

Mikroalgın Ön Arıtılmış Düzenli Depolama Sızıntı Suyunda Çoğaltılması

Umut METİN, Mahmut ALTINBAŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul
altinbasml1@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 13.12.2017; Kabul/Accepted: 20.02.2018)

Özet

Bu çalışmanın amacı, ön arıtılmış katı atık Düzenli Depolama Sızıntı Suyu (DDSS)'nın *Synechocystis* sp. PCC 6803 türünün üretimi için uygunluğunu belirlemek ve PCC 6803'ün DDSS'den azot giderme verimliliğini ortaya koymaktır. PCC 6803, kesikli reaktörlerde değişik DDSS derişimlerinde (%20, %40, %60 ve %80) çoğaltılmış olup, atıksudan azot giderme verimleri ölçülmüştür. %20 oranında DDSS içeren reaktörde ortalama 318 mg AKM/L ve 1,816 optik yoğunluk bulunmuş olup bu değer ölçülen en yüksek biyokütle değerine karşılık gelmektedir. Artan DDSS derişimi ile beraber azot giderim verimliliği düşmüştür. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren ortamlardan amonyum azotu giderim verimi sırasıyla %28, %19, %14 ve %7'dir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren ortamlardan TKN giderimi verimi sırasıyla %51, %44, %40 ve %20'dir. DDSS'deki ortofosfat miktarı oldukça düşük olup çoğaltmadaki önemli kısıtlardan biri olacağı düşünülerek fosfat eklemeli çalışmalar da yapılmıştır. Ortamdaki fosfat miktarı ideal besiyeri (BG-11)'ndeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı olacak şekilde %20 DDSS içeren reaktörlerde çoğaltılmışlardır. Bu reaktörlerden elde edilen sonuçlar fosfor ilavesi olmayan reaktörlere benzerdir. Sonuçlar, PCC 6803'ün DSS üzerindeki büyümesini kısıtlayan etmenin DDSS içeriğindeki eksik diğer mineral maddelerden kaynaklanabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Mikroalg, *Synechocystis* sp. PCC 6803, Düzenli Depolama Sızıntı Suyu, Azot ve Fosfor Geri Kazanımı

Growth of Microalgae in Pre-treated Landfill Leachate

Abstract

The aim of this paper is to determine the usability of pre-treated landfill leachate (PLL) as medium for algae production from *Synechocystis* sp. PCC 6803 and determine nitrogen removal efficiency of PCC 6803 from PLL. PCC 6803 was grown on pre-treated landfill leachate with different dilution rates (20%, 40%, 60% and 80%) and nitrogen removal efficiency of PCC 6803 from PLL was measured. In the batch reactor with %20 PLL, 318 mg SS/L and the OD₆₈₀ value of 1,816 were the highest biomass production measured. With increased concentration of PLL, nitrogen removal efficiency decreased. Ammonia-N removal efficiency for 20% PLL, 40% PLL, 60% PLL and 80% PLL are about 28%, 19%, 14% and 7% respectively. TKN removal efficiency of 20% PLL, 40% PLL, 60% PLL and 80% PLL are about 51%, 44%, 40% and 20% respectively. Low orthophosphate concentration in PLL was considered as one of the important limitations in proliferation, therefore phosphate-addition studies have also been carried out. The amount of phosphate in the medium was increased in reactors containing 20% DSS as 0.5, 1, 2 and 4 times the amount of phosphate in the ideal medium (BG-11). The result of growth of these medium were similar as medium with no phosphorus addition. The results show that PCC 6803's growth limiting factor on DSS may be due to other missing minerals in the DSS content.

Keywords: Microalgae, *Synechocystis* sp. PCC 6803, Landfill Leachate, Nitrogen and Phosphorus Recovery

1. Giriş

Mikroalgler yüksek çoğalma hızları, yüksek fotosentetik verimleri, yetiştirilmeleri için gereken su ve besin maddesi ihtiyacının tarımı yapılan bitkilere göre daha az olması, yetiştirilmeleri için verimli araziye ihtiyaç duymamaları, zorlu koşullar altında da yetişebilmeleri, yetiştirilmeleri sırasında çevreye

zararlı madde ve sera gazı salınımına sebep olmamaları ve çok sayıda farklı kimyasal üretme yeteneğine sahip olmalarından dolayı ticari anlamda değerli (biyoyakıt, anti-oksidan, vitamin vb.) ürünlerin sürdürülebilir üretimini mümkün kılan bir biyolojik kaynak durumundadır [1-3]. Mikroalglerin bu özelliklerden dolayı enerji

endüstrisinde biyoyakıt üretimi öncelikli olmak üzere, gıda endüstrisi, kimyasal üretim endüstrisi, gübre üretimi ve eczacılık gibi birçok farklı alanda ticari ölçekte üretimi yapılmaya çalışılmaktadır [1, 3, 4]. Uzun zamandan beri yapılan çalışmalara rağmen mikroalglerin ticari ürün üretimi için kullanımı yüksek maliyetler yüzünden yaygınlaşmamıştır [5]. Değerli ürünlerin alternatif kaynaklardan üretimi, bu ürünlerin mikroalgler yardımı ile üretiminden daha ucuzdur [6]. Örneğin, mikroalgler B1, B6, B12, C, E, biotin, riboflavin vitaminleri gibi birçok vitamin için ticari bir kaynak olarak önerilmelerine rağmen, mikroalgler kullanılarak üretilmiş vitaminlerinin maliyeti piyasa fiyatları ile yarışabilecek düzeyde değildir [6, 7]. Diğer bir örnek olarak ise biyodizel üretim maliyeti gösterilebilir. 2006 yılı verilerine göre Amerikan otoyol petrodizelinin maliyeti 0,49 \$/L ve bitkisel biyodizelin 0,66 \$/L iken mikroalglerden elde edilen algal yağın teorik olarak hesaplanan maliyeti 2,80 \$/L'dir [8]. Piyasada mikroalgal biyodizel üretimi yapan 50'den fazla şirket olmasına rağmen hiçbir şirket ticari çapta petrodizel fiyatları ile yarışabilecek düzeyde biyodizel üretimini başaramamıştır [4].

