

## Termik Santral Kömür Emisyonlarına Dirençli *Leptolyngbya* sp. Biyokütle Optimizasyonu ve Kömür Emisyonlarından CO<sub>2</sub> Fiksasyonu

Burcu ERTİT TAŞTAN

Gazi Üniversitesi Yaşam Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 06830, Gölbaşı, Ankara

Geliş (Received): 06.04.2016

Kabul (Accepted): 31.05.2016

**ÖZET:** Çalışmada termik santral kömür emisyonlarına dirençli *Leptolyngbya* sp. siyanobakterisinin bu emisyonların çeşitli konsantrasyonlarında biyokütle üretiminde ve CO<sub>2</sub> fiksasyon oranında artış sağlayabilmek için farklı parametrelerin optimizasyonu sağlanmıştır. *Leptolyngbya* sp.'nin artan kömür emisyonlarına direnç sağlaması için biyokütle 3-Indoleacetic acid (IAA) ve *Viburnum opulus* (VO) büyüme uyarıcıları ile uyarılmıştır. En yüksek biyokütle konsantrasyonu kontrol kültürden 1.3 kat daha fazla olarak 3.788 g L<sup>-1</sup> ile BG11 + %5 Termik Santral Soğutma Suyu + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO besi yeri bileşiminde, pH 8'de, 35 ± 2 °C sıcaklıkta, 0.1 g L<sup>-1</sup> başlangıç biyokütle konsantrasyonunda, 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0, aydınlık:karanlık fotoperiyodu) ışık şiddetinde ve 14 günlük inkübasyon periyodunda elde edilmiştir. En yüksek maksimum biyokütle üretimi (Pmax) 0.263 g L<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup>, spesifik büyüme oranı 0.26 gün<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub> fiksasyon miktarı 48.2 mg CO<sub>2</sub> gün<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Çalışmada *Leptolyngbya* sp.'nin artan kömür emisyonlarında IAA ve VO büyüme faktörlerinin yardımıyla yüksek biyokütle üretebildiği ve kontrol kültüre göre çok daha fazla CO<sub>2</sub>'yi fiske edebildiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 3-Indoleacetic acid, büyüme uyarıcıları, CO<sub>2</sub> fiksasyonu, *Leptolyngbya* sp., *Viburnum opulus*

### Biomass Optimisation of Thermal Power Plant Coal Emissions Resistant *Leptolyngbya* sp. and CO<sub>2</sub> Fixation in Coal Emissions

**ABSTRACT:** In this study, different parameters were optimized in order to increase the CO<sub>2</sub> fixation rate and biomass production of *Leptolyngbya* sp., which is a new flue gas resistant cyanobacteria. *Leptolyngbya* sp. was stimulated with 3-Indoleacetic acid (IAA) and *Viburnum opulus* (VO) growth stimulators to provide resistant against increasing flue gas concentrations. The maximum biomass was obtained 1.3 times higher than of control culture with 3.788 g L<sup>-1</sup> in BG11 + 5% Thermal Power Plant Cooling Water + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO culture media, at pH 8, at 35 ± 2 °C, at 0.1 g L<sup>-1</sup> initial biomass concentrations, with 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0, light:dark photoperiod) in 14 days of incubation period. The maximum productivity (Pmax) was 0.263 g L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, the maximum specific growth rate was 0.26 d<sup>-1</sup> and the maximum CO<sub>2</sub> fixation rate was 48.2 mgCO<sub>2</sub> d<sup>-1</sup>. It was determined that compared to control culture, *Leptolyngbya* sp., could provide more biomass and capable of fixing more CO<sub>2</sub> rates with the help of IAA and VO growth stimulators at increasing flue gas emissions.

**Keywords:** 3-Indoleacetic acid, growth stimulators, CO<sub>2</sub> fixation, *Leptolyngbya* sp., *Viburnum opulus*

### GİRİŞ

Sanayi tesislerinde fosil yakıt kullanımının artması yıllık sera gazı emisyonların aşırı yükselmesine sebep olmaktadır. Sanayi tesisleri uzun vadede düşük maliyete sahip olmasından dolayı fosil yakıt kullanımını tercih etmektedirler. Bu da iklim değişikliğine uyum çalışmalarının başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olmaktadır (Sivacoumar ve ark., 2001). Termik santraller hava kirliliğine katkı yapan önemli birer unsurdurlar. Ülkemizde "linyit" en bol bulunan kömür çeşididir ve maliyeti düşük olduğu için endüstrinin bel kemiğini oluşturmaktadır (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2010). Kömür kullanımına bağlı olarak ülkemiz sera gazı artış hızı en yüksek olan ülkeler arasındadır (Yılmaz ve Yılmaz, 2013).

