ile Su Toksisitesi İzlenmesi

Beyzanur ÇAKAR*

Başkent Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği, Ankara

Öz

Hedef analitin konsantrasyonunu ölçülebilir bir nicelik olarak ifade eden cihazlara biyosensör denir. Biyosensörler biyolojik bir molekülün konsantrasyonunu ölçebilmekle birlikte tasarımına bütünleşmiş halde biyolojik molekül de barındırabilir. Biyosensörler oldukça hassas ölçüm yapan cihazlardır. Biyosensörler genel olarak kandaki hedef analiti izlemek amacıyla tıpta, gıdaların güvenilirliğini izlemek amacıyla da gıda sektöründe kullanılmaktadır. Ancak biyosensör tasarımlarının çeşitlenmesi ile birlikte kullanım alanları artmaktadır. Ortaya çıkan bu yeni kullanım alanlarından birine su toksisitesi analizi örnek olarak verilebilir. Su ekosistemi kirleticilere oldukça sık maruz kalır. Suyun kirliliğinin belirlenmesi, bu kirleticilerin yayılmasını engellemede birinci basamağı oluşturur. Biyosensör teknolojisi sayesinde su toksisitesi doğrudan ortamında izlenebilir hale gelmiştir. Su, formu gereğince analiz yapmak için uygun bir yüzey sunamaz bu nedenle biyosensör teknolojisinden faydalanarak su toksisitesini yerinde belirlemeye yönelik özel bir tasarım olan mikrobiyal tabanlı ped biyosensörü geliştirilmiştir. Bu derlemede biyosensör ve su toksisitesi kavramına değinilmiş ve mikrobiyal tabanlı ped biyosensörü genel bir bakış açısı ile ifade edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyosensörler, Mikrobiyal Biyosensörler, Su Toksisitesi.

Determination of Water Toxicity with Microbial Ped Biosensor

Abstract

Devices that express the concentration of the target analyte as a measurable quantity are called biosensors. Biosensors can measure the concentration of a biological molecule, at the same time may also contain a biological molecule integrated into its design. Biosensors are highly sensitive instruments. Biosensors are generally used in medicine to monitor the target analyte in the blood and in the food sector to monitor the safety of foods. However, biosensor application has increased with diversification of biosensor design. An example of this is the analysis of water toxicity to one of the new areas of use. The water ecosystem is exposed to pollutants quite often. Determination of the pollution of water is the first step in preventing the spread of these pollutants. Water toxicity can monitored directly in the its own space with biosensor technology. Water cannot offer a suitable surface for analysis because of the its form, so the microbial-based pad biosensor has been developed by using biosensor technology to determine the water toxicity. In this review, the concept of biosensor and water toxicity are mentioned and microbial-base pad biosensor has expressed with a general perspective.

Keywords: Biosensor, Water toxicity, Microbial Biosensors.

1. Giriş

Su insan vücudunda %70'lik bir paya sahip olup, bütün fizyolojik olaylarda görev alır. Fonksiyonel bakımdan hayati önem taşıyan suyun içerisinde insan sağlığına zarar verebilecek kimyasalların bulunmaması çok önemlidir. Kirli su kullanımı insanda protein ve hücre zarı hasarına yol açar. Tüm bu özellikleri göz önüne aldığımızda temiz suya olan ihtiyaç bir kez daha ortaya çıkar. Buna karşın su; akarsulara karışabilmesi, taşıyıcı ve çözücü özellikte olması sebebi ile oldukça kolay kirlenebilmektedir. Bu kirlilik fabrika atıklarının doğrudan akarsulara karışması ile olabileceği gibi, yol yüzeylerinin kirlenmesi ve yağmur suyu ile bu kirliliğin nehirlere oradan da denizlere dökülmesi şeklinde olabilir.