Alglerin yetiştirilmesi çok miktarda su ve başta karbon, azot ve fosfor olmak üzere besin maddelerini gerektirir [9, 10]. Sadece besin maddesi temini için yapılan harcamalar alglerden elde edilecek faydaya bağlı olmakla birlikte, biyodizel üretim maliyetinin %10'u kadarını oluşturabilir [11]. Bu sebeple alg yetiştirme maliyetlerini düşürmede uygulanabilecek yaklaşımlardan biri de su ve besin maddesi ihtiyacının atık akımlarından karşılanmasıdır [9, 12]. Alg üretim maliyetleri atıksu ve baca gazlarından karşılanması sureti ile düşürülebilir [13-18]. Bununla birlikte çevreye ve insan sağlığına büyük tehdit oluşturan atıksuların arıtma maliyetlerini düşürmek ve arıtmadan çıkan suyun kalitesini artırmak gittikçe daha önem kazanmaktadır [19, 20]. Her geçen gün daha da sıklaşılan çevre yönetmelikleri, hâlihazırda tesislerin artan ihtiyaçlarını karşılayabilmek üzere daha ileri yöntemlerin kullanılmasını zorlamaktadır [20]. İleri arıtma olmaksızın, alıcı ortama verilen atıksuların içeriğindeki azot ve fosfor, ötrofikasyon meydana gelmesine yol açabilir ve ekosistem hasarına sebep olabilir [17, 21-23]. Alg yardımı ile atıksulardan ağır metal ve

besin maddesi arıtımı, bunların maliyetli ve enerji ihtiyaçları fazla olan geleneksel üçüncül arıtım yöntemleri ile arıtılmasından daha ucuz ve daha verimlidir [9, 23, 24]. Ayrıca geleneksel arıtma yöntemleri atıksuların içerisinde bulunan bu maddelerin katma değere çevrilmesi mümkün olmamaktadır. Örneğin çoğu ticari fosfor giderim yaklaşımı, giderilen fosforu bazen toksik maddelerde içerebilen atıklar ile beraber ortamdan uzaklaştırarak fosforun tamamen yenilenebilir bir ürün olarak kullanımını engellemektedir [25]. Değerli bir kaynak kaybı durumu azot giderimi için de geçerlidir.

Atıksular alg üretimi için gerekli besin maddelerini içermesine rağmen, içeriğindeki toksik maddelerin varlığı, ortamdaki istilacı ve rakip türlerin bulunması sebebiyle mikroalglerin büyümesine negatif yönde bir etki yapmaktadır [9, 26, 27]. Bu nedenle her farklı tip atık su için istenilen özelliklere sahip olduğu düşünülen mikroalg türünün o atıksuda yetiştirilmesi sırasındaki davranışlarının incelenmesi gerekmektedir.

Synechocystis sp. PCC6803 (PCC6803) bir tür siyanobakteri olup başta fotosentez olmak üzere fototrofik organizmalarda gözlemlenen birçok farklı mekanizmayı çözümlmek için model organizma olarak kullanılır [28]. Dahası, PCC6803, hızlı büyüme özelliği, yüksek biyokütle üretme kapasitesi ve basit büyüme gereksinimleri ile de karakterize edilirler [29]. Yüksek yağ üretkenliğini durağan evredeki azot açlığına bağlı olan birçok mikroalgın [19] aksine, PCC 6803 lipid üretkenliği artan büyüme hızı ya da azot beslemesi ile azalmaz [31] ve dolayısıyla en yüksek lipid üretkenliğine üssel büyüme evresinde sahiptir [32]. Bu özelliği ile sayesinde diğer tür mikroalglerin aksine yüksek besin maddesi içeren atık suların arıtımında kullanılırken, biyodizel üretimi için gerekli lipid üretimini de gerçekleştirebilirler. Ayrıca, PCC6803 fikobilinler, karotenoidler ve omega yağ asitleri gibi birçok farklı yüksek değerlikli ürünleri üretme yeteneğine sahiptirler [33-35]. Öte yandan PCC6803, doğal olarak transformasyon yeterliliği olması ve genetiğinin çok çalışılmış olmasından dolayı istenilen özelliği kazandırma amaçlı genetik modifikasyonların uygulanması için uygun bir türdür [36, 37]. İlâveten, PCC6803 geniş sıcaklık, pH ve tuzluluk aralıklarında büyüeyebilen ve istilacı türlere karşı,

diğer mikroalg türleri ile karşılaştırıldığında daha az duyarlı olan dayanıklı bir tür [38, 39] olduğu için ticari ölçekli açık havuz işletmeler için tercih edilebilecek bir türdür [31].