Doğal ve insan kaynaklı çevre kirliliği tarih boyunca en büyük sorunlardan biri olmuştur. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan hava kirliliğinde en önemli unsur olan baca gazı emisyonları CO<sub>2</sub>'nin yanısıra H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, yanmamış karbonhidratlar (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), CO, ağır metaller, halojen asitler ve partiküler maddeler

gibi 142 farklı bileşik içermektedir (Simoneit ve ark., 2001). Araştırmacılar bu emisyonların zararlı etkilerini geliştirdikleri farklı metotlarla azaltmaya çalışmaktadırlar (Gnanapragasam ve ark., 2009; Peng ve ark., 2012; Fine ve Hadas, 2012). Bu metotlar arasında en etkili ve en çevre dostu olanlar şüphesiz ki biyolojik materyallerin özellikle de mikroalglerin kullanıldığı metotlardır. Mikroalgler bugün yüzleştığımız birçok çevresel problemin bertaraf edilmesinde biyoteknolojik potansiyelleri ile bize çözüm önerisi sunan önemli mikroorganizmalardır (Doušková ve ark., 2010; de-Bashan ve Bashan, 2010). Baca gazında mikroalgal biyokütle üretimi ve bu biyokütlenin farklı değerli bileşiklere dönüştürülmesi günümüzde önemi yüksek çalışma alanlarından biridir (Jacob-Lopes ve ark., 2010; Radmann ve ark., 2011). Şüphesiz ki mikroalglerin baca gazı emisyonlarında üretilmesinde başarıya ulaşmak için en önemli faktörlerden biri; büyümeyi sınırlayan toksik gazlara karşı uygulanacak bir direnç faktörünün kültür ortamına eklenmesi suretiyle elde edilebilir.

Çalışmada bu amaçla kullanılan büyüme ve direnç faktörleri IAA (3-Indoleacetic acid) ve VO (*Viburnum opulus*) kuru biyokütlesidir. IAA doğal oksinlerden en yaygın rastlanan bitki büyüme hormonudur (Bartel ve ark., 2001). Bitki hücrelerinin gelişmesini, hücre uzamasını ve bölünmesini uyarır (Patten ve Glick, 2002). VO farmakoloji tarihinde önemli bir yere sahip olup (Youngken, 1930) güçlü bir antioksidandır (Karaçelik ve ark., 2015). Çalışmada baca gazına yüksek dirençli siyanobakterilerin emisyon gideriminde etkili birer biyomateryal olarak kullanımlarının IAA ve VO gibi büyüme ve direnç faktörlerinin etkisinde artacağı ve kontrol gruplara göre daha etkin biyokütle elde edilebileceği hipotezlenmiştir. Bu kapsamda gerçek baca gazı emisyonlarında yeni izole edilen *Leptolyngbya* sp. geliştirilmesine yönelik parametrelerin optimizasyonunu sağlamak ve etkin bir baca gazı arıtım prosesi elde etmek amaçlanmıştır. *Leptolyngbya* sp. Cyanophyta filumundan, Cyanophyceae sınıfından, Oscillatoriothycideae alt sınıfından, Oscillatoriales ordosundan, *Leptolyngbya* genusuna ait bir mikroorganizmadır. *Leptolyngbya* sp. atık su arıtımı, biyodizel üretimi (Singh ve Thakur, 2015) ve antimikrobiyal çalışmalarda (Mohsen ve ark., 2013) kullanılmaktadır. Ancak bu türün gerçek baca gazı varlığında geliştirilmesine yönelik bilgimiz dahilinde bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Konu ile ilgili olarak bu türün literatürde ilk kez yer alacak olması ve ülkemiz kömür emisyon kaynaklarının kullanımı ile yerli bir optimizasyon süreci içerisinde yüksek verimli biyokütle üretimi tüm detayları ile ortaya çıkarılmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Mikroalg İzolasyonu ve Kültür Koşulları

Çalışmada kullanılan mikroorganizmalar Eskişehir ili Mihaliçcik ilçesi Yunus Emre Termik Santrali yanından geçen Sakarya Nehri'nden alınan su örneklerinden izole edilmiştir. Örnekler içerisinde agarlı BG11 (Rippka, 1998) kültür ortamı bulunan petrilere inkübe edilerek  $25 \pm 2$  °C'de  $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (1750 lux) ışık altında inkübasyona bırakılmışlardır. Ortam pH'ı seyreltik (0.01 M) ve konsantre (1M) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH solüsyonları ile 8'e ayarlanmıştır. Petrilere gelişmeye başlayan koloniler mikromanipülasyon tekniği ile izole edilmişlerdir. Ardından yeni petrilere sürekli pasajlama yoluyla saf koloniler elde edilmiştir. Bu koloniler bakteriyel ortama da ekilerek her hangi bir kontaminasyonun olup olmadığı test edilmiştir. Saf kültürler sıvı BG11 kültür ortamına alınarak inkübe edilmişlerdir.

