

Tarımsal Atıkların Çevre Dostu Plastiklere Dönüşümü

Son dönemin en popüler konularından biri olan doğada yok olabilen çevre dostu plastikler, gıda maddelerinden ve çoğunlukla da mısırdan üretildikleri için pek de insanın dostu gibi görünmüyor. Tarımsal atıklardan elde edilen çevre dostu plastikler ise umut vaat eden bir alternatif olarak karşımıza çıkıyor.





Sentetik plastikler, insan ve doğa

Sentetik plastikler ya da bir diğer deyişle petrol temelli plastikler ucuz ve dayanıklı olmaları, pek çok farklı uygulama alanında kullanılabilmeleri ve pek çok değişik şekle sokulabilmeleri gibi özellikleri nedeniyle yaşantımızın her alanında yer alıyor. Aslında, bazen farkında olmasak bile, yaşantımızda plastiğin olmadığı bir an bulmak hayli zor. Bazı plastiklerle uzun süreli ilişkimiz olur, örneğin cep telefonumuzun dış yüzeyini oluşturan plastik kılıfla. Bazı plastiklerle ise ilişkimiz hayli kısa sürelidir. Marketten alışveriş yaptığımızda evimize getirdiğimiz ve sonra belki de çöp torbası olarak kullanıp kapının önüne koyduğumuz plastiklerle olduğu gibi. Her ne kadar bizler bu ilişkinin süresini belirleyebilecek durumda olsak da, doğanın plastiklerle ilişkisinde durum farklı. Doğanın sentetik plastiklerle olan ilişkisi her zaman uzun süreli ve bu durum doğa açısından davetsiz bir misafirin yıllarca evinizde kalmasına benziyor, zira insanın tersine doğanın bu plastiklerden hiç bir kazanımı yok.

Doğaya verdikleri zarar dışında sentetik plastiklerle ilgili bir diğer önemli sorun ise, bu plastiklerin petrol temelli olması. Alışveriş torbalarının yapımında kullanılan polietilen gibi plastiklerin temel ham maddesi, petrol rafinerilerinde yan ürün olarak elde edilen maddelerdir (etilen). Petrolün yenilenebilir bir kaynak olmaması ve bir gün tükenecek olması, petrole bağımlı sentetik plastikler bağlamında düşünülmeye gereken önemli bir diğer sorundur.

Plastiklerin yaşantımızın her alanına girmesinden dayanıklı olmalarının rolü hayli büyük, fakat pek çok durumda bu dayanıklılık aslında gerekenden fazla. Hemen yemek üzere satın aldığımız bir sandviçin içinde verildiği ince plastik kutuları düşünelim. Bu tür bir plastiği kullanma süremiz, sandviçi yeme hızımıza bağlı olarak en fazla 15-20 dakikadır, ancak aynı plastiğin doğada kaybolma süresi yüzyıllar ile ifade edilir. Sentetik plastiklerin doğada bu kadar uzun bir süre varlıklarını sürdürebilmesinin başlıca nedenlerinden biri biyobozunur olmamalarıdır.

Biyobozunma nedir?

Biyobozunma doğaya bırakılan bir maddenin zamanla çeşitli mikroorganizmalar tarafından yapıtaşlarına ayrılması ve tüketilmesidir. Biyobozunmayı anlamak için ilk olarak plastiğin yapısını anlamak faydalı olur. Plastik olarak nitelendirdiğimiz malzemeler polimerlerden, yani kimyasal yapılardan oluşur. Polimerler yan yana dizilmiş ve birbirlerine kuv-

vetli kimyasal bağlarla bağlanmış monomer ismi verilen küçük moleküllerden meydana gelir. Polimerin yapıtaşları olan monomerlerden oluşan bu yapıya polimer zinciri adı verilir. Bir polimer zinciri yüz binlerce monomerin yan yana dizilmesiyle oluşabileceği gibi çok daha az sayıda monomerden de oluşabilmektedir. Pek çok monomerin bir araya gelmesinden oluştuğu için polimer molekülleri genellikle hayli büyük moleküllerdir. Plastik, üç boyutlu düzlemde bir arada bulunan ve birbirleriyle etkileşim içinde olan pek çok polimer zincirinin bir araya gelmesiyle oluşur.