Bu çalışmada PCC 6803 suşunun çoğaltılmasında ön arıtılmış Düzenli Depolama Sızıntı Suyu (DDSS) kullanılmıştır. DDSS genellikle yüksek azot ve fosfor içeriği ile tanımlanan bir atıksudur. Düşük besin maddesi içeriğine sahip atıksuların mikroalglerin yetiştirilmesi için gereken yüksek miktardaki ihtiyacı karşılayamama durumu olabilmektedir. DDSS'nin besiyeri olarak kullanılması sisteme ayrıca besin maddesi ihtiyacını en aza indireceği düşünülmektedir. Bu çalışmadaki hedef PCC 6803'ün ön arıtılmış DDSS'deki çoğalma kapasitesini belirlemek ve PCC 6803'ün DDSS'den azot ve fosfor geri kazanma verimliliğini ölçmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Alg Kültürü ve Kullanılan Reaktör

Synechocystis sp. PCC 6803 türü "Pasteur Culture collection" temin edilmiştir (Paris, Fransa). Aşı kültürleri BG-11 besi yerinde çoğaltılmışlardır ve DSS içeren besi yerlerine BG-11 besi yerinden alınarak ekilmişlerdir. Bütün kültürler 1 L/dk hızla havalandırılan 1 litrelik erlenler içerisinde 500 ml çalışma hacmine sahip reaktörlerde büyütülmüştür. Reaktörler $32\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, beyaz led ile sürekli aydınlatılmış ve $300 \mu\text{E}/\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ şiddetindeki foton akısı altında işletilmiştir. Karıştırma işlemi sadece havalandırma vasıtasıyla sağlanmıştır. Çalışmadaki bütün reaktörler kesikli olarak

çalıştırılmışlardır. Reaktörlere ekim öncesi sterilizasyon işlemi uygulanmamıştır.

2.2. Kullanılan Sızıntı Suyu ve Reaktör İşletim Süreci

Bu çalışmada kullanılan DDSS, İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sızıntı Suyu Atıksu Arıtma tesisinden sağlanmıştır. 2.sınıf depolama yapılan alana karışık olarak toplanan kentsel katı atıklar alınmaktadır. Depolama alanının tabanında yer alan drenaj boruları ile toplanan sızıntı suyu dengeleme tankında biriktirilmekte ve daha yüksek kotta yer alan arıtma tesisine pompa ile basılmaktadır. Arıtma tesisi, ön çöktürme, nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecini de içeren membran biyolojik reaktör ve nano-filtrasyon ana adımlarını içermektedir. Temin edilen DDSS, membran biyoreaktör adımıyla bulunan ultra-filtrasyon işleminden geçirilmiş bir sudur. Çalışmada kullanılan DDSS çalışma süresince 4°C sıcaklıkta saklanmıştır.

Çalışmada %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında DDSS içeren besi yerleri hazırlanmış olup, bu besi yerleri çoğalma oranlarının belirlenmesi ve azot ile fosfor geri kazanımının ölçülmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, düşük çoğalma oranlarının, düşük fosfat kaynaklı olup olmadığını anlamak için, PCC 6803 türü, BG-11 besi yerindeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı kadar fosfat ve %20 oranında DSS içeren reaktörlerde de büyütülmüşlerdir. Bütün çalışmalar 3 tekrar halinde yapılmıştır. DDSS'nin ve reaktörlerdeki seyreltilmiş besi yerlerinin bazı karakteristik özellikleri (pH ve alkalinite değerleri; amonyum-N, organik-N ve ortafosfat derişimleri) Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan DDSS'nin karakterizasyonu

Parametreler	Ham DDSS	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
pH	8.08	7.92	7.96	7.96	7.96
Alkalinite (mg/L CaCO_3)	346	69.2	138.4	207.6	276.8
TKN (mg/L)	1005	201	402	603	804
$\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ (mg/ml)	1380	126	252	378	504
Organik-N (mg/L)	375	75	150	225	300
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/L)	0.41	0.082	0.164	0.246	0.328

2.3. Yürütülen Ölçümler

PCC 6803 kültürleri, başlangıç derişimi OD₆₈₀'de yaklaşık 0,1 olacak şekilde

başlatılmıştır. Reaktörler durağan evrenin sonuna kadar büyütülmüşlerdir. Bütün reaktörler OD₆₈₀'de günlük olarak ölçülmüşlerdir.

Spektrofotometrik ölçümler “Jenway 6300” spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır.