*Sorumlu yazar: bezacakar005@gmail.com.tr

Geliş Tarihi: 09.06.2018 Kabul Tarihi: 11.12.2018

Toksinler tarafından kirletilen su her zaman bulanık olmayabilir. Bu durumda su temizliğinin berraklık ile bir ilgisi olmadığı açıkça görülmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı su kirliliği analizi oldukça büyük bir önem kazanmıştır. Yukarıda belirtilen ihtiyaçlara öneri olarak su toksisitesini incelemek amacı ile biyosensör teknolojilerinden faydalanılabilir. Biyosensörler, biyolojik analizlerde kullanılan kimyasallara karşı oluşturulan cevapların optik, elektrik veya ısı şeklinde sinyallere dönüştürülmesi prensibi ile çalışır [1]. Biyosensör teknolojisinin gelişmesinin bir sonucu olarak farklı biyosensör tasarımları oluşturulmuştur. Bu tasarımlardan en sonuncusu biyoluminesans etkili mikrobiyal ped biyosensörleridir. Bu cihazlar, su toksisitesinin yerinde analiz için bir öneridir. Bu makalede su toksisitesi izlemede kullanılan mikrobiyal ped biyosensörü tasarımına değinilmektedir. Biyosensör teknolojisinin gelişmesi ile bu alandaki tasarımlar gelişme kaydetmeye devam edecektir.

2. Su Toksisitesi

Su tüm canlılar için tartışılmaz bir öneme sahiptir. Gerek vücut içi fonksiyonlarında gerek ise çevresel koşullarda tüm organizmalar tarafından ihtiyaç duyulur. Ancak başta vücut içinde olmak üzere suyun canlılar açısından kullanılabilir olması için ise suyun temiz olması gerekmektedir. Su yapısı gereği çözücü ve taşıyıcı olma özelliği gösterir. Bu durum suyun pek çok faktörle yüz yüze kalmasını sağlar ve suyun kirlenmesine sebep olur. Suyun kirlenmesine yol açan başlıca faktörler; endüstriyel ya da evsel atıklar olabileceği gibi karanın ve havanın kirlenmesi de dolaylı olarak su kirliliğine sebep olmaktadır. Günlük hayatta sık sık kullandığımız kimyasallar, hormonlar, toksinler gibi pek çok madde doğaya karıştığında kaybolmaz ve kirletici etki yapar. Bu sebeple tüm ekosistem kirlenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Kimyasal atıkların çoğu suyun taşıyıcı ve çözücü özelliğinden dolayı suya karışır. Bunun bir sonucu olarak da su kirlenmesi gerçekleşir. Her ne kadar su, belli bir değerdeki kirliliği tolere edebilse de kirleticilerin konsantrasyonu arttığında tüm ekosistem için sorun teşkil etmektedir [2]. Çeşitli sebeplerle kirlenen su, su kaynaklarına karıştığında insan ve hayvan sağlığıyla birlikte tüm ekosistemi tehdit eder hale gelir. Toksik madde içeren su, organizmaya pek çok yönden zarar vermektedir. Enfeksiyonlar, sinir sistemi ve iç organ hasarı; cilt ve gözde yara gibi komplikasyonlar toksik maddelerin oluşturduğu zararlı etkilere örnek olarak verilebilir [3]. Potansiyel su kirleticilerine ise çinko, arsenat, bakır ve cıva gibi ağır metaller, DMSO (dimetil sülfoksit), toluen ve formaldehit gibi organik çözücüler ve atozin, östron, bisfenol a ve nonilfenol gibi endokrin bozucular örnek verilebilir [2]. Özellikle sanayide kullanılan bu ürünler yıkıma uğradığında yapısındaki zararlı bileşenlerin havaya karışmasıyla dolaylı olarak, ya da doğrudan su kaynaklarına karışması ile kirlilik oluşturabilir. Bunlara ilave olarak su kirliliğine patojenler gibi başka faktörler de sebep olmaktadır. Bu derlemede ise kimyasal kaynaklı su toksisitesi ve toksisitenin yerinde analizi için geliştirilen biyosensör tasarımı genel hatları ile anlatılacaktır.