Biyobozunmanın gerçekleşebilmesi için bozunmaya uğrayacak maddenin mikroorganizma için işe yarar olması, bir diğer deyişle mikroorganizmanın bu maddenin parçalanmasından bir kazanç olması gerekiyor. Çoğu zaman bu kazanç mikroorganizmanın biyobozunmaya uğraması istenilen maddede parçalayınca enerji ya da işine yarayacak çeşitli yapıtaşları elde edecek olmasıdır. Biyobozunma için gereken bir diğer önkoşul ise mikroorganizmanın, özellikle polimerler gibi uzun ve büyük moleküller yapılar söz konusu olduğunda, bu yapıları meydana getiren yapıtaşları arasındaki kuvvetli kimyasal bağları parçalayabilecek enzimlere sahip olmasıdır. Bu duruma kendi sindirim sistemimizle ilgili bir örnek verebiliriz. Bilindiği üzere pamuk insan için bir besin maddesi değildir. Selülozdan oluşan pamuk, sindirim sistemimizde parçalanmaya uğramaz ve bu nedenle bize enerji kazandıramaz. Ancak aynı durum nişasta için geçerli değildir. Nişasta içeren bir besin, örneğin patates tükettiğimizde nişasta sindirim sistemimizde önce yapıtaşlarına ayrılır, daha sonra vücudumuz bu yapıtaşlarından enerji elde eder. Aslında hem selüloz hem de nişasta yapıtaşları glikoz olan doğal polimerlerdir. Aralarındaki temel fark, yapıtaşlarının birbirlerine farklı şekilde bağlanmasıdır. Vücudumuzda nişastayı oluşturan glikoz molekülleri arasındaki bağları parçalayacak enzimler bulunurken, selülozu oluşturan aynı glikoz moleküllerinin arasındaki farklı türde bağları parçalayacak enzimler bulunmaz. Bu nedenle vücudumuz nişastayı parçalayarak glikoz elde edebilir ve glikozun da parçalanmasıyla enerji elde edebiliriz ancak nişastayla aynı yapıtaşından oluşan selüloz için bu durum geçerli değildir. Benzer şekilde, sentetik plastiklerin büyük kısmı doğada da bolca bulunan karbon ve hidrojen gibi elementlerin oluşturduğu moleküllerden meydana gelmesine rağmen pek çok mikroorganizma bu molekülleri birbirlerine bağlayan bağları kırabilecek enzimlere sahip olmadığından, polimer yapılarından herhangi bir enerji ya da yapıtaşı elde edemezler.

Bir polimerin biyobozunmaya uğrayabilmesi için uzun polimer zincirinin daha küçük parçalara ayrılması şarttır, çünkü polimer molekülleri mikroorganizmaların hücre zarından geçemeyecek kadar büyüktür. Yeteri kadar küçültülmüş moleküller mikroorganizmaların hücre zarından geçerek hücre içinde daha ileri düzeyde parçalanabilir ve mikroorganizmanın çeşitli işlevleri için kullanılabilir duruma gelir. Sentetik polimerler ise insan eliyle sentezlenmiş ve doğada bulunmayan kimyasal yapılardır. Bu nedenle doğada bulunan mikroorganizmaların pek çoğunda bu polimerlerin yapıtaşları arasındaki bağları parçalayabilecek ve polimer zincirini kısaltacak enzimler yoktur. Polimer zincirinin parçalanması, enzimlerin etkisi dışında güneş ışınları, sıcaklık, nem ve oksijenin etkisi gibi başka çevresel etkenlerle de meydana gelebilir. Bu şekilde yeteri kadar küçültülmüş sentetik polimerler, daha sonra mikroorganizmalar tarafından bozunmaya uğratılabilir fakat doğal koşullar altında sentetik polimer zincirinin parçalanması çok uzun sürer. Bir diğer değişle aslında sentetik polimerler doğada yüzyıllar boyunca hiç bozulmadan kalmazlar, polimer zincirleri zamanla parçalanır ancak bu süreç son derece yavaştır.



Biyobozunur plastikler

Biyobozunmayla ilgili olarak sentetik polimerler açısından geçerli olan bu durum, doğada halihazırda bulunan polimerler için geçerli değildir. Doğa bu polimerleri kendisi üretir ve yine doğada bulunan mikroorganizmalar bu polimerlerin yapıtaşları arasındaki bağları parçalayabilecek enzimler üretebilir. Bu nedenle nişasta ve selüloz gibi doğal polimerlerin biyobozunmaları doğada sentetik plastiklere kıyasla çok daha hızlı gerçekleşir.