İçlerinde 100 mL sıvı BG11 kültür ortamı bulunan 250 ml erlenlerde kesikli sistemde kültüre alınan örnekler  $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (1750 lux) ışık altında  $25 \pm 2$  °C'de 5 gün boyunca geliştirilmişlerdir. Ardından 5-15. günlerde günde 2.4 vvm baca gazı uygulaması yapılmıştır. Tüm çalışmalarda eşit başlangıç biyokütle oranı kullanabilmek için her bir erlene logaritmik

gelişme fazındaki kültürlerden 0.1 g L<sup>-1</sup> oranında ekim yapılmıştır.

### PCR ve Sekanslama

PCR ve sekanslama işlemi logaritmik gelişme fazındaki kültürlerin 16S rRNA gen amplifikasyonu ile gerçekleştirilmiştir. 16S rRNA bölgesi ileri 106F: 5'-CGGACGGGTGAGTAACGCGTGA-3' ve geri 781R(a): 5'-GACTACTGGGGTATCTAATCCCATT-3' primerleri kullanılarak amplifike edilmiştir (Burja, ve ark., 2001). PCR 50 ml'lik reaksiyon karışımında gerçekleştirilmiş olup bu karışım 0.2 mM her bir primerden, 0.2 mM her bir dNTP'den, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub> ve 30 ng kalıp DNA içermektedir. Super-HotTaq Taq DNA polimeraz (Bioron GmbH, Germany) amplifikasyonda kullanılmıştır. PCR- amplifikasyon başlangıç denatürasyon aşaması 95 °C 10 dk, bunu izleyen 35 döngülü denatürasyon 95 °C 45 sn, sertleştirme (annealing) 60 °C 45 sn, uzatma (elongation) 72 °C 45 sn, son uzatma (final extension) 72 °C 10 dk olarak gerçekleştirilmiştir. PCR ürünleri UVP jel görüntüleme sisteminde analiz edilmiştir. Amplifike PCR ürünleri QIAGEN ekstraksiyon kiti ile saflaştırılmıştır. Sekanslamada Applied Biosystems Gene AMP PCR System 9700 kullanılmıştır.

### Büyüme ve Direnç Faktörleri

3-Indoleacetic acid (IAA) (CAS: 87-51-4; Sigma-Aldrich) solüsyonu 10 mg kimyasalın 20 mL kloroformda çözülmesi ile hazırlanmıştır. *Viburnum opulus* (VO) solüsyonu 80 °C'de kurutulmuş 10 mg VO tozunun 20 mL kloroformda çözülmesi ile hazırlanmıştır. Çalışmalarda kullanılacak konsantrasyonlar bu stokların seyreltilerek hesaplanması ile kültür ortamına ilave edilmiştir.

### Baca Gazı Emisyonu Oluşturma Sistemi

Çalışmalarda termik santrallerde tercih edilen endüstriyel yerli kömür kullanılmıştır. Baca gazı üretiminde ise özel bir yakma sistemi kullanılmıştır (Taştan ve ark., 2013). Kömürün bu sistemde yakılması neticesinde oluşan baca gazı kompresör yardımıyla ısıya dayanıklı silikon borularla basınçlı gaz depolama tanklarına aktarılmıştır (Turk Electric AE 136 AD, hacim 5 L). Yakma sisteminde depolanan baca gazı emisyonu kömürün tam yanma aşamasında toplanmıştır. Basınçlı tanklarda depo edilen baca gazı emisyonu erlen sistemlerindeki kültürlere vvm cinsinden (dakikada sıvı hacim başına aktarılan gaz miktarı) hesaplanarak aktarılmıştır.