2.1. Su Toksisitesi Tespitinin Önemi ve Kullanılan Yöntemler

Su kirlendiğinde her zaman gözle görünür bir kirlilik oluşturmaz ve su kirliliği oldukça hızlı yayılır. Bu durum su toksisitesinin hassas ve hızlı bir şekilde belirlenmesine olan ihtiyacı doğrular. Başka bir deyişle kirlilik ne kadar çabuk tespit edilebilirse kirliliğin yayılması da o kadar çabuk engellenebilir. Bununla ilişkili olarak su toksisitesini incelemeye yönelik analiz cihazları tasarlanmıştır. Bu cihazlar genelde benzer prensipte olup sudan alınan örneğin bir analizör cihazı ile laboratuvar koşullarında izlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak su toksisitesinin yerinde izlenebilmesini sağlayan bir analiz cihazı laboratuvar koşullarına gerek duymaksızın anında ölçüm yapılabilmesi bakımından daha avantajlı olabilir. Analiz sistemlerinde sensörlere ihtiyaç duyulur ve bu sensörlerin hedeflenen maddeyi algılaması beklenir. Bir reseptör ve çevirici bileşenlerinden oluşturulan algılama sistemlerine ise biyosensör denmektedir. Biyosensörler hedef analiti hızlı ve hassas bir şekilde izlemeye olanak sağlayan cihazlardır. Günümüzde ise teknolojinin de gelişmesine paralel olarak çeşitli biyosensör tasarımları geliştirilmiştir. Bu durum biyosensörlerin kullanım alanı arttırmış ve aynı prensiple birbirinden farklı maddelerin analizi için kullanılabilir hale gelmiştir. Bu derlemede su toksisitesini yerinde izlemeye olanak sağlayan bir biyosensör türü olan mikrobiyal tabanlı ped biyosensörü üzerinde durulacaktır.

3. Biyosensörler

Biyosensörler biyolojik yapılarla elektriksel sinyaller arasında ölçülebilir bir ilişki kurarlar. Canlılar habitatlarında meydana gelen değişiklikleri algılayıp, ona uyum sağlayarak hayatta kalırlar. Biyosensörler de canlıların bu özelliğinden ilham alınarak tasarlanmıştır [4]. Biyosensörlerde hedef analiti izlemek amacı ile ileri teknolojik yöntemler kullanılır. Biyosensörlerin cevap süresi kısa olup aynı analizi tekrar tekrar uygulayabilir. Pahalı materyallere ihtiyaç duyulmaması ve taşınabilir olmaları biyosensörlerin avantajlarıdır. Biyosensörler temelde; reseptör ve fizyokimyasal çevirici olmak üzere iki bileşenden oluşur. Biyosensör ile analiz edilen maddeye hedef analit denir. Biyosensörler hedef analitin varlığını ve konsantrasyonunu ölçme özelliğine sahiptir [5]. Biyosensörlerde biyomateryal adı verilen yapılar kullanılabilir. Bu yapıların kullanım amacı biyosensörlerin işlevselliğinin arttırmaktır. Bu sayede biyosensörler daha geniş bir aralıkta analiz yapabilmektedir [6]. Biyosensörler temel ilke olarak bir enerji türünü başka bir enerji türüne çevirirler. Bu şekilde elde ettikleri iletiyi bir ölçüm sistemi ile ilişkilendirirler. Bu ilişkilendirmeyi sağlayan kaynak kullanılan çeviricilerdir [5]. Biyosensörler analiti izlemek için herhangi bir ön işleme gerek duymaz bu nedenle yerinde analiz amacı ile sıklıkla tercih edilmektedir [7]. Biyosensörler hedef analit odaklı çalıştığı için bir dedektör olarak da işlev sağlayabilir. Su ve hava gibi ortamlar toksik maddeler, patojenler, kimyasal atıklar gibi çeşitli kirleticiler ile kirlenir. Biyosensörler aranan maddenin ortamda bulunup bulunmamasını ayırt etme özelliğine dayanarak su ve hava kirliliğinin tespiti amacı ile kullanım önerisi oluşturmaktadır [8].

3.1. Biyosensörlerin Sınıflandırılması

Biyosensör cihazları reseptör ve dönüştürücü kavramı üzerine tasarlanmıştır. Farklı biyosensör tasarımlarında birbirinde farklı reseptör (tanımlayıcı) ve dönüştürücü (çevirici) kullanılmasına bağlı olarak çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir.