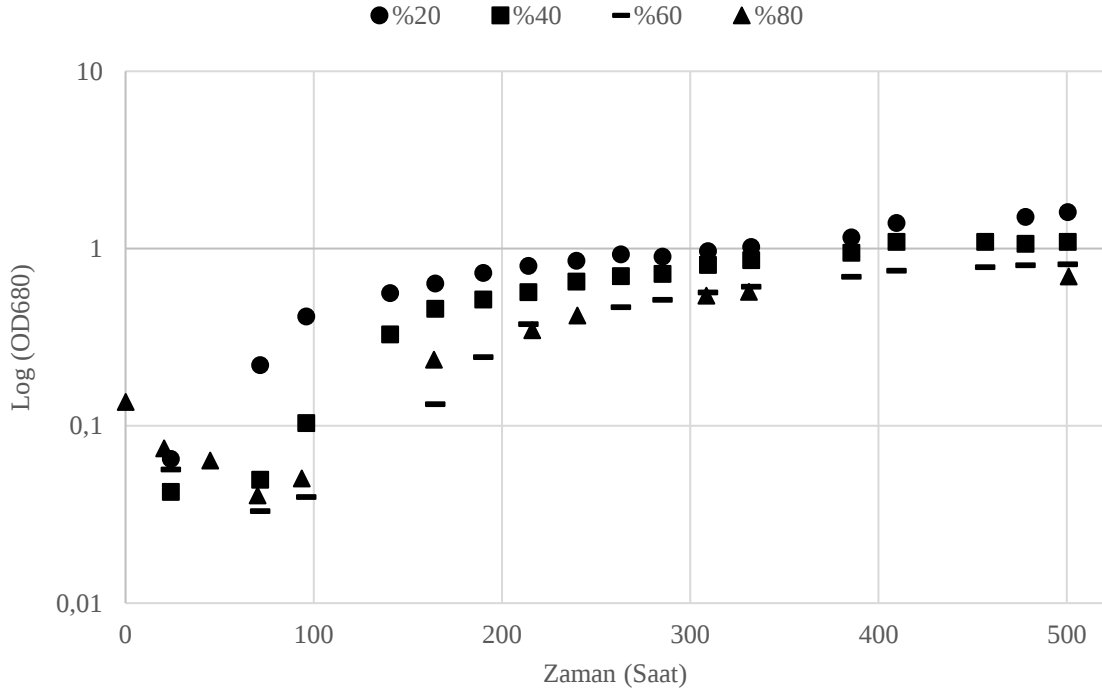
Kesikli büyümenin sonunda her reaktörden alınan örnekler 10.000 g’de santrifüj edilmiştir. Supernatantlar TKN, amonyum-N ve ortafosfat ölçümü için kullanılmıştır. Farklı OD₆₈₀ değerlerine karşılık gelen askıda katı madde belirlemek için AKM tayini yapılarak AKM ile optik absorbans arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Elde edilen verilerden besi yerlerindeki biyokütle miktarı AKM cinsinden belirlenmiştir. Besi yeri olarak kullanılan DDSS’nin önceden filtrelenmiş olması sebebiyle içerisinde başlangıç anında AKM bulunmadığı kabul edilmiştir.

Seyreltmeler distile su kullanılarak yapılmıştır. Buharlaşma ile kaybolun su distile su kullanılarak telafi edilmiş olup, buharlaşma kaynaklı düzeltme iki günde bir yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1 Algal Büyüme

PCC 6803 türünün %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde çoğalma grafikleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Seyreltilmemiş (%100) DDSS’de PCC 6803 büyümesi gözlemlenmemiştir.



Şekil 1. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerine bağlı yarı-logaritmik eksenli çoğalma grafiği

%20, %40, %60 ve %80 oranlarında DDSS içeren besi yerleri durağan fazın sonuna kadar büyütülmüşlerdir. Bu süre yaklaşık olarak 500 saat civarına denk gelmektedir. İlk 100 saatte biyokütle miktarında bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın nedeni ortamdaki stres koşullarına bağlı olarak gözlenen bir etkidir. DDSS'deki yüksek amonyak derişimi ve PCC 6803 türünün BG-11 besi yerinde çoğalmaya alışması bu stresi oluşturan etkenler olabilir. En yüksek biyokütle üretim miktarı en düşük DDSS içeren besi yerinde gerçekleşmiştir. Artan DDSS

derişimleri ile beraber ölçülen biyokütle üretim miktarında düşüş gözlemlenmiş olup %80 oranında DDSS içeren besi yerinde en az biyokütle üretimi gerçekleşmiştir. %20 oranında DDSS içeren besi yerinde elde edilen en yüksek biyokütle derişimi yaklaşık 318 mg AKM/L ve gözlemlenen en yüksek OD₆₈₀ değeri ise 1,816'dır. Tablo 2'de %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde ve BG-11 besi yerinde çoğaltılan PCC 6803 türü için hesaplanan AKM değerleri verilmektedir.

Tablo 2. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde ve BG-11 besi yerindeki AKM değerleri

Parametre	BG-11	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
AKM (mg/L)	1931	281	190	142	121

Öte yandan artan DDSS derişimleri ile beraber kültürlerde gecikme evresinin uzadığı gözlemlenmiştir. %20 oranında DDSS içeren besi yerinde gecikme evresi 0 ile 80 saat arası sürerken, %80 oranında DDSS içeren besi yerinde gecikme evresi 150 saatten fazla sürmüştür.

Ayrıca, üssel evre hesaplanan özgül çoğalma hızları da oldukça düşüktür. Tablo 3'te %20, 40, 60 ve 80 oranlarında DDSS içeren besi yerlerinde ve BG-11 besi yerinde çoğaltılan PCC 6803 türü için hesaplanan özgül çoğalma hızları görülmektedir.