Sentetik plastiklerle kıyaslandığında henüz hayli düşük bir pazar payına sahip olan biyobozunur plastiklerin kullanımı günümüzde hızla artıyor. Şu anda çeşitli alanlarda kullanılan biyobozunur plastikler içinde en yaygın olanlar nişasta temelli biyobozunur plastiklerdir. Nişasta temelli bu plastiklerin kullanımı, kısa süreli ancak yoğun olarak kullanıldıkları alanlarda -alışveriş poşetleri gibi- her geçen gün daha da yaygınlaşıyor. Nişastanın kullanımı, hem doğal ve yenilenebilir bir kaynak olması hem de nişastadan elde edilen plastiklerin mukavemetinin bu alanda kullanılan en yaygın polimer olan polietilene yakın olması nedeniyle hayli cazip. Doğal bir polimer olan nişastanın çeşitli kimyasal işlemlerle değiştirilip sentetik plastiklerin üretildiği ekipmanlarla üretilebilir hale getirilmesi de özellikle konunun ekonomik açıdan önemli diğer bir noktası. Nişasta temelli plastikler kadar yaygın olmasa da biyobozunur polimerler arasında önemli yer tutan bir diğer polimer de polilaktik asit. Bu polimerden elde edilen plastikler de hayli iyi mukavemete ve ayrıca saydamlık gibi çeşitli plastik uygulamalarında istenilen optik özelliklere de sahip. Fakat polilaktik asitin üretimi de günümüzde çoğunlukla nişastadan elde edilen glikoza dayanıyor. Ancak çoğunlukla mısırdan elde edilen nişastadan üretilen bu tür plastiklerin kullanımı arttıkça, bu plastikler en temel besin maddelerinden biri olan nişastanın gıdasal işlevi ile rekabete girecektir. Bu durum ise, dünyamızda gıda sıkıntısının ciddi bir sorun olduğu düşünüldüğünde, nişasta temelli bu tür plastiklerin yaygın olarak kullanılmasının önündeki en önemli soru işaretidir.

Tarımsal atıklardan elde edilen biyobozunur plastikler

Nişasta temelli plastiklerle ilgili sorunlar, biyobozunur plastiklerin gıdasal işleve sahip olmayan doğal kaynaklardan elde edilmesini gündeme getiriyor. Tarımsal atıklar, hem ekonomik değerlerinin son derece düşük olması hem de gıdasal herhangi bir işlevle-



rinin olmaması nedeniyle, biyobozunur plastik üretimine ham madde teşkil etmek açısından hayli uygun kaynaklardır. Ayrıca tarımsal atıkların sınırlı kullanım alanına sahip olması ve bertaraf edilmelerinin sıkıntı yaratması bu atıkların değerlendirilmesini önemli hale getirmektedir. Biyobozunur plastik üretimi için tarımsal atıkların değişik kısımlarının (gövdelerive sapları gibi) kullanılması mümkündür. Tarımsal atıklardan biyobozunur plastik üretiminde bitki hücrelerinin duvarı temel alınır. Bitkilerin hücre duvarları iç içe geçmiş farklı üç polimerden oluşur. Bu polimerler selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Bu üç polimerin oluşturduğu yapıya lignoselülozik yapı adı verilir.

Hemiselüloz, doğada selülozdan sonra en çok bulunan ikinci polimer olmasına rağmen kullanım alanı hayli kısıtlıdır. Hemiselüloz biyobozunur bir polimer olduğundan çevre dostu plastiklerin üretimi için uygun bir aday olarak görülüyor. Tarımsal atıklardan hemiselüloz temelli biyobozunur plastik üretimindeki en önemli aşama, bitkinin hücre duvarında bulunan lignoselülozik yapıdan hemiselülözün ayrıştırılmasıdır. Bu işlem sırasında ilk olarak çeşitli kimyasal işlemlerle üçlü polimer yapısını bir arada tutan bağlar kırılır, ardından da serbest hale gelen hemiselülözün uygun sıvı ortama geçmesi sağlanır. Sıvı ortamda çözülmüş halde bulunan hemiselülöz, sıvının buharlaştırılması ya da sıvıya hemiselülözün çökmesini sağlayan maddelerin eklenmesiyle

elde edilir. Bu şekilde elde edilen hemiselülöz gıda paketlenmesi, alışveriş poşeti gibi uygulamalarda kullanılabilir. Çeşitli hububatların sapları ve kepekleri, mısır koçanı, saman ve talaş gibi tarımsal atıklar kullanılarak üretilen plastik filmlere bilimsel yayınlarda rastlanmaktadır.