3.1.1. Kullanılan Reseptör Türüne Göre Biyosensörler

3.1.1.1. Enzim Tabanlı Biyosensörler

Enzimler kimyasal reaksiyonları katalizleyen protein yapılı in vitro koşullarda da faaliyet gösterebilen moleküllerdir. Enzimler hedeflediği moleküle anahtar kilit uyumu ile bağlanıp sadece bu uyumu gösteren moleküllerle çalışır. Yani enzimler hedef moleküle karşı oldukça yüksek seçicilik göstermektedir. Enzim tabanlı biyosensörlerde elektrotlardan biri istenilen enzimle kaplanır. Enzim analiz için molekülün ilgili çeviriciye yönelik dönüşüme uğramasını sağlar. Bu sayede hedef analit izlenmiş olur. Enzimin kullanılabilmesi için saflaştırılabilmesi gerekmektedir bu da maliyet sorununu beraberinde getirir. Ayrıca enzimler hedef moleküle spesifik olarak çalıştığı için birden fazla kimyasalın tespitinde yeterli cevabı oluşturamaz. Bu durumlar enzim biyosensörleri için dezavantaj olarak kaydedilebilir.

3.1.1.2. İmmüno Affinite\ Nükleik Asit Tabanlı Biyosensörler

Bu tip biyosensörlerde tanımlayıcı olarak antikor ya da nükleik asit (DNA, RNA) kullanılabilir. Affinite ve nükleik asit tabanlı biyosensörler hedef moleküle karşı yüksek seçicilik sahibi olmakla birlikte enzimlerden farklı olarak molekül ile daha kararlı bir formda bağlanır. Bu tip biyosensörlerde bağlanmayı arttırmak amaçlanır. Bağlanma ne kadar güçlü sağlanırsa analiz işlemi de o kadar hassaslıkla yapılmış olur. Tanımlayıcı olarak immüno affinite ya da nükleik asit kullanan biyosensörler genelde immünoloji alanında hastalıkların teşhisi ya da kanda belli bir molekül arandığı durumlarda tercih edilir.

3.1.1.3. Mikrobiyal Tabanlı Biyosensörler

Pek çok canlı organizma (bakteri, alg, mantar) biyosensörlerde kullanılmak için yüksek potansiyele sahiptir. Tasarımında tanımlayıcı yapı olarak mantar, bakteri ya da alg içeren biyosensörler mikrobiyal biyosensörler olarak sınıflandırılabilir. Bu tip biyosensörler biyolojik yapı ile ölçülebilir sinyal arasında

spesifik bir bağlantı kurabilmelidir. Bu sebeple analiz yapabilmek için hedef analite karşı seçiciliği olan özgül yapılar kullanılmaktadır. Mikrobiyal biyosensörler canlı hücre kullanımı ile oluşturulduğu için kolay elde edilebilmesi, ucuz olması, enzimden daha fazla kararlılık sağlaması ve hücre içi algılama mekanizmalarına sahip olması sebebi ile enzim tabanlı biyosensörlere kıyasla oldukça avantajlıdır. Mikrobiyal biyosensörler değişken sıcaklık, pH gibi çevresel koşullara karşı uyumlu olmalı ve bu değişkenlerden etkilenmemeli; ayrıca materyalin cihaz içerisinde bozulmasının ve kontaminasyona uğramasının önüne geçen bir tasarıma sahip olmalıdır. Mikrobiyal biyosensörlerin çalışma prensibinde çeşitli organik bileşikler mikroorganizmalar tarafından katabolizma reaksiyonuna uğrar ve bunun sonucunda bir metabolik ürün oluşur. Oluşan bu ürün biyosensörün algılayabileceği bir sinyale çevrilir. Biyosensörlerde biyolojik materyalin sızıntıya uğramaması oldukça kritiktir. Mikrobiyal biyosensörlerde biyolojik yapılar bir matris üzerinde hareketsizleştirilerek (immobilizasyon) kullanılır. Bu şekilde herhangi bir bileşenin karışması ve ölçüm sonucunu etkilemesinin önüne geçilir hem de olası sızıntılar engellenir. Sonuç olarak mikrobiyal biyosensörler enzim biyosensörlerinin sahip olduğu dezavantajların aksine birçok avantaja sahip olmakla birlikte kullanılan organizma türüne bağlı olarak tasarım çeşitliliği mevcuttur.