### Baca Gazı Emisyonlarına Dirençli Mikroalg Seçimi

Baca gazı emisyonlarında en fazla biyokütle üretimini sağlayan mikroalgini seçimi için Sakarya Nehri'nden izole edilen 3 farklı siyanobakteri türü kullanılmıştır. Siyanobakteriler A, B ve C olarak

kodlandırılmışlardır. İçlerinde 100 mL sıvı BG11 kültür ortamı bulunan 250 mL erlenlerde kültüre alınan örnekler  $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (1750 lux) ışık altında  $25 \pm 2$  °C'de 5 günlük inkübasyonun ardından 5-15. günlerde günlerde uygulanan 2.4 vvm baca gazı ile inkübasyona devam etmişlerdir. Tüm çalışmalarda eşit başlangıç biyokütle oranı kullanabilmek için her bir erlene logaritmik gelişme fazındaki kültürlerden  $0.1 \text{ g L}^{-1}$  oranında ekim yapılmıştır.

#### **Besiyeri Seçimi**

Kültürasyonda en ucuz besi yerini oluşturabilmek amacıyla BG11 kültür ortamı çeşitli modifikasyonlarla değiştirilmiştir. BG11 ortamına ilk eklenen bileşen Eskişehir, Mihalıççık civarından alınan Sakarya Nehri Suyu'dur (SN). Bir diğer bileşen ise termik santral soğutma suyudur (SS). Termik santral soğutma suyunun dizayn parametreleri şu şekildedir (ppm); kalsiyum, 72-104; magnezyum, 120-165; sodyum, 320-440;  $\text{HCO}_3$ , 73.2,  $\text{CO}_3$ , 24; klorid, 0-440; sülfat, 696-1616; nitrat, 0-80;  $\text{SiO}_2$ , 28-50; Fe, 0.4-0.8; organik madde, 4.56-8.28; TOC, 4.8-12.

Çalışmalar bu bileşenlerle oluşturulan 11 farklı modifiye kültür ortamında seçilen siyanobakteri türü ile 2.4 vvm baca gazı uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Bu ortamlar; (1) BG11; (2) BG11 + %5 SN; (3) BG11 + %5 SS; (4) BG11 + %5 SN + %5 SS; (5) BG11 + %10 SN + %10 SS; (6) BG11 + %25 SN + %25 SS; (7) BG11 + %50 SN; (8) BG11 + %50 SS; (9) %100 SN; (10) %100SS; (11) %50 SN + %50 SS.

#### **Büyüme ve Direnç Faktörü Seçimi**

Baca gazına mikroalgal dirençte farklı büyüme ve direnç faktörleri olarak IAA ve VO etkileri araştırılmıştır. Çalışmalar 0, 0.5, 1 ve  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$  IAA ve/veya VO konsantrasyonlarında 2.4 vvm baca gazında ve seçilen optimum kültür ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 0, 0.5, 1 ve  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$  kloroform kontrol grup olarak kullanılmıştır. Büyüme ve direnç faktörlerinin tekli ve ikili etkileri aşağıdaki kompozisyonlarda araştırılmıştır ( $\text{mg L}^{-1}$ ); Kontrol grup (0 IAA, 0 VO), 0.5 IAA, 0.5 IAA + 0.5 VO, 0.5 IAA + 1 VO, 0.5 IAA + 2.5 VO, 1 IAA, 1 IAA + 0.5 VO, 1 IAA + 1 VO, 1 IAA + 1 VO, 2.5 IAA, 2.5 IAA + 0.5 VO, 2.5 IAA + 1 VO, 2.5 IAA + 2.5 VO, 0.5 VO, 1 VO, 2.5 VO.

#### **pH Seçimi**

pH'in baca gazı emisyonlarında kültüre alınan siyanobakteri biyokütlesi üzerindeki etkisini belirleyebilmek adına çalışmalar seçilen besi yerinde 6, 7, 8 ve 9 olmak üzere dört farklı pH'ta 2.4 vvm baca gazında gerçekleştirilmiştir.

#### **Aydınlatma Periyodu Seçimi**

Aydınlatma periyodunun baca gazı emisyonlarında kültüre alınan siyanobakteri biyokütlesi üzerindeki

etkisini belirleyebilmek adına çalışmalar seçilen pH'ta 24:0, 12:12 ve 16:8 aydınlık:karanlık periyotta  $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (1750 lux) ışık şiddetinde ve 2.4 vvm baca gazında gerçekleştirilmiştir.

#### **Sıcaklık Seçimi**

Sıcaklığın baca gazı emisyonlarında kültüre alınan siyanobakteri biyokütlesi üzerindeki etkisini belirleyebilmek adına çalışmalar seçilen aydınlatma periyodunda 25, 35 ve 45 °C sıcaklıklarda 2.4 vvm baca gazında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sıcaklık ayarlı orbital karıştırıcıda 100 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir (New Brunswick Scientific, Innova 40R, Eppendorf).

