



Tekstilde Kullanılan Bazı Biyopolimerlerin Tarıma Uygulanabilirliği

Yasemin AKBULUT^a, Meliha OKTAV BULUT^{b*}

^{a, b} Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü 32260 Çünür-İSPARTA
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oktavbulut@sdu.edu.tr

ÖZET:

Biyoçözünür polimerlerin toprak düzenleyici, kontrollü gübre ve sulayıcı olarak kullanılmasına dair yapılan çalışmalar son zamanlarda artmıştır. Bu derlemede, tekstilde önemli bir kullanım alanına sahip kolay parçalanabilir ve geri dönüşümlü polimer polivinilalkol (PVA), karboksimetil selüloz (CMC) ve doğal polimer olan kitosanın tarımda kullanılabilirliği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyopoimer, Polivinilalkol (PVA), Karboksimetil selüloz (CMC), Kitosan, Bitki besleme.

Agriculture Applicability of Some Biopolymers Used In Textile

ABSTRACT:

Recently, applications of biodegradable polymers as soil-regulative or slow-released have increased. In this study the agricultural usability of polyvinilalcohol (PVA), carboxymethyl cellulose (CMC) which are biodegradable and recyclable and the natural polymer chitosan are investigated.

Keywords: Biopolymer, Polyvinylalcohol (PVA), Carboxymethyl cellulose (CMC), Chitosan, Plant nutrition.

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, beslenme ve iş gücüne etkisi, ülkenin milli gelirine katkısı ve sanayi sektörüne sağladığı hammadde ile ekonomik, sosyal bir sektör olma özelliğini korumaktadır. Tarım; iklim, toprak ve yer şekilleri gibi doğa koşullarına büyük ölçüde bağlılık gösterse de bitki beslemenin önemi de yadsınamaz. Su (H₂O) ve karbondioksiti (CO₂) sentezleyerek organik madde üretemeyen hayvan ve insanlar gereksinim duydukları organik bileşikleri, vitamin ve mineralleri yedikleri bitki ve bitkisel ürünlerden almaktadırlar. Bu nedenle insan ve hayvanların sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri, bitkilerin yeterli beslenmeleriyle ilgilidir.

2. KONU KAPSAMI

A. BİTKİ BESLENMESİ İÇİN GEREKLİ OLAN ELEMENTLER

Toprak bozulmasına sebep olan faktörlere bağlı olarak yapısı bozulan, verimliliğini ve üretkenliğini kaybeden toprakların ıslah edilmesi, strüktürel açıdan geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla günümüzde çok çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Ancak uygulanan yöntemlerin ekonomik açıdan uygun olması, hem toprak yapısını düzenleyici hem de bitki gelişimini artırıcı olması zorunludur. Toprak düzenleyicisi olarak kullanılan ve aynı zamanda doğrudan ve dolaylı bir şekilde bitki gelişimini artıran

toprak düzenleyicilerinin kullanılmasının gerekliliği her geçen gün daha iyi bir şekilde anlaşılmaktadır.

Strüktür, toprakların su ve hava geçirgenliklerini, su ve hava kapasitelerini, bitki besin maddelerinin yayılabilirlik derecelerini, mikroorganizmaların aktivitesini, kök nüfuzunu, toprağın işlenme kolaylığını önemli ölçüde etkilemektedir. Toprak strüktürü bir bitki büyüme faktörü olmamasına rağmen, bitki büyümesi ile dolaylı olarak yakından ilgilidir. Bu nedenle, toprak üretkenliğinin artırılması için strüktürün geliştirilmesi gerekmektedir [1].

Bitki gelişmesi için mutlak gerekli olan ve Tablo 1'de verilen elementlerden ilk 9 tanesi "makro element" olarak diğerleri ise "mikro element" olarak isimlendirilirler. Makro ve mikro kavramları, bu elementlerden bazılarının daha önemli olduğu biçiminde yorumlanmaktadır. Bu elementlerin tümü bitki gelişmesi için mutlak gerekli elementlerdir. Ancak bunlardan bir kısmı fazla miktarda, bir kısmı ise az miktarda kullanılır. Bunlardan hangisi olursa olsun, bitki tarafından yeterince alınamadığı takdirde ürünün miktar ve kalitesi olumsuz yönde etkilenir [2].