3.1.2. Kullanılan Çevirici Türüne Göre Biyosensörler

Biyosensörler tanıyıcı tabakadan tümüyle farklı olarak sadece çevirici mekanizmalarına göre de sınıflandırılabilir.

3.1.2.1. Elektrokimyasal Tabanlı Biyosensörler

Elektrokimyasal tabanlı biyosensör geliştirilen ilk biyosensör tasarımıdır, bu nedenle bu tip biyosensörlerin kullanımı oldukça yaygındır. Elektrokimyasal biyosensörler hedef analitin konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak elektrik sinyali üretir. Tasarımında genel olarak referans ve çalışma elektrodu adı verilen iki tip elektrot kullanılır [9]. Hedef analitin konsantrasyonuna yönelik sinyali, voltaj değeri olarak üreten biyosensörlere potansiyometrik; akım olarak üreten biyosensörlere amperometrik, ısı değeri olarak üreten ve açığa çıkan ısının ölçülmesi sistemine dayalı biyosensörlere ise kalorimetrik biyosensörler denir.

3.1.2.2. Piezoelektrik Tabanlı Biyosensörler

Piezoelektrik sensörlerde kuvars adı verilen materyaller kullanılır. Bu materyallerin kendine ait bir titreşim frekansı vardır ve üzerinde kütle biriktikçe bu frekansta azalma görülür. Başka bir deyişle bu sensörlerde kuvars maddenin azalan titreşimine bağlı olarak hedef materyalin kütlesi ölçülebilmektedir [10]. Piezoelektrik sensörler sıvı gaz fazda kullanılabilen farklı tasarımlara sahiptir. Özellikle immunosensör uygulamalarında sıklıkla tercih edilir.

3.1.2.3. Termal Tabanlı Biyosensörler

Termal enzim sensörleri bir enzimatik reaksiyonun entalpisindeki değişimi kullanarak hedef analitin konsantrasyonunu ölçer. Bu tip biyosensörler sıcaklıktaki çok küçük değişimlere bile yüksek hassaslık gösterir. Termal enzim tabanlı biyosensörlerde enzim bir kap içerisine sabitlenir ve reaksiyon burada gerçekleşir. Kapın sıcaklığındaki değişim izlenerek entalpi değişimi takip edilir [11].

3.1.2.4. Optik Tabanlı Biyosensörler

Optik tabanlı biyosensörlerde optik fiberler kullanılır. Optik fiber kablolar oluşan ışımayı kendi içinde yansıtarak ilerletir. Bu tip biyosensörlerde optik fiberin bir ucuna katalizör özelliği olan biyolojik molekül sabitlenir. Bu durumda hedef analitin varlığına bağlı olarak bir tepkime gerçekleşir ve ışımaya meydana gelir. Üretilen bu ışık optik kablolarla iletilir. Optik biyosensörler bu ışımaya eldesi ve ölçülmesi prensibine dayanır. Optik tabanlı biyosensörlerde elde edilen ışımaya floresan, kemilüminesans ya da biyoluminesans türünde olabilir. Floresan biyosensörlerde floresan boyalar ya da bazı moleküller etiketleyici olarak kullanılır. Bu etiketleyiciler sayesinde hem hedef analit hem de reseptör molekül