Tablo 3. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde ve BG-11 besi yerindeki üstel çoğalma evresindeki özgül büyüme hızları

Parametre	BG-11	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
İkiye Katlanma Süresi (Saat)	10.30	26.97	25.48	36.00	35.55
Özgül Büyüme Hızı (k/v) (Saat ⁻¹)	0.097	0.038	0.039	0.028	0.028
Özgül Büyüme Hızı (u) (Saat ⁻¹)	0.067	0.026	0.027	0.019	0.019

Artan DDSS derişimi ile beraber görünen büyüme oranı düşmesinin DDSS derişimi ile beraber artan amonyum derişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, artan amonyum derişiminin mikroalglerin çoğaltılması üzerindeki olumsuz etkileri olduğu görülmektedir [11, 40-42]. Ayrıca DDSS'nin düşük fosfat içeriğinin de düşük büyüme oranına sebep olabileceği düşünüldüğünden, farklı fosfat derişimlerinin DDSS'de PCC 6803 çoğaltılması üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu amaçla BG-11 besi yerindeki fosfat miktarının 0,5, 1, 2 ve 4 katı kadar fosfat ve %20 oranında DSS içeren reaktörlerde PCC 6803 çoğaltılmıştır. Fakat fosfat

ilavesinin büyüme üzerinde herhangi bir etkisi gözlemlenmemiş olup fosfat ilavesi yapılmayan reaktörler ile aynı çoğalma hızı gözlemlenmiştir. Bu sonuçta çoğalmayı asıl kısıtlayıcı etmenin düşük fosfat derişiminin değil, yüksek amonyum derişiminin veya başka bir etkenin neden olduğunu göstermektedir.

3.2 Azot ve Fosfor Geri Kazanımı

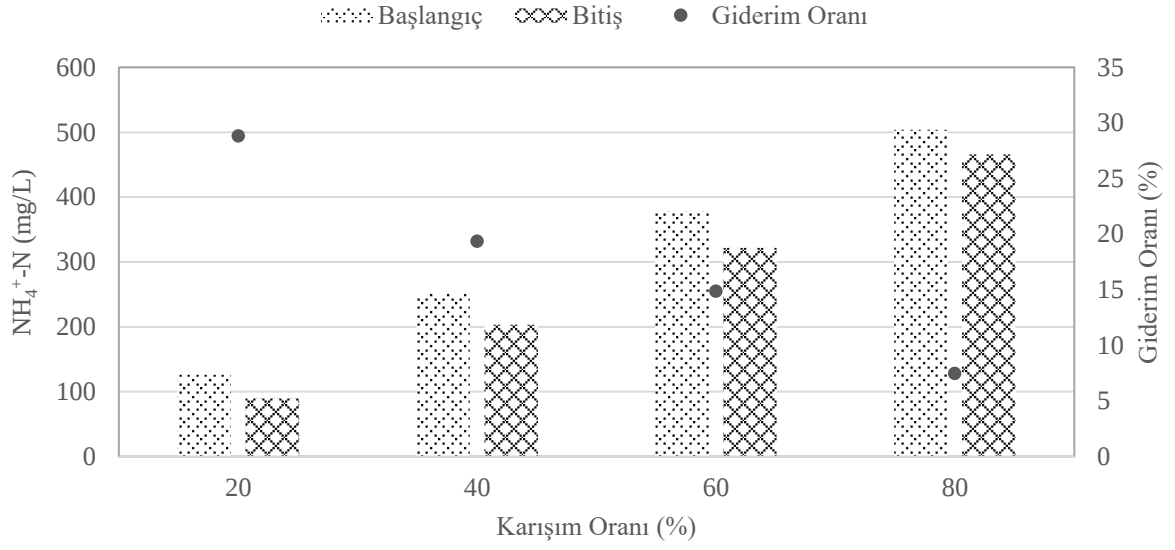
Tablo 4'te 500 saatlik çoğaltma sonrası bütün denemelerin bazı karakteristik özellikleri (pH ve alkalinite değerleri; amonyum-N, organik-N ve ortafosfat derişimleri) gösterilmiştir.

Tablo 4. 500 saat çoğaltma sonrası besi yerlerinin karakterizasyonu

Parametre	%20 DDSS	%40 DDSS	%60 DDSS	%80 DDSS
AKM (g/L)	0.52	0.665	0.74	0.79
UAKM (g/L)	0.34	0.37	0.37	0.2
Sabit Katılar (g/l)	0.18	0.295	0.37	0.59
pH	6.44	6.64	6.75	4.68
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	64	53	48	ND
TKN (mg/L)	97	223	358	642
NH ₄ ⁺ -N (mg/ml)	90	203	321	466
Organik-N (mg/L)	7	20	37	176
PO ₄ ⁻³ -P (mg/L)	0.006	0.007	0.027	0.039

Şekil 2'de çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş amonyak azotu giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin amonyum azotu

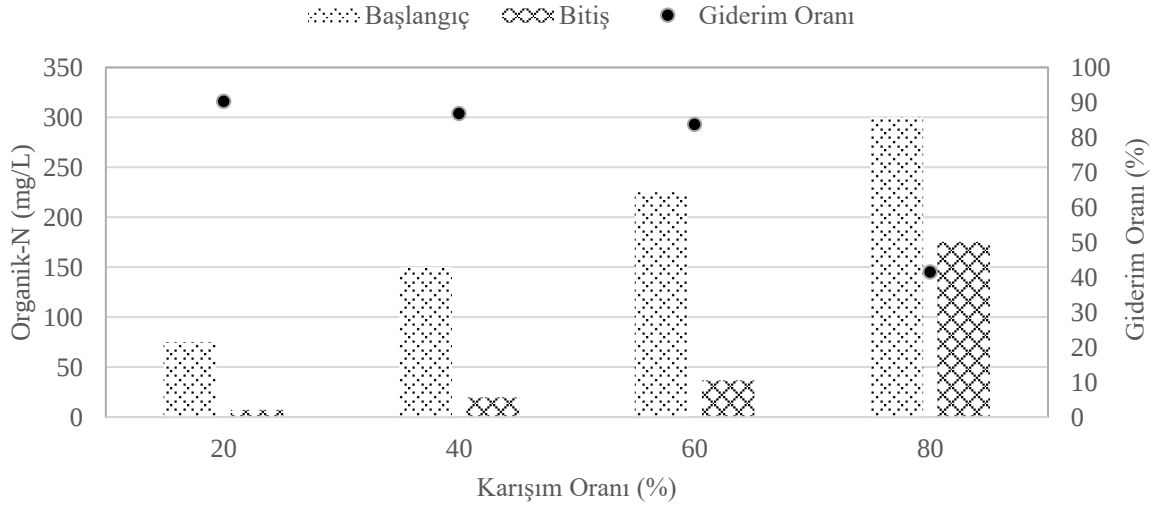
giderim verimi sırasıyla %28,9, %19,4, %14,9 ve %7,5'dir. Artan DDSS derişimi ile beraber amonyak giderim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 2. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş amonyum değerleri ve giderim oranları