#### **Başlangıç Biyokütle Miktarı Seçimi**

Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun baca gazı emisyonlarında kültüre alınan siyanobakteri biyokütlesi üzerindeki etkisini belirleyebilmek adına çalışmalar seçilen sıcaklıkta 0.05, 0.1 ve  $0.15 \text{ g L}^{-1}$  biyokütle konsantrasyonlarında 2.4 vvm baca gazında gerçekleştirilmiştir.

#### **Baca Gazı Emisyon Akış Oranı Seçimi**

Optimum baca gazı konsantrasyonunun belirlenebilmesi için çalışmalar seçilen başlangıç biyokütle konsantrasyonunda ve 2.4, 4.8 ve 9.6 vvm baca gazında gerçekleştirilmiştir.

#### **Analitik Teknikler**

Hücre gelişmesi optik yoğunluk, kuru hücre ağırlığı, spesifik büyüme oranı ve maksimum biyokütle üretimi parametrelerinin analizi ile belirlenmiştir. Optik yoğunluk örneklerin 600 nm'de spektrofotometrik analizi ile, kuru hücre ağırlığı (biyokütle) örneklerin  $3421 \times g = 5000 \text{ rpm}$ 'de santrifüjlenmesi ardından pelletlerin 80 °C'de bir gece Pastör fırınında (J.R Selecta Digiheat model sterilizator) kurutulup tartılması yoluyla belirlenmiştir. Spesifik büyüme oranı ( $\mu$ ) yandaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır;

$$\mu = (\ln X_2 - \ln X_1) / (t_2 - t_1) \quad \text{E (1)}$$

$X_2$  ve  $X_1$ : kuru hücre ağırlığı ( $\text{g L}^{-1}$ );  $t_2$  ve  $t_1$ , zaman (Ip ve Chen, 2005).

Maximum biyokütle üretimi (Maximum productivity):

$$P = (X - X_0) / (t - t_0) \quad \text{E (2)}$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır. X: Son kuru hücre ağırlığı  $X_0$ : başlangıç kuru hücre ağırlığı ( $\text{g L}^{-1}$ ), t: son zaman  $t_0$ : başlangıç zamanı.

Klorofil a konsantrasyonları 646.6 nm'de Porra ve ark. (1989) tarafından geliştirilen metoda göre analiz edilmiştir. Klorofil konsantrasyonu litre başına miligram klorofil cinsinden ifade edilmiştir.

$\text{CO}_2$  fiksasyon oranı F ( $\text{g CO}_2 \text{ gün}^{-1}$ ) (3) numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır (Pegallapati ve

Nirmalakhandan 2013; Cheah ve ark., 2015; Yadav ve ark., 2015).

$$F = aP_x V \quad E (3)$$

a: 1.833 g CO<sub>2</sub>, P<sub>x</sub>: Biyokütle üretimi, V: Kültür hacmi.

Taramalı elektron mikroskop çalışmaları (SEM, Quanta SEM 400, FEI, USA) baca gazında kültüre alınan *Leptolyngbya* sp.'nin morfolojik değişikliklerini belirleyebilmek için Balusamy ve ark. (2015) tarafından izlenen metoda göre gerçekleştirilmiştir.

Tüm çalışmalar 3'er tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Verilerdeki standart sapmalar Kenney ve Keeping (1951) tarafından formüle edilen eşitliğe göre hesaplanmıştır;

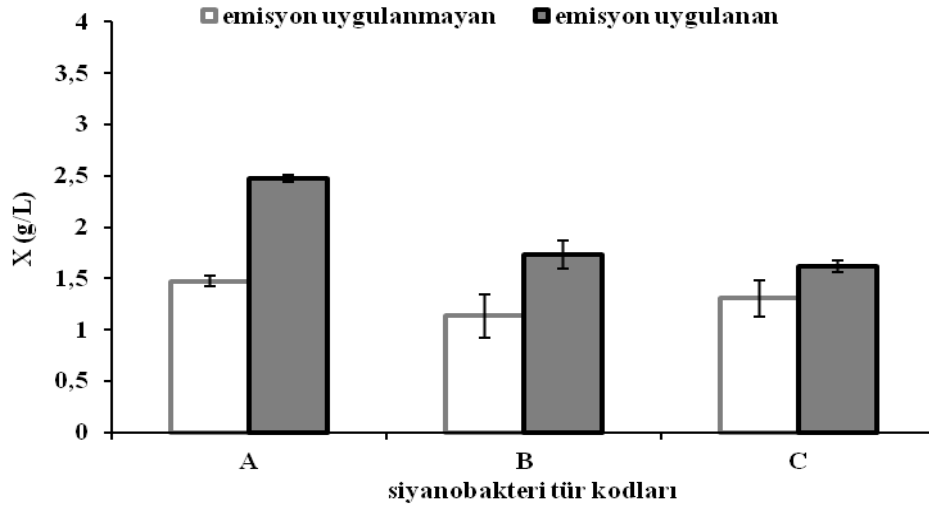
$$SE = \sqrt{\sigma^2} \quad E (4)$$

$\sigma$  tahmini hata varyansının karekökünü ifade etmektedir.