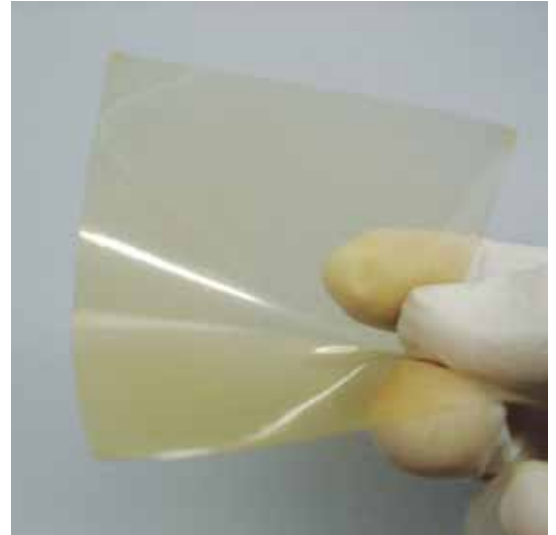
Hemiselüloz temelli plastik filmlerin biyobozunur olmak dışında en önemli özelliklerinden biri, çok düşük oksijen geçirgenliğine sahip olmaları yani bir diğer deyişle oksijene karşı çok iyi bir bariyer oluşturmalarıdır. Oksijen geçirgenliği özellikle gıda paketlenmesi alanında en önemli konulardan biridir, çünkü oksijen mikroorganizmaların çoğalmasını da teşvik eden bir faktör olduğundan varlığı gıdanın raf ömrünün kılmasına neden olur. Günümüzde gıda paketlenmesi uygulamalarında oksijen geçirgenli-

ğini düşürmek ve gıdaların tazeliğini daha uzun süre muhafaza etmek amacıyla etilen vinil alkol ya da alüminyum folyo gibi yüksek oksijen bariyeri özelliği bulunan malzemeler kullanılıyor. Hemiselüloz temelli plastik filmlerin oksijen bariyeri özelliği ise bu malzemelere biyobozunur ve doğal bir alternatif olduğundan, hemiselüloz temelli filmlerin ticarileşmesinde önemli rol oynuyor. Örneğin günümüzde hemiselüloz temelli plastik filmlerin ticarileşmiş tek uygulama alanı, filmlerin bariyer özelliklerinin diğer sentetik plastikler ya da karton temelli ambalajlarla birlikte kullanılması sonucu karşımıza çıkıyor. Literatürde bu uygulama dışında çeşitli örnekler olmasına karşın, bu plastiklerin başka malzemelerle desteklenmeden tek başlarına kullanıldığı ticari bir uygulama henüz yok. Ancak lignoselülozik tarımsal atıklara olan ilginin hızla arttığını düşünürsek, yakın zamanda bu tarz ticari uygulama alanlarının da ortaya çıkacağını öngörmek yanlış olmaz.

Lignoselülozik tarımsal atıklardan biyobozunur plastikler üretmenin bir diğer avantajını anlamamız için daha geniş ölçekli düşünmemizde fayda var. Petrolün gün geçtikçe tükenmesi ve petrol fiyatlarındaki artışların da etkisiyle, çevreci bir yakıt olan etanolün üretimi son yıllarda büyük önem kazandı ve her geçen gün bu yakıtın kullanımı ve buna paralel olarak da üretim kapasitesi artıyor. Ancak tıpkı biyobozunur plastiklerin üretiminde olduğu gibi, etanolün üretildiği temel kaynak da mısır nişastası. Bu durum mısır fiyatlarında artışa, hatta ABD gibi mısır üreticisi büyük ülkelerin bile zaman zaman mısır ithalatını düşürmesine neden oluyor. Her ne kadar yenilenebilir bir kaynak olsa da, mısırın dünyanın her geçen gün artan etanol talebine cevap vermesi, besin olarak da tüketildiği düşünüldüğünde