biyosensörlerin belirtilen analiz ihtiyacına cevap oluşturabilmesi hedeflenmektedir [21]. Bu tasarım için *Escherichia coli* bakterisinin DPD7294, TV1061, DPD2544 suşları kullanılmıştır. *E. coli* aslında lüminesans aktivitesi gösteremez fakat ilgili genler plazmit yolu ile aktarıldığında bazı suşları lüsiferaz aktivitesi kazanmış olur. Belirtilen suşlar rekombinant olup, *lux* (CDABE) operonunu içerir ve bu operondaki genlere rapörtör (haberci) gen denir [22]. *E. coli* operon genleri lüsiferaz enzimini kodlar. Rekombinant *E.coli* suşları hücrel stres koşullarında aktive olan, *recA* operonu sayesinde sadece kirleticilerin varlığında lüminesans etkisi gösterir. Su kirleticilerinin konsantrasyonu arttığında *E.coli* bakterisinin lüminesans aktivitesi de indüklenir [23]. Bakteri lüsiferaz enzimi, ATP varlığında flavin mononükleotit (FMN) ve aldehit içeren uzun zincirli bir yağın oksidasyonunu katalizler [24]. Bunun sonucunda yeşil ışık emisyonu oluşur. Rekombinant *E. coli* içeren bakteriyel esaslı biyosensörlerde *E. coli*, lüsiferin molekülünü hücre içinde üretebildiğinden dolayı dışarıdan herhangi bir substrat ilavesine gereksinim duymaz [25]. Bu sistemde toksik miktarı gibi bazı çevresel etkenler değiştiğinde lüsiferaz aktivitesi de takiben değişebilmektedir. Değişen lüsiferaz aktivitesi kullanılarak geniş çapta çevresel parametrelerin yüksek hassaslıkla analizi yapılabilir. Bu cihazlar *E. coli* de ekspresyona uğramış rapörtör genin aktivitesi sonucu oluşan lüminesans ile hedef molekülün konsantrasyonu arasında ölçülebilir bir ilişki kurmaktadır. Bu tip biyosensörler ile sudaki ağır metal ve zehirli kimyasalların tespitini yapmak mümkün olmaktadır [24]. *Lux* genine sahip 3 farklı *E.coli* suşuna (DPD7294, TV1061,DPD2544) ait hücrelerin kalsiyum aljinat çözeltisi ile karıştırılarak silindirik şeklinde bir yüzeye dökülmesi ile bir tabaka elde edilir. Elde edilen bu tabaka ped olarak tanımlanır. Aljinat sayesinde bakterilerin immobilizasyonu sağlanabilmektedir. Bu pedler biyosensörün içine yerleştirilebilir ve tek kullanımlıktır. Bu tasarım da ped *E.coli* bakterisi için bir hareketsizleştirme matriksi olarak görev almaktadır. Bakteri difüzyonunun sınırlanmaması ve hassas sonuç alınabilmesi için; sıcaklık, aljinat konsantrasyonu, bakteri konsantrasyonu gibi parametreler optimize edilmiştir [23]. Bu tip bir biyosensördeki en önemli parametre biyotayıyıcı (ped üzerinde hareketsizleştirilmiş *E. coli*) yoğunluğudur. Fazla sayıda hücre ölçülmekte olan sinyali arttırsa da aynı zamanda sinyali gölgeleyeceğinden algılama verisini düşürür [25]. Geliştirilen biyosensör iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan biri *E.coli* bakterisi ile hazırlanan aljinat pedleri, diğeri ise fotomultipler tüptür. Pedler fotomultipler tüpün uç kısmına yerleştirilir, lüsiferaz aktivitesi sonucu emisyonla uğrayan ışık yüzey boyunca yayılmaya uğrar ve bu durum biyosensördeki sinyali azaltıcı yönde etki yapar. Bu nedenle sinyali arttırmak için bir ışık kılavuzu kullanılır. Pedler tek kullanımlıktır ve hazırlandığından itibaren 12 ay boyunca +4°C de saklanabilmektedir. Bakterinin kirleticiye cevaben oluşturduğu biyoluminesans sinyali kirletici konsantrasyonuna bağımlıdır [23]. Bu sayede sudaki kirleticilerin konsantrasyonu biyosensör sinyallerinin bir verisi olarak ölçülür. Bakteriyel esaslı ped biyosensörleri mikroorganizma içeriği sayesinde çeşitli kimyasalların analizinde kullanılabilir [26].