## BULGULAR

### Baca Gazı Emisyonlarına Dirençli Tür Seçimi

Çalışmanın ilk aşamasında termik santral yakınından geçen Sakarya Nehri'nden alınan su örneklerinden 3 adet farklı siyanobakteri izole edilmiştir. Bu siyanobakteriler A, B ve C olarak kodlandırılmışlardır. Şekil 1 incelendiğinde A türünde 14. gün sonunda 2.47 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edildiği görülmektedir. Bu değer baca gazı uygulanmayan kontrol grubuna göre %68.05 daha fazla biyokütleyle denk gelmektedir. B türünde ise kontrol gruba göre % 52.95 daha fazla biyokütle elde edilmiştir. En az biyokütle 1.616 g L<sup>-1</sup> ile C türünde elde edilmiş olup bu değer kontrol kültürden %23.55 daha yüksektir. Tüm veriler değerlendirildiğinde A türünün hem kontrol gruba göre hem de diğer türler arasında en fazla biyokütle değerine ulaştığı görülmektedir. Seçilen A türü PCR ve sekanslama işlemleri ile moleküler düzeyde tanımlanmıştır. 16S rRNA sekans analizlerine göre yeni izole edilen siyanobakteri türü %99 benzerlik oranı ile *Leptolyngbya* sp. olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Farklı siyanobakteri türleri arasında baca gazı emisyonlarına en dirençli olan türün belirlenmesi (Besi yeri: BG11, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), T: 25 ± 2 °C, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, akış oranı: 2.4 vvm, pH: 8, inkübasyon süresi: 14 gün).

### Baca Gazında *Leptolyngbya* sp. Üretim Koşulları Optimizasyonu

Farklı besiyeri bileşenleri ile 2.4 vvm baca gazı varlığında gerçekleştirilen *Leptolyngbya* sp. kültürasyonunda biyokütlede meydana gelen değişiklikler Çizelge 1'de gösterilmektedir.

İnkübasyon periyodu ardından en az biyokütlenin 1.38 g L<sup>-1</sup> ile BG 11 + %10 SN + %10 SS kültür ortamında kaydedildiği görülmektedir. En fazla biyokütlenin ise 2.62 g L<sup>-1</sup> ile BG 11 + %5 SS ortamında elde edildiği ve kontrol gruba göre %15.42 daha fazla biyokütle üretildiği kaydedilmiştir. Sadece BG11 kullanıldığında biyokütle miktarı 2.47 g L<sup>-1</sup> iken, BG11'e %5 SS eklenmesi hem maliyeti düşürmüştür hem

de %6 biyokütle verimi elde edilmiştir. Çalışmalarda kullanılmak üzere optimum besi yeri BG11 + %5SS olarak seçilmiştir.

Seçilen besi yerine IAA ve VO eklenmesinin 2.4 vvm baca gazı emisyonunda kültüre alınan *Leptolyngbya* sp. biyokütlesi üzerindeki etkileri Çizelge 2'de gösterilmektedir. Çizelge 2 incelendiğinde IAA ve VO'un farklı konsantrasyonlardaki bileşenlerinin bazılarının kontrol gruba göre olumlu bazılarının ise olumsuz sonuçlar verdiği kaydedilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere 0.5 mg L<sup>-1</sup> IAA ve 2.5 mg L<sup>-1</sup> VO uygulamasının siyanobakteri biyokütlesini kontrol gruba göre % 9.16 arttırdığı kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Farklı kültür ortam bileşenlerinin baca gazında *Leptolyngbya* sp. kültürasyonuna etkisi