Şekil 3'de çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş organik azot giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin organik azot giderim verimi sırasıyla %90,3, %86,9, %83,7 ve

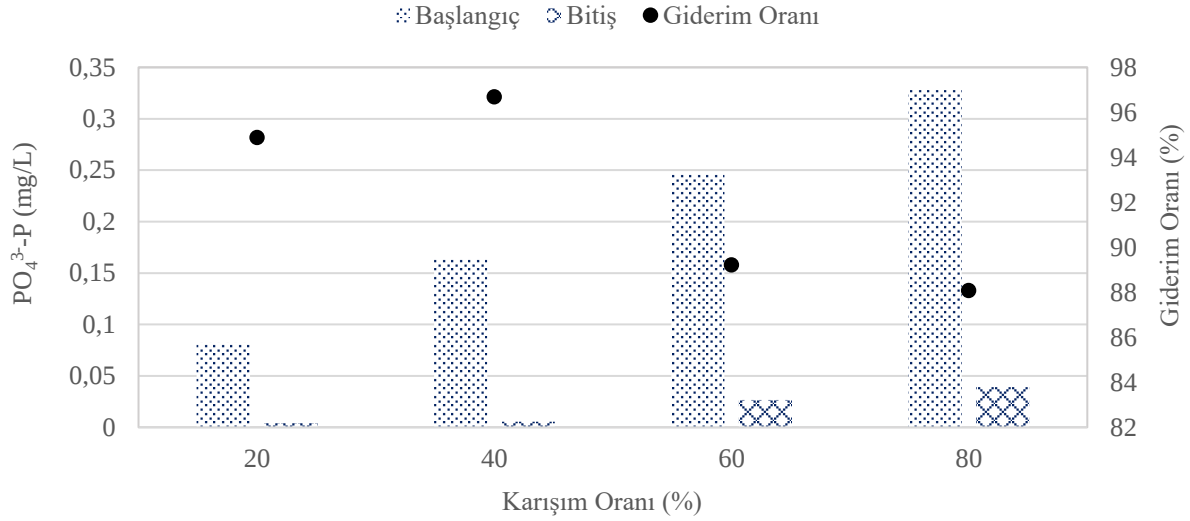
%4,51'dir. Artan DDSS derişimi ile beraber organik azot giderim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Dahası %80 oranında DDSS içeren besi yerinde ise giderim veriminde bir önceki seyreltmeye göre keskin bir düşüş vardır.



Şekil 3. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş organik azot değerleri ve giderim oranları

Şekil 4'te çoğaltma sonrası reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş TKN giderim oranları gösterilmiştir. %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin TKN giderim verimi sırasıyla %51,8, %44,6, %40,6 ve %20,2'dir.

Artan DDSS derişimi ile beraber TKN giderim veriminin de düştüğü gözlemlenmiştir. Dahası %80 oranında DDSS içeren besi yerinde ise giderim veriminde bir önceki seyreltmeye göre keskin bir düşüş vardır.



Şekil 4. PCC 6803'ün farklı sızıntı suyu derişimlerinde başlangıç/bitiş orto-fosfat değerleri ve giderim oranları

Çalışmanın sonuçlarına göre reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş azot kompozisyonları da aynı değildir. Başlangıçta, reaktörlerin içeriğindeki amonyak azotunun organik azota oranı 1,68 olarak belirlenmiştir. Çoğaltma sonunda ise %20, %40, %60 ve %80 oranında DDSS içeren besi yerlerinin içeriğindeki amonyak azotunun organik azota oranı sırasıyla 12,4, 10,3, 8,8 ve 2,6 olacak şekilde değışti tespit edilmiştir.

Sonuçlardan görülebileceği üzere, azot giderimi büyük oranda organik azot gideriminden kaynaklanmaktadır. Siyanobakteriler, amonyak, nitrat, nitrit, azot gazı (N_2) gibi inorganik azot kaynaklarını ve üre, ürik asit, siyanat, allantoin, arginin ve glutamin başta olmak üzere amino asitler, pürin ve pirimdin bazıları gibi organik azot kaynaklarını azot kaynağı olarak kullanabilirler [43-48]. PCC 6803 ise azot kaynağı olarak amonyum, nitrat, nitrit gibi inorganik azot kaynaklarını kullanabildiği gibi üre, arginin ve glutamin başta olmak üzere bazı temel amino asitleri de organik azot kaynağı olarak kullanabilmesine karşın [24, 46-49], amonyak öncelikli azot kaynağıdır [46]. Fakat, kompleks azotlu bileşiklerin PCC 6803 tarafından kullanılabilmesine dair literatürde bir çalışma yoktur. Öte yandan, kontrol besi yerinde anlamlı ölçüde azot giderimi olmadığı gözlemlenmiştir. Organik azotun giderimine sebep olan etmenin ne olduğu hakkında kesin bir yorum yapmak mümkün değildir. PCC 6803 türünün hetetrofik