uzun vadede zor görünüyor. Bu nedenle pek çok ülke mısıra alternatif oluşturacak ham madde arayışı içinde; bu alternatifler içinde öne çıkanlardan biri de lignoselülozik tarımsal atıklar. Lignoselülozik atıklardan etanol üretimi için ilk olarak lignoselülozik yapının parçalanması ve bu yapı içinde yer alan selülozun ayrıştırılması gerekiyor. Bu işlem sırasında biyobozunur plastiklerin üretilebileceği hemiselüloz bir yan ürün olarak açığa çıkıyor. Lignoselülozik atıklardan etanol üretiminin önündeki en büyük engellerden biri, bu işlemin maliyetinin nişasta temelli üretim sistemine kıyasla daha fazla olmasıdır. Yan ürün olarak ortaya çıkan hemiselüloz biyobozunur plastik üretiminde kullanılabilir olması ise fazladan bir katma değer yaratarak, lignoselülozik tarımsal atıklardan etanol üretimini daha rekabetçi hale getiriyor. Bir diğer deyişle hemiselüloz temelli biyobozunur plastiklerin tarımsal atıklardan etanol üretim sürecine uyumlu olması, bu tür plastiklerin potansiyel avantajlarından biridir.

Hem bilimsel yayınlar hem de ticari uygulamalar göz önüne alındığında, tarımsal atıklardan hemiselüloz temelli biyobozunur plastiklerin üretilmesi, nişasta temelli biyobozunur plastiklere göre daha yeni bir konu. Bu durum da hemen hemen her yeni teknolojide olduğu gibi beraberinde henüz tam olarak çözülememiş bir takım sorunlar getiriyor. Bu sorunlar arasında bu tür plastiklerin suya karşı dirençlerinin düşüklüğü önemli yer tutuyor. Hemiselüloz temelli biyobozunur plastikler suya maruz kaldıklarında ya da yüksek nemli ortamlarda bırakıldıklarında çok kısa süre içinde mukavemetlerini kaybediyorlar. Ayrıca bu plastiklerin önemli bir özelliği olan oksijen bariyeri özelliği de bu koşullar altında ortadan kalkıyor. Konuyla ilgili son yıllarda



ki bilimsel yayınlar göz önüne alındığında, bu sorunu çözmek için değişik yaklaşımlar olduğu gözlen- se de henüz üzerinde fikir birliği bulunan bir yakla- şım yok. Hemiselüloz temelli plastiklerin bir diğer sorunu ise bu tür plastiklerin özellikle sentetik plas- tiklerle kıyaslandıklarında, istenilen mukavemete sahip olmaması. Bu konuyla ilgili olarak da çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın henüz bu plastikler mukavemetleri açısından istenilen düzeye getirile- bilmiş değil.



Ülkemiz tarımsal üretim ve bunun sonucu ola- rak da tarımsal atıklar açısından dünyanın sayılı ül- keleri arasında yer alıyor. Ülkemizde pamuk, ayçi- çeği, mısır, buğday ve şeker pancarı gibi tarımsal ürünlerden yıllık 40-50 milyon ton civarında ta- rımsal atık ortaya çıkıyor. Ancak bu tarımsal atıklar çoğunlukla hayvan yemi gibi düşük katma değerli ürünler olarak değerlendirilirken bir kısmı da hiç değerlendirilmiyor. Tarımsal atıklardan hemiselü- loz temelli biyobozunur plastik filmlerin üretilmesi ile ilgili olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kim- ya Mühendisliği Bölümü Endüstriyel Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda Prof. Dr. Ufuk BakırBölükbaşı'nın liderliğindeki araştırma grubunun yapmakta oldu- ğu çeşitli araştırmalar var. TÜBİTAK tarafından da desteklenen bu araştırmalarda özellikle ülkemizde yüksek miktarda üretilen pamuk ve ayçiçeğinin ta- rımsal atıkları olan pamuk sapı ve ayçiçeği sapı gibi lignoselülozik yapılardan biyobozunur plastik film- ler üretiliyor ve bunların çeşitli özelliklerinin iyileş- tirilmesi üzerine çalışmalar yapılıyor. Pamuk ve ay- çiçeği sapından üretilen plastik filmlerin biyobozu- nurluk testlerinden elde edilen sonuçlara göre, bu plastikler çevreden alınan toprak altında herhangi bir özel mikroorganizma türüne ihtiyaç duymadan

6 ila 8 ay içinde kütlelerinin önemli bir kısmını kay- bediyor. Bu sonuç, pamuk sapı ve ayçiçeği sapı gibi tarımsal atıklardan üretilen hemiselüloz temelli bi- yobozunur plastiklerin, sentetik plastiklerin yüzyıl- lar süren bozunma süreçleri göz önüne alındığında, toprak altında hayli hızlı bir şekilde biyobozunmaya maruz kaldığını ortaya koyuyor. Örneğin ülkemizde yüksek miktarda üretilen pamuğun hasat sonrası- da tarlada bırakılan ve anız olarak adlandırılan sap kısımları yakılıyor. Bu durum çevreye karbon mo- noksit gibi zararlı gazların yayılımına neden olduğu gibi, zaman zaman bitişik alanlara da sıçrayarak or- man yangınlarına neden olabiliyor. Bu nedenle, bu tür atıklardan faydalanılması ayrıca önem taşıyor.

Sonuç olarak sentetik plastiklerin doğada, kulla- nım sürelerine oranla çok daha uzun süre varlıklarını sürdürmesi yüzünden çevresel kirliliğe neden ol- maları, petrole bağımlı olmaları, doğada mikroor- ganizmalar aracılığıyla yok olan biyobozunur plas- tiklere olan ilgiyi ve ihtiyacı her geçen gün artırıyor. Ancak günümüzde biyobozunur plastiklerin önemli bir kısmının aslen bir gıda maddesi olan nişastadan üretilmekte olduğu gerçeği ve hâlihazırda önem- li bir sorun olan dünyadaki gıda sıkıntısı göz önü- ne alındığında, bu tür nişasta temelli plastiklerin yüksek miktarlarda üretilmesi sonucunda daha cid- di problemlerin ortaya çıkacağı öngörülüyor. Bu ne- denle gıdasal işlevi bulunmayan, ucuz, yüksek mik- tarlarda üretilen ve sınırlı kullanım alanı olan lig- noselülozik tarımsal atıklardan üretilen biyobozu- nur plastikler, nişasta temelli biyobozunur plastikle- re önemli bir alternatif oluşturuyor. Yüksek miktarda tarımsal atığın üretildiği bir ülke olarak Türkiye, bu tür ürünlerin geniş ölçekte üretilmesi için özel- le elverişli bir konumda. Tarımsal atıklara işe ya- ramayan ve bertarafı sıkıntı yaratan maddeler ola- rak bakmak yerine, onları doğal zenginliğimiz ola- rak görmemiz ve onlardan çeşitli teknolojiler yar- dımıyla yüksek katma değerli ürünler elde etmeye odaklanmamız gerekiyor.

Kaynaklar

- Hansen, N. M. L., Plackett, D., "Sustainable Films and Coatings from Hemicelluloses: A Review", *Biomacromolecules*, Cilt 9, Sayı 6, s.1493-1505, 2008.
- Göksu, E. L., Karamanlioğlu, M., Bakır, U., Yılmaz, L., Yilmazer, Ü., "Production and Characterization of Films from Cotton Stalk Xylan", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Cilt 55, Sayı 26, s.10685-10691, 2007.
- Kayserilioğlu, B. Ş., Bakır, U., Yılmaz, L., Akkaş, N., "Use of xylan, an agricultural by-product, in wheat gluten based biodegradable films: mechanical, solubility and water vapor transfer rate properties", *Bioresource Technology*, Cilt 87, Sayı 3, s.239-246, 2003.

- <http://www.xylophane.com>
<http://www.ers.usda.gov/amberwaves/april06/features/ethanol.htm>
 Erdalli, Y., Uzun, D., "Türkiyedeki tarım atıklarının ve tatlı sorgumun enerji eldesi amacıyla değerlendirilmesi"
http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/a029f04d76d32e7_ek.pdf?dergi=177



1982'de İstanbul'da doğdu. Lisans öğrenimini ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2009'da tarımsal atıklardan biyoplastiklerin üretimini konu alan teziyle ODTÜ Biyoteknoloji Bölümü'nden yüksek lisans derecesi aldı. Halen ODTÜ Biyoteknoloji Bölümü'nde doktora öğrencisi olarak tarımsal atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesi ile ilgili çalışmalar yapıyor.