Tablo 1. Bitki beslenmesi için mutlak gerekli besin elementlerinin kimyasal sembolleri, hangi formlarda ve nereden alındıkları

| Besin elementlerinin kimyasal sembolleri | Alınış formu | Nereden alındığı |
|--|--|-------------------------|
| C | CO ₂ | Atmosfer, toprak havası |
| H | H ₂ O | Su |
| O | H ₂ O | Su |
| N | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ | Toprak çözeltisinden |
| P | HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ | Toprak çözeltisinden |
| K | K ⁺ | Toprak çözeltisinden |
| Ca | Ca ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| Mg | Mg ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| S | SO ₄ ²⁻ | Toprak çözeltisinden |
| Fe | Fe ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| Mn | Mn ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| B | B ₄ O ₇ ²⁻ | Toprak çözeltisinden |
| Zn | Zn ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| Cu | Cu ²⁺ | Toprak çözeltisinden |
| Mo | MoO ₄ ²⁻ | Toprak çözeltisinden |

Bu amaçla son zamanlarda organik kaynaklara ilave olarak toprak düzenleyicileri olan polimerik maddeler geliştirilmiştir. [3].

Ancak, üretim maliyetindeki ekonomik nedenlerden dolayı başlangıçta gereken ilgiyi görmemiştir. Daha sonraki dönemlerde polimerlerin etkinliği artırılarak daha düşük maliyetlerle daha yüksek etkili polimerlerin üretilmesi ile

tarım alanlarında kullanılmaya başlanmıştır.

B. TARIMDA KULLANILAN BAZI BİYOPOLİMERLER

PVA tarımda kullanılabilen en önemli polimerlerden biridir. Polivinil alkol (PVA), polivinil asetatın, asetat gruplarının hidroksil (-OH) grupları ile yer değiştirmesi ile sentezlenen bir polimerdir. Düşük maliyeti, hidrofilik karakteri, kolay eldesi ve yüzeyinde kimyasal reaksiyon verebilecek çok sayıda hidroksil grubu taşınması nedeniyle çok çeşitli enzim ve hücrenin sabitlenmesinde taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. PVA'ün biyoteknolojik uygulamalarda taşıyıcı olarak kullanıldığı birçok çalışma yayınlanmış, protein saflaştırma ve sabitleme çalışmalarında farklı çapraz bağlı formları (hidrojel, membran) kullanılmıştır [4].

Ticari PVA'lar hidroliz derecesine göre iki türdür: %88'lik ve %99'luk, 1700 polimerizasyon derecesi (PD) %88 hidroliz edilmiş (kısmi) hidroliz, 2000 polimerizasyon derecesine (PD) göre %99 (tam) hidroliz demektir.

PVA ve nişasta/nişasta türevleri haşıl maddelerinin ana maddesidir. Nişasta ve türevleri sert olmalarına rağmen daha mukavemetli film oluştururlar. PVA'ün daha yumuşak film oluşturması, dokumada bobine daha fazla iplik sarımı nedeniyle dokuma verimliliği artmaktadır.

PVA daha çok ince numaralı ipliklerde, nişasta ise kalın numaralı ipliklerde tercih sebebidir [5].

PVA ve nişasta/nişasta türevleri tekstil baskıcılığında kullanılan maddelerden biridir. Rotasyon ve film-druck baskıda kumaşın blankete yapıştırılması özellikle PVA ile olmaktadır.

Bir baskı patının yaklaşık olarak % 60'ını kıvamlaştırıcılar oluşturmaktadır. Kıvamlaştırıcılar baskı patında kullanılan, boyarmadde ve yardımcı maddelerin bulunduğu çözeltiye kıvam ve basılmaya uygunluk kazandıran bileşenlerdir. Kıvamlaştırıcılar boyarmadde migrasyonunu önleyerek baskının kontür netliğinin iyi olmasını sağlar ve renklerin dağılmasını önler. Bunun yanında kıvamlaştırıcılar baskı patının reolojik özelliklerini belirleyerek baskı patının homojen dağılımını ve düzgün şekilde akışını sağlar. Kıvamlaştırıcıların doğal/biyobozunur polimerlerden oluşması, ekolojik, boyarmadde ve baskı koşullarına uygun olması beklenir.