5. Sonuç ve Öneriler

Biyosensörler sürekli izleme yeteneğine sahip yüksek hassaslıkla çalışan, çeşitli yollarla algıladığı verileri işleyerek bir veriye dönüştüren cihazlardır. Mikrobiyal ped biyosensörü optik çeviricili ve algılayıcı olarak ise mikrobiyal ajan içeren bir biyosensördür. Bu tasarım optik tabanlı olduğu için oldukça düşük maliyet gerektirir. Ayrıca kolay kullanılabilmesi, hassas sonuç vermesi, taşınabilir ve güvenilir olması bunlara ek olarak yerinde analiz olanağı sunması yönleriyle de oldukça caziptir. Kullanıcı için uzmanlık bilgisi gerektirmez ve pedler değiştirildiği sürece tekrar bir kullanım sağlanabilir. Pedler hazırlandıktan sonra uygun koşullarda 12 ay boyunca muhafaza edilebilir. Bu durum pedlerin taşınabildiği her ortamda analiz yapmaya olanak sağlar. Bu sistem, biyolojik sıvılarda sürekli ve hassas ölçüm yapabilmeye izin verir. Biyosensörlerin gelişimi teknolojinin ilerlemesine paralel olarak devam etmektedir. Farklı biyosensör tasarımları yapılmakta ve pek çok alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, yapılan tasarımlarda cevap süresini kısaltmak ve güvenilir sonuç almak kritik parametrelere sahiptir. Biyosensörler, içerisinde biyolojik materyal kullanımına olanak sunduğu için sahada önemli bir yere sahiptir. Mikrobiyal tabanlı ped biyosensörler ise su toksitesini yerinde ve hassas bir şekilde izlemek amacı geliştirilmiş tasarımlardır. Ped tasarımlarının geliştirilmesi ile birlikte daha geniş bir aralıkta kirletici analizi yapılabilir. Günümüzde mevcut olan tasarım ile aynı anda ancak tek bir toksik maddenin varlığı tespit edilebilmektedir. Tasarımın geliştirilmesi ile eş zamanlı olarak çoklu kirletici analizleri yapılabilecektir. Su toksitesinin yerinde ve hızlı tespit ihtiyacına

verdiği doğru cevap mikrobiyal tabanlı ped biyosensörü tasarımlarının desteklenmesi bakımından oldukça umut vericidir.