Kültür ortamı bileşenleri	Xk (g L <sup>-1</sup> )	Xs (g L <sup>-1</sup> )
BG 11	1.47 ± 0.052	2.47 ± 0.032
BG 11 + %5 SN	1.49 ± 0.022	2.13 ± 0.038
BG 11 + %5 SS	2.27 ± 0.040	2.62 ± 0.075
BG 11 + %5 SN + %5 SS	1.58 ± 0.013	2.42 ± 0.008
BG 11 + %10 SN + %10 SS	1.47 ± 0.018	1.38 ± 0.085
BG 11 + %25 SN + %25 SS	1.88 ± 0.053	2.30 ± 0.024
BG 11 + %50 SN	1.62 ± 0.013	2.44 ± 0.015
BG 11 + %50 SS	1.82 ± 0.039	2.49 ± 0.057
%100 SN	1.04 ± 0.016	1.66 ± 0.012
%100 SS	1.67 ± 0.035	2.43 ± 0.088
%50 SN + %50 SS	1.25 ± 0.049	2.13 ± 0.052

SN: Sakarya Nehri Suyu, SS: Termik Santral Soğutma Suyu, Xk: baca gazı uygulanmayan *Leptolyngbya* sp. biyokütlesi kontrol grup, Xs: 2.4 vvm baca gazı uygulanan *Leptolyngbya* sp. biyokütlesi, T: 25 ± 2 °C, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, akış oranı: 2.4 vvm, pH: 8, inkübasyon süresi: 14 gün

Çizelge 2. IAA ve VO büyüme ve direnç faktörlerinin baca gazında *Leptolyngbya* sp. kültürasyonunda biyokütle (Xs) üzerine etkisi

		VO (mg L <sup>-1</sup> )			
		0	0.5	1	2.5
IAA (mg L <sup>-1</sup> )	0	2.62 ± 0.032	2.47 ± 0.071	2.25 ± 0.081	2.11 ± 0.036
	0.5	2.59 ± 0.071	2.36 ± 0.017	2.02 ± 0.184	2.86 ± 0.087
	1	2.80 ± 0.064	2.55 ± 0.094	2.54 ± 0.104	2.49 ± 0.069
	2.5	2.59 ± 0.042	2.54 ± 0.067	2.33 ± 0.042	2.24 ± 0.049

#### Çizelge dipnotları

IAA: Indol-3 Acetic Acid, VO: *Viburnum opulus*, Xs: 2.4 vvm baca gazı uygulanan *Leptolyngbya* sp. biyokütlesi, besi yeri: BG11+%5 SS, T: 25 ± 2 °C, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, akış oranı: 2.4 vvm, pH: 8, inkübasyon süresi: 14 gün

Bir önceki aşamada kaydedilen %6'lık verim ile birlikte bu aşamada toplam biyokütle veriminin %15.16'ya çıktığı görülmektedir. Ayrıca 1 mg L<sup>-1</sup> IAA ve 0 mg L<sup>-1</sup> VO kombinasyonunda da yüksek biyokütle elde edilmiş olması nedeniyle bu kombinasyon da farklı çalışmalar için bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

pH optimizasyon aşamasında ise 6-9 aralığında pH değerleri ile çalışılmıştır (Şekil 2).

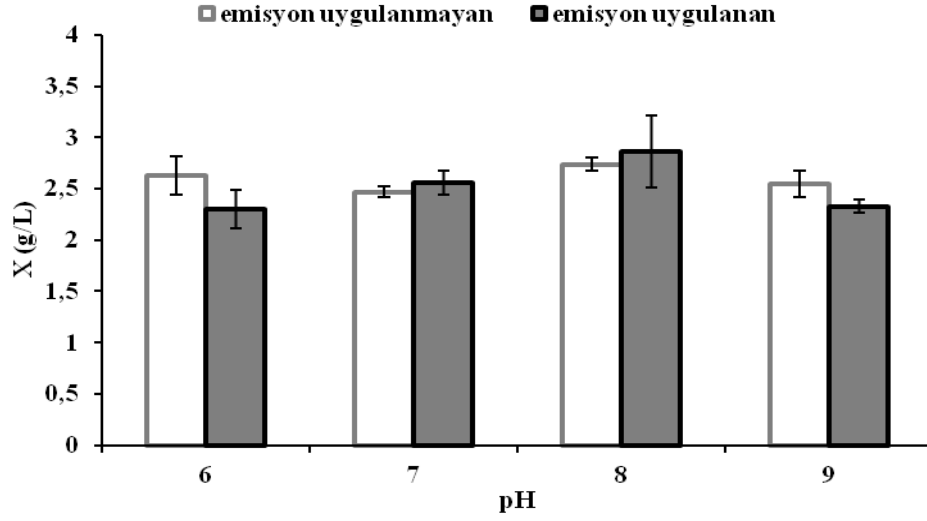
Şekil 2 incelendiğinde pH 7 ve 8 dışında emisyon uygulanmayan kontrol gruplarda, emisyon uygulanan gruplara göre daha fazla biyokütle üretildiği görülmektedir. pH 7'de kontrol grupta 2.47 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edilirken, emisyon uygulanan grupta ise 2.56 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edilmiştir. pH 8'de ise kontrol kültürde 2.74 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edilirken emisyon uygulanan grupta ise 2.86 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edilmiştir. Veriler incelendiğinde optimum pH 8 olarak seçilmiştir.