Başlıca gıda, ilaç ve kozmetik ürünlerinde viskoziteyi geliştirici, emülsiyon stabilizatörü, kıvam arttırıcı amacıyla kullanılan karboksimetil selüloz (CMC), kimyasal modifikasyonlara uğratılmış bir selüloz türevidir. Sentetik, suda çözünebilir bir selüloz eteri türevi olan CMC basit bir kimyasal reaksiyon ile üretilmektedir.

Reaksiyon sonucunda elde edilen CMC'un çözelti özellikleri ve suda çözünürlüğü; substitüsyon derecesine (DS) ve polimerdeki karboksimetil gruplarının düzenli bir şekilde bağlanmasına bağlı olmaktadır. Genel olarak; 0.3 veya daha az bir DS değerine sahip olan CMC, alkali içinde çözünmekte, ancak suda çözünmemektedir. Suda çözünebilirlik için 0.45 veya daha yukarı DS değerleri istenmektedir. Ticari olarak üretilen CMC'un DS değeri 0.4 ile 1.2 arasında değişirken, gıda saflığında üretilen türünün ise DS değerinin 0.95 ile sınırlı tutulduğu belirtilmektedir [6].

Sentetik haşıl maddesi olarak kullanılan CMC, nişastaya göre daha elastik fakat daha düşük mukavemetli haşıl filmi oluşturur ve pamuk/polyester karışımlarının haşılınmasına uygundur.

Kitin, selülozdan sonra dünyada en yaygın olarak bulunan ikinci biyopolimerdir. Kitinin birçok türevi bulunmakla beraber, bunlar arasında en önemlisi kitosandır. Kitosan kitinin yüksek oranda deasetillenmesi ile elde edilir. Kitin, birçok organik çözücüde çözünemezken kitosan pH değeri 6.0'nın altındaki seyreltik asitlerde çözünebilmektedir. Çünkü; kitosan pH değeri 6.3'te primer amin gruplarına sahip olduğundan baz olarak düşünülebilir [7]. Düşük pH değerinde aminler protonlanır ve pozitif

yüklenir, böylece kitosan suda çözünebilir katyonik polielektrolit haline dönüşür. Diğer taraftan pH değeri 6'nın üstüne çıkarsa kitosana ait amin grupları deprotonlanır ve polimer yüklerini kaybederek çözünürlüğünü yitirir. Çözünürlük ve çözünmezlik geçişleri pH 6-6.5 aralığındaki pH değerlerinde gerçekleşir ve bu pH değerleri, molekülün deasetilasyon derecesine bağlıdır.

Fonksiyonel amin ve hidroksil gruplarına sahip kitosan molekülü, hem kitine göre daha çözünür hem de fiziksel ve kimyasal etkileşimlerde daha aktif bir malzemedir. Kitosan düşük pH değerlerinde serbest amin grupları sayesinde, kolayca kuarterner amonyum tuzlarına dönüşmektedir. Böylece asetik, formik ve laktik gibi organik asitlerde çözünebilmektedir. Kitosan, formik asitin %0,2-100 sulu çözeltilerinde çok iyi çözünmektedir. Ancak, kitosan için en yaygın kullanılan çözücü, asetik asitin hacimce %1-2'lik, pH 4-5 aralığındaki sulu çözeltileridir. Dimetilformamid, dimetilsülfoksit gibi organik çözücüler kitosan için uygun çözücüler değildir [8].

Kitosan, tekstil mamullerine antimikrobiyal özellik kazandırması, yünlü kumaşlarda çekmezlik sağlanması, reaktif boyamada tuz miktarını azaltması, pamuğun asit boyarmaddelerle boyanabilirlik kazanması amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, kitosan ile diğer

liflerin karışımından üretilen çeşitli antimikrobiyal lifler de bulunmaktadır [9].

C. POLİVİNİL ALKOL (PVA), KARBOKSİMETİL SELÜLOZ (CMC) VE KİTOSANIN TARIMDA UYGULAMALARI

1970'li yıllardan günümüze kadar polisakkaritler, nişasta kopolimerleri ile PVA dahil çok sayıdaki sentetik organik polimerler toprakların strüktürel stabilitesini sağlamak amacıyla araştırmalara konu edilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda, sentetik polimerlerin (PAM, PVA ve hidrolize poliakrilonitril) toprak yüzeyine çok düşük dozlarda uygulanmasının bile agregat stabilitesi ve strüktürel yapıyı geliştirmesi bakımından önemli pozitif etkiler yaratabileceği genel bir sonuç olarak vurgulanmaktadır [10].