veya mikсотrofik olarak da çoğaldığı literatürde belirtilmişse de, bu tip çoğalmaların özel koşullar altında (ışık-indüklenmiş hetetrofi ya da basit karbon kaynakları kullanılarak gerçekleştirilen mikсотtrofi) gerçekleşebildiği ifade edilmektedir [44, 47, 48, 50]. Bu sebepler ile organik azotun gideriminin sorumlusunun PCC 6803, ortamda bulunan hetetrofik organizmalar ya da daha farklı bir süreç olup olmadığı ile ilgili yorum yapmak için yeterince veri yoktur.

4. Sonuçlar

Synechocystis sp. PCC 6803 türü azot ve fosfor varlığında yüksek çoğalma hızlarına sahipken lipid üretkenliği kayıp etmemesinden dolayı atık suda biyokütle üretimi için en uygun adaylardan birisidir. Fakat, yüksek amonyum içeriğinden kaynaklandığı düşünülen inhibitör etki çalışmada mikroorganizmaların istenilen ölçüde çoğalmasına engel olduğu düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda çoğalmayı kısıtlayıcı etmenin yüksek amonyum derişiminin sebep olup olmadığı tespit edilmesi gerekmektedir. İnhibitör madde belirlendikten sonra *Synechocystis* sp. PCC 6803 yüksek uyum sağlama yetisinden yararlanılarak türün inhibitör maddeye karşı dirençli hale getirilmesi, PCC 6803'ün vaat ettiklerini gerçekleştirmesini sağlayabilir.

5. Kaynaklar

1. Pulz, O., Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **65**(6), 635-648.
2. Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q., Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. *Biotechnology Progress*, **24**(4), 815-820.
3. Brennan, L., Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—a review of technologies for production processing and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**(2), 557-577.
4. Milledge, J. J. (2011). Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, **10**(1), 31-41.
5. Ruiz, J., Olivieri, G., de Vree, J., Bosma, R., Willems, P., Reith, J. H., Barbosa, M. J. (2016). Towards industrial products from microalgae. *Energy & Environmental Science*, **9**(10), 3036-3043.
6. Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, **25**(3), 743-756.
7. Priyadarshani, I., & Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae—A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*, **3**(4), 89-100.
8. Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, **25**(3), 294-306.
9. Chen, G., Zhao, L., Qi, Y. (2015). Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: a critical review. *Applied Energy*, **137**, 282-291.
10. Leite, G. B., Abdelaziz, A. E., Hallenbeck, P. C. (2013). Algal biofuels: challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, **145**, 134-141.
11. Delrue, F., Setier, P. A., Sahut, C., Cournac, L., Roubaud, A., Peltier, G., Froment, A. K. (2012). An economic, sustainability, and energetic model of biodiesel production from microalgae. *Bioresource Technology*, **111**, 191-200.
12. Darzins, A., Pienkos, P., & Edye, L. (2010). Current status and potential for algal biofuels production. A report to IEA Bioenergy Task, 39.
13. Doucha, J., Straka, F., & Lívanský, K. (2005). Utilization of flue gas for cultivation of microalgae *Chlorella* sp. in an outdoor open thin-layer photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*, **17**(5), 403-412.
14. McGinn, P. J., Dickinson, K. E., Bhatti, S., Frigon, J. C., Guiot, S. R., O'Leary, S. J. (2011). Integration of microalgae cultivation with industrial waste remediation for biofuel and bioenergy production: opportunities and limitations. *Photosynthesis Research*, **109**(1-3), 231-247.
15. Rawat, I., Kumar, R. R., Mutanda, T., Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, **88**(10), 3411-3424.
16. Mallick, N. (2002). Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review. *Biometals*, **15**(4), 377-390.
17. Pittman, J. K., Dean, A. P., Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, **102**(1), 17-25.
18. Bilanovic, D., Holland, M., & Armon, R. (2012). Microalgal CO₂ sequestering—modeling microalgae production costs. *Energy Conversion and Management*, **58**, 104-109.
19. Li, W. W., Yu, H. Q., Rittmann, B. E. (2015). Chemistry: Reuse water pollutants. *Nature*, **528**, 29-31.
20. Cuellar-Bermudez, S. P., Aleman-Nava, G. S., Chandra, R., Garcia-Perez, J. S., Contreras-Angulo, J. R., Markou, G., Parra-Saldivar, R. (2016). Nutrients utilization and contaminants removal. A review of two approaches of algae and cyanobacteria in wastewater. *Algal Research*, **24**, 438-449.
21. Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, **27**(2), 261-266.
22. Anderson, D. M., Glibert, P. M., Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, **25**(4), 704-726.
23. Christenson, L., Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, **29**(6), 686-702.
24. Krasikov, V., Aguirre von Wobeser, E., Dekker, H. L., Huisman, J., Matthijs, H. C. (2012). Time-series resolution of gradual nitrogen starvation and its impact on photosynthesis in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803". *Physiologia Plantarum*, **145**(3), 426-439.
25. de-Bashan, L. E., Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. *Bioresource Technology*, **101**(6), 1611-1627.
26. Farré, M., Barceló, D. (2003). Toxicity testing of wastewater and sewage sludge by biosensors, bioassays and chemical analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, **22**(5), 299-310.
27. Aslan, S., Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*, **28**(1), 64-70.
28. Vermaas, W. (1996). Molecular genetics of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803

Principles and possible biotechnology applications. *Journal of Applied Phycology*, **8**, 263-273.