Kaynaklar

- [1] Bulut Y. 2011. Biyosensörlerin Tanımı ve Biyosensörlere Genel Bakış, 6th International Advanced Technologies Symposium, pp8-10, 16-18 Mayıs, Elazığ.
- [2] Can G., Yaşar Ş., Suğur N., Yürük T.A., Bayrak C., Suğur S., Türküm S. 1998. Editör Can G, Çağdaş Yaşam Çağdaş İnsan. Anadolu Üniversitesi, 133-134.
- [3] Pamay B. 1974. *Çevre Kirlenmesi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 0 (0):67-72.
- [4] Meyers M.A., Chen P.Y., Lin Y.A., Seki Y. 2008. Biological Materials: Structure & Mechanical Properties, Progress in Materials Science, 53 (1): 1-206.
- [5] Perumal V., Hashim U. 2014. Advances in biosensors: Principle, architecture and applications, Journal of Applied Biomedicine, 12 (1): 1-15.
- [6] Jorge. P.A.S. 2010. Fiber Optic Refractometric Configurations for Environmental Sensing, in: Proceedings, 3. WSEAS International Conference on Advances in Sensors, Signals and Materials, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), pp174-178, 3-5 November, Faro, Portugal.
- [7] Su L., Jia W., Hou C., Lei Y. 2011. Microbial Biosensors: A Review, Biosens And Bioelectronics. 26 (17): 88-99.
- [8] Gutes A., Cespedes., Alegret S., Del Valle M. 2005. Determination of Phenolic Compounds by A Polyphenol Oxidase Amperometric Biosensor and Artificial Neural Network Analysis, Biosensors and Bioelectronics, 20 (8): 1668-1673.
- [9] Aykut U., Temiz H. 2006. Biyosensörler ve Gıdalarda Kullanımı, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3 (51): 51-52.
- [10] Hammond J.L., Formisano N., Estrela P., Carrara S., Tkac J. 2016. Electrochemical Biosensors and Nanobiosensors, Essays in Biochemistry, 60 (1): 69-80.
- [11] Ader J.F., McCallum J.J. 1983. Piezoelectric Crystals For Mass And Chemicals Measurements, Analyst. 108 (1291): 1169-1189.
- [12] Mattiasion B.O., Danielsson B., Mosbach K. 1976. Enzyme Thermistor Assay of Cholesterol, Glucose, Lactose and Uric Acid in Standard Solutions as well as in Biological Samples, Analytical Letters. 9 (3): 217-234.
- [13] Ozoglu O., Unal M.A., Altuntas E.G. 2017. Biyosensörler: Gıda ve Sağlık Alanında Laktat Biyosensörleri, Türk Yaşam Bilimleri Dergisi, 2 (2): 180-193.
- [14] Turner A.P.F. 1989. Current Trends in Biosensor Research and Development. Sensors Actuators, 17: 433-450.
- [15] Thorpe G.H.G., Gillespie E., Haggart R. 1984. An immunoassay for serum thyroxine employing enhanced luminescent quantitation of horseradish peroxidase conjugates. In: Kricka L.J., Stanley P.E., Thorpe G.H.G., Whitehead T.P., eds. Analytical Applications of Bioluminescence and Chemiluminescence. London: Academic Press, 243.
- [16] Prévéral S., Brutesco C., Descamps E., Escoffier C., Pignol D., Ginet N., Garcia D. 2016. A Bioluminescent Arsenite Biosensor Designed for Inline Water Analyzer, Environmental Science and Pollution Research., 24 (1): 25-32.
- [17] Yüksel A., Yüksel M. 2017. Biosensor Technologies and Optical Biosensors for the Rapid Detection of Foodborne Pathogens , 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 21-23 Eylül, Bayburt.
- [18] Eltzov E., Yehuda A., Marks R. 2015. Creation of a New Portable Biosensor For Toxicity Determination, Sensors and Actuators B: Chemical, 221: 1044-1045.
- [19] Seitz R. 1988. Optical Sensors Based On Immobilized Reagents, Edited by Turner A., Karube I., Witson G. Oxford University Press, Uk, 599-616.
- [20] Park M., Tsai S-L., Chen W. 2013. Microbial Biosensors: Engineered Microorganisms as the Sensing Machinery, Sensors, 13 (5): 5777-5795.
- [21] Mccapra F. 1988. Potential Applications of Bioluminescence and Chemiluminescence in Biosensors, Edited By Turner A., Karube I., Witson G. Oxford University Press ,Uk, 617-633.

- [22] Sun J.Z., Kingori G.P., Si R.W., Zhai D.D., Liao Z.H., Sun D.Z., Zheng T., Yong Y.C. 2015. Microbial Fuel Cell-Based Biosensors for Environmental Monitoring: A Review. *Water Sci Technol*, 71 (6) :801-809.
- [23] Meighen E.A. 1993. Bacterial Bioluminescence: Organization, Regulation, and Application Of The Lux Genes, *FASEB J*, 7 (11): 1016-1022.
- [24] Aizawa, M., Karube I., Suzuki S. 1974. A Specific Bioelectrochemical Sensor for Hydrogen Peroxide, *Analytica Chimica Acta*, 69 (2): 431-437.
- [25] Liu H., Lin H., Mu Q., Lu X., Wang J., Khan M. 2014. Bioluminescence System Assisted by NAD(P)H Conversion to Increase The Sensitivity of Quantitative Bacterial Cell Assay, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26: 375-380.
- [26] Baldwin T.O., Christopher J.A., Raushel F.M., Sinclair J.F., Ziegler M.M., Fisher A.J., Rayment I. 1995. Structure of Bacterial Luciferase, *Curr Opin Struct Biol*, 5 (6) :798-809.