Zlatkovic ve Raskovic (1998), PVA, PAM ve CMC'un toprak agregasyonu ve bitki gelişimi üzerine etkisini incelemiş suda çözünen polimerlerin 1-2 ve 5 ppm konsantrasyonlarında agregasyonun gelişimi ve bitki gelişimi üzerine artan dozlarla önemli pozitif etkiler yarattığını belirlemişlerdir [11].

Öztaş vd. (2000), toprağın strüktürel davranışının toprağa giren ıslah maddeleri ve toprak yönetim uygulamalarıyla değiştiğini belirtmişler ve yapmış oldukları çalışmada PVA'nın agregat stabilitesi ve diğer strüktürel özellikler

üzerine etkisini araştırmışlardır. Farklı tekstür özelliğine sahip topraklar üzerine 0.001 ve 0.005 w/w (kütlece) oranlarında PVA uygulamışlardır. Çalışmada; hacim yoğunluğu, dispersiyon oranı, ıslak agregat stabilitesi ortalama ağırlıklı çap ve agregat direnci gibi strüktürel parametrelerdeki değişiklikler belirlenmiştir. Toprağın gelişimi PVA uygulamalı veya PVA uygulamaz topraklarda strüktürel parametrelerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Toprağa PVA uygulaması sonucu agregat stabilitesi ve direnci üzerinde önemli bir etki gözlenmiş ve parçalanma kuvvetlerine karşı her bir agregatın direncinin arttığını ve daha yüksek bir agregat stabilitesine sahip olmasını sağladığını belirlemişlerdir [12].

Aksakal ve Öztaş (2004), PVA'nın strüktürel stabilite üzerinde olan etkilerinden dolayı, toprak düzenleyici (stabilizer) olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları bu çalışmada, PVA'nın farklı tekstüre sahip toprakların sıkışabilirliği üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. PVA, toprak örnekleri üzerine 0.005 w/w bir oranda uygulanmıştır. Toprak örnekleri, 7,5 cm çapında ve 11,2 cm yüksekliğindeki bir sütun (kolon) içerisine yerleştirilmiş ve farklı nem içeriklerinde (%3, %6 %9, %12, %15, %18, %21 ve %24) olup 5, 10, 15, 20 ve 25 çekiç

darbesi altında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış toprak örneklerinde hidrolik iletkenlik, sabit yük-geçirgenlik yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Hidrolik iletkenlik değerleri, toprak sıkışma düzeylerinin artmasıyla azalmış olmasına rağmen, PVA uygulaması yapılmış örneklerinin hidrolik iletkenlikleri, PVA uygulaması yapılmamış örneklerin hidrolik iletkenliklerinden önemli bir düzeyde daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. PVA'nın hidrolik iletkenlik üzerindeki etkisi tınlı tekstürlü topraklarda, kumlu tınlı tekstürlü topraklarla karşılaştırıldığında çok daha belirgin biçimde ortaya çıktığını belirlemişlerdir [13].

Nişasta ve nişasta türevleri amilaz ve amilopektin makromoleküllerinden oluşan tamamen doğal, yüksek saflıkta düşük maliyetli, yenilebilir polimerdir. Nişasta ve türevleri zayıf mekanik özelliklere, hidrofilik karaktere ve mikrobiyal saldırılara maruz kalmaktadır. Nişasta/gliserol karışımları mükemmel mekanik özellik ve karışımlara uygunluk gösterir [5].

Bautista-Baños vd. (2006)'ı yaptıkları bir çalışmada kitosanın bulunduğu ortamda su bağlayıcı ve enzim inhibitörü olarak çalıştığını ve böylece mikrobiyal gelişimi engellediğini öne sürmüşlerdir [14].

Liang vd. 2007 yaptıkları çalışmada N ve K içeren gübrelerin su tutma özelliklerini

belirlemişlerdir. Gübrelerin öz ve kabuk kısmına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Öz tabakasının üre, formaldehit ve polifosfatpotasyum gübresi, kabuk kısmının akrilik, ko-akrilamid/kaolin süper geçirgen kompozitten oluştuğunu belirtmişlerdir [15].