29. Machado, I.M.P., Atsumi, S. (2012). Cyanobacterial biofuel production. *Journal of Biotechnology*, **162**, 50-56.

30. Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., Darzins, A. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *The Plant Journal*, **54**(4), 621-639.

31. Cai, T., Ge, X., Park, S. Y., Li, Y. (2013). Comparison of *Synechocystis* sp. PCC6803 and *Nannochloropsis salina* for lipid production using artificial seawater and nutrients from anaerobic digestion effluent. *Bioresource Technology*, **144**, 255-260.

32. Kim, H. W., Vannela, R., Zhou, C., Rittmann, B. E. (2011). Nutrient acquisition and limitation for the photoautotrophic growth of *Synechocystis* sp. PCC6803 as a renewable biomass source. *Biotechnology and Bioengineering*, **108**, 277-285.

33. Lagarde, D., Beuf, L., Vermaas, W. (2000). Increased production of zeaxanthin and other pigments by application of genetic engineering techniques to *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. *Applied and Environmental Microbiology*, **66**(1), 64-72.

34. Huang, L., McCluskey, M. P., Ni, H., LaRossa, R. A. (2002). Global gene expression profiles of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 in response to irradiation with UV-B and white light. *Journal of Bacteriology*, **184**(24), 6845-6858.

35. Guedes, A. C., Amaro, H. M., Barbosa, C. R., Pereira, R. D., Malcata, F. X. (2011). Fatty acid composition of several wild microalgae and cyanobacteria, with a focus on eicosapentaenoic, docosahexaenoic and α -linolenic acids for eventual dietary uses. *Food Research International*, **44**(9), 2721-2729.

36. Huang, L., McCluskey, M. P., Ni, H., LaRossa, R. A. (2002). Global gene expression profiles of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 in response to irradiation with UV-B and white light. *Journal of Bacteriology*, **184**, 6845-6858.

37. Lu, X. (2010). A perspective: photosynthetic production of fatty acid-based biofuels in genetically engineered cyanobacteria. *Biotechnology Advances*, **28**, 742-746.

38. Teruo, O., Kaplan A. (2003). Inorganic carbon acquisition systems in cyanobacteria." *Photosynthesis Research*, **77**, 105-115.

39. Antal, T.K., Lindblad P. (2005). Production of H₂ by sulphur-deprived cells of the unicellular cyanobacteria *Gloeocapsa alpicola* and *Synechocystis* sp. PCC 6803 during dark incubation with methane or at various extracellular pH. *Journal of Applied Microbiology*, **98**, 114-120.

40. Cho, S., Lee, N., Park, S., Yu, J., Luong, T.T., Oh, Y.K., Lee, T. (2013). Microalgae cultivation for bioenergy production using wastewaters from a municipal WWTP as nutritional sources. *Bioresource Technology*, **131**, 515-520.

41. Singh, M., Reynolds, D.L., Das, K.C. (2011). Microalgal system for treatment of effluent from poultry litter anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, **102**, 10841-10848.

42. Wang, T., Yabar, H., Higano, Y. (2013). Perspective assessment of algae-based biofuel production using recycled nutrient sources: the case of Japan. *Bioresource Technology*, **128**, 688-696.

43. Kapp, R., Stevens Jr, S. E., Fox, J. L. (1975). A survey of available nitrogen sources for the growth of the blue-green alga, *Agmenellum quadruplicatum*. *Archives of Microbiology*, **104**(1), 135-138, 1975.

44. Flores, E., Herrero, A. (1994). "Assimilatory nitrogen metabolism and its regulation" in The molecular biology of cyanobacteria, (Ed) Donald A. Bryant., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 488-511.

45. Miller, S. R., Martin, M., Touchton, J., Castenholz, R. W. (2002). Effects of nitrogen availability on pigmentation and carbon assimilation in the cyanobacterium *Synechococcus* sp. strain SH-94-5. *Archives of Microbiology*, **177**(5), 392-400.

46. Flores, E., and A. Herrero. (2005). Nitrogen assimilation and nitrogen control in cyanobacteria. *Biochemical Society Transactions*, **33**(1), 164-167.

47. Krasikov, V., Aguirre von Wobeser, E., Dekker, H. L., Huisman, J., Matthijs, H. C. (2012). Time-series resolution of gradual nitrogen starvation and its impact on photosynthesis in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803. *Physiologia Plantarum*, **145**(3), 426-439.

48. Krasikov, V. (2012). Dynamic changes in gene expression of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 in response to nitrogen starvation. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands.

49. Wang, H. L., Postier, B. L., Burnap, R. L. (2004). Alterations in global patterns of gene expression in *Synechocystis* sp. PCC 6803 in response to inorganic carbon limitation and the inactivation of *ndhR*, a *LysR* family regulator. *Journal of Biological Chemistry*, **279**(7), 5739-5751.

50. Yu, Y., You, L., Liu, D., Hollinshead, W., Tang, Y. J., Zhang, F. (2013). Development of *Synechocystis* sp. PCC 6803 as a phototrophic cell factory. *Marine Drugs*, **11**(8), 2894-2916.