Seçilen besiyeri, büyüme faktörleri ve pH'ta gerçekleştirilen ışık şiddeti çalışmalarında 24:0, 12:12 ve 16:8 aydınlık:karanlık periyotlarında çalışılmıştır. Çalışma sonucu Şekil 3'te gösterilmektedir. Sürekli ışık uygulamasının (24:0) diğer ışık uygulamalarına göre daha fazla biyokütle üretimi sağladığı görülmektedir. En fazla biyokütle 2.86 g L<sup>-1</sup> ile 24:0 aydınlık:karanlık

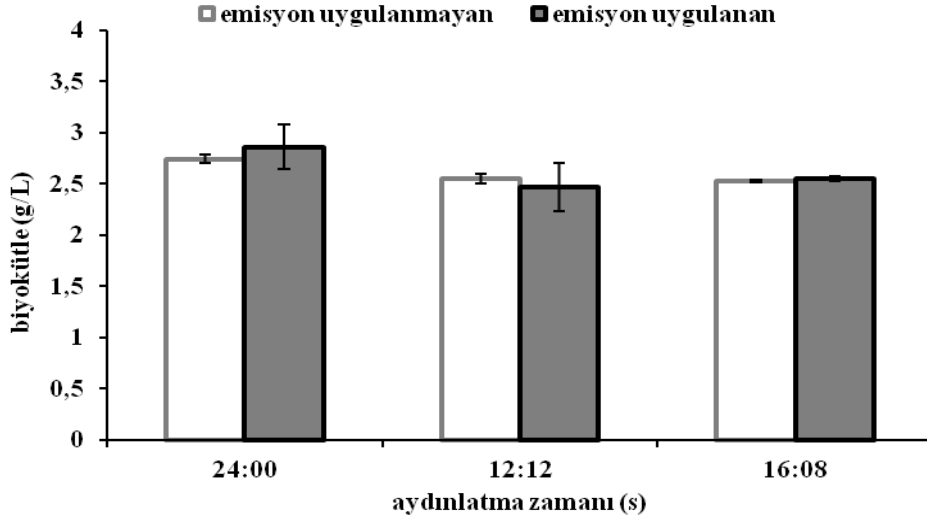
periyodunda, en az biyokütle ise 12:12 aydınlık:karanlık periyodunda 2.47 g L<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir.

Şekil 4'te ise sıcaklığın baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Sıcaklığın biyokütle üzerindeki etkisinin diğer çalışılan pH ve aydınlatma periyodu etkilerinden daha fazla fark oluşturduğu görülmektedir. Sıcaklık 25 °C iken emisyon uygulanan grupta 2.86 g L<sup>-1</sup> biyokütle üretilirken sıcaklık 35 °C'ye çıktığında 3.21 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde edilmiştir. Kontrol grupları arası fark daha az iken emisyon uygulanan grupta sıcaklık artışı ile biyokütlede de belirgin bir artış kaydedilmiştir. Ancak sıcaklık 45 °C'ye çıktığında ise herhangi bir gelişim görülmemiştir.

Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının etkisi ise Şekil 5'te gösterilmektedir. Diğer parametrelerde kullanılan 0.1 g L<sup>-1</sup> başlangıç biyokütlesinin 0.05 ve 0.15 g L<sup>-1</sup> konsantrasyonlarından daha etkin biyokütle üretimi sağladığı görülmektedir. Başlangıç biyokütlesi 0.05 g L<sup>-1</sup> iken 14. gün sonunda üretilen biyokütle miktarı 0.58 g L<sup>-1</sup> iken, başlangıç biyokütlesi 0.15 g L<sup>-1</sup> iken 14. gün sonunda elde edilen değer 2.67 g L<sup>-1</sup> 'dir. Bu parametrede optimum başlangıç biyokütle miktarı 14. gün sonunda elde edilen 3.21 g L<sup>-1</sup> ile 0.1 g L<sup>-1</sup> başlangıç biyokütle konsantrasyonudur.



Şekil 2. Farklı pH değerlerinin baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri (Besiyeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), T: 25 ± 2 °C, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0), akış oranı: 2.4 vvm, inkübasyon süresi:14 gün).