Wu ve Liu, 2008 yaptıkları çalışmada gübre ve su kaynaklarından yararlanmanın artırılmasıyla, yeni tipte kitosan kaplı N, P ve K gübrelerini kontrollü gübre ve su salınımı için kullanmışlardır. Bu gübrelerin üç tabakaya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Öz tabakasının suda çözünür N, P ve K granüllü gübreden oluştuğunu belirlemişlerdir. İkinci iç tabakasının kitosandan, dış tabakasının ise süper absorban poliakrilikasit-ko-akrilamid polimer olduğunu belirtmişlerdir. [16].

Ni vd. 2009 yaptıkları çalışmada çok fazla N kullanımı nedeniyle oluşan çevresel kirliliği önlemek amacıyla çift katlı su ve gübre salınımını amaçlamışlardır. Etilselüloz ve çapraz bağlı poliakrilikasit-ko-akrilamidi sırası ile iç ve dış tabaka olarak kullanmışlardır. Ürünün kimyasal ve yüzey özelliklerinin yanında yavaş azot salınımını ve su buharlaşmasını tespit etmişlerdir [17].

Canbaz ve Güngör (2009)'ün yaptığı çalışmada %1'lik asetik asitte çözünen kitosan biyopolimeri 60°C'de yarım saat manyetik karıştırıcıda (450 rpm) işlem

gördükten sonra 5 cm çapındaki petri kabına 20 ml dökülerek 40°C'de etüvde kurutulmuştur. Elde edilen kitosan filmlerinin transparan, sert ve kırılkan olduğu gözlenmiştir. Kitosan polimerinin endüstriyel kullanım alanları göz önünde bulundurularak gliserol ilavesi ile filmlerin kolay şekil alabilmesi ve elastik olma özelliklerinin artırılması amaçlanmıştır. Farklı miktarlarda gliserol içeren kitosan filmleri hazırlanmış 1 g/g gliserol/kitosan oranındaki filmin optimum özellikte olduğu görülmüştür [18].

Han vd. 2009 yılında yaptıkları çalışmada gübre kaybı ve minimum çevresel zarar oluşturmak amacıyla, biyobozunur nişasta/PVA karışımını, suda çözünür, granüle kaplama için kullanmışlardır. En uygun karışım oranı 7:3 nişasta/PVA olarak belirtmişlerdir [19].

Lum vd. 2013 yaptıkları çalışmada biyoparçalanabilir nişasta, PVA, üre ve gliserolden kompozit filmleri oluşturmuş ve bunların oranlarını belirlemişlerdir. Su geçirgenliği, toprak yakma testini ve yüzey özellikleri tespit edilmiştir [20].

3. SONUC

Ekolojik ve çevresel kaygıların arttığı günümüzde, biyopolimerlere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu amaçla tekstilde kıvamlaştırıcı, haşıl maddesi, apre malzemesi olarak yüksek oranlarda kullanılan PVA, CMC ve doğal polimer

kitosanın makro ve mikro elementler açısından bitki beslemede kullanılabileceği yapılan literatür taraması sonucu görülmüştür. Büyük kullanım miktarlarına sahip bu maddeleri üreten ya da kullanan tekstil ve kimya üretim atıklarının ve hatta söz konusu maddelerce zengin atık suların geri kazanımıyla bitki beslemede değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

4. KAYNAKLAR

- [1] Akalan, İ., Toprak (Oluşu, Yapısı ve Özellikleri). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 356, Ders Kitabı: 120, 1968.
- [2] Sağlam, T., Bahtiyar, M., Cangir C., Tok, H. A., Toprak Bilimi, Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi, 1, (2-3),17-23, 1993.
- [3] Mikkelsen, R.L., Using Hydrophilic Polymers to Control Nutrient Release. *Fertilizer Research*. 38, 1994, 53-59.
- [4] Kılınç, A., Onal, S., Telefoncu, A., Chemical Attachment of Porcine Pancreatic Lipase to Crosslinked Poly (Vinyl Alcohol) by Means of Adipoyl Dichloride, *Process Biochemistry*, 38, 2002, 641-647.
- [5] Bulut, M.O, Devirenoğlu, C., Oksuz, L., Bozdoğan, F., Teke, E., Combination of grey cotton fabric desizing and gassing treatments with a plasma aided process, *The Journal of The Textile Institute*, 105:8, 2014,828-841. DOI: 10.1080/00405000.2013.855380
- [6] Stelzer, G.I. and Klug, E.D.. Carboxymethylcellulose, in *Handbook of water-soluble Gums and Resins*, ch.4 (ed. R.L. Davidson), McGraw-Hill, New York, 1980, 421-428.
- [7] Yi, H., Wu, L-Q., Bentley, W.E., Gbodssi, R., Rubloff, G.W., Culver, J.N., Biofabrication with Chitosan. *Biomacromolecules*, 6, 28, 2005, 81-94. DOI: 10.1021/bm050410l
- [8] Kienzle-Sterzer, C.A., Rodriguez-Sanchez, D., Ma, C., Dilute Solution Behavior of a Cationic Polyelectrolyte. *Journal of Applied Polymer Science*, 27, 11 ,1982, 4467-4470. DOI: 10.1002/app.1982.070271133
- [9] Montazer, M., Afjeh, G. Simultaneous X-Linking and Antimicrobial Finishing of Cotton Fabric, *Journal of Applied Polymer Science*, 103, 1, 2007, 178- 185, DOI: 10.1002/app.25059

- [10] Tisdall, J.M., and J.M. Oades. Organic Matter and Water-Stable Aggregates in Soils. *Journal of Soil Science*, 33, 2,1982, 141-163. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x
- [11] Zlatkovic, S., and Raskovic, L. The Effect of Polyacrylamide, Polyvinylalcohol and Carboxymethylcellulose on the Aggregation of the Soil and on the Growth of the Plants. *University of Nis, The Scientific Journal Facta Universitatis, Working and Living Environmental Protection*, 1, 3, 1998, 17-23. [http:// ni.ac.yu/Facta](http://ni.ac.yu/Facta)
- [12] Öztaş, T., Özbek A.K. and Aksakal. E. L.,. Structural Developments in Soils Treated with Polyvinylalcohol. *International Conference on Sustainable Land Use and Management*. 10-13 June, Çanakkale-Turkey (2002).
- [13] Aksakal, E.L., and Öztaş. T.,. Effect of Polyvinylalcohol (PVA) on Reducing Soil Compactibility as an Indication of Hydraulic Conductivity. *International Soil Congress (ISC) on Natural Resource Management for Sustainable Development*, 7-10 June ,Erzurum-Turkey, 2004.
- [14] Bautista-Banos S, Hernandez-Lauzardo AN, Velazquez-del Valle MG, Hernandez-Lopez M, Ait Barka E, Bosquez-Molina E, Wilson C.L. Chitosan as a Potential Natural Compound to Control Pre and Postharvest Diseases of Horticultural Commodities. *Crop Protection*, 25, 2006,108-118. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.03.010
- [15] Liang, R., Liu, M., Wu, L.,. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *Reactive and Functional Polymers* ,67, 9, 2007,769–779. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2006.12.007
- [16] Wu, L., Liu, M.,. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers* 72, 2008, 240–247. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.08.020
- [17] Ni, B., Liu, M., Lü, S., Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal* 155, 3,2009, 892–898. DOI: 10.1016/j.cej.2009.08.025.

- [18] Canbaz E. G., GÜNGÖR N.,
"Kil/Kitosan ve Organokil/Kitosan
Nanokompozitlerinin Üretimi ve
Karakterizasyonu", İTÜ Dergisi/c,
Fen Bilimleri, 7,1, 2009, 45-53,
http://itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_c/article/viewFile/474/450.
- [19] Han, X., Chen, S., Hu, X.,
Controlled-Release Fertilizer
Encapsulated by Starch/Polyvinyl
Alcohol Coating, Desalination
240, 2009,21-26, DOI:
10.1016/j.desal.0000.00.000
- [20] Lum, Y. H., Shaaban, A., Mitan,
N. M. M., Dimin, M. F.,
Mohamad, N., Hamid, N., Se, S.
M., 2013. Characterization of Urea
Encapsulated by Biodegradable
Starch-PVA-Glycerol, Journal of
Polymer and Environment ,21,4,
2013, 1083–1087, DOI:
10.1007/s10924-012-0552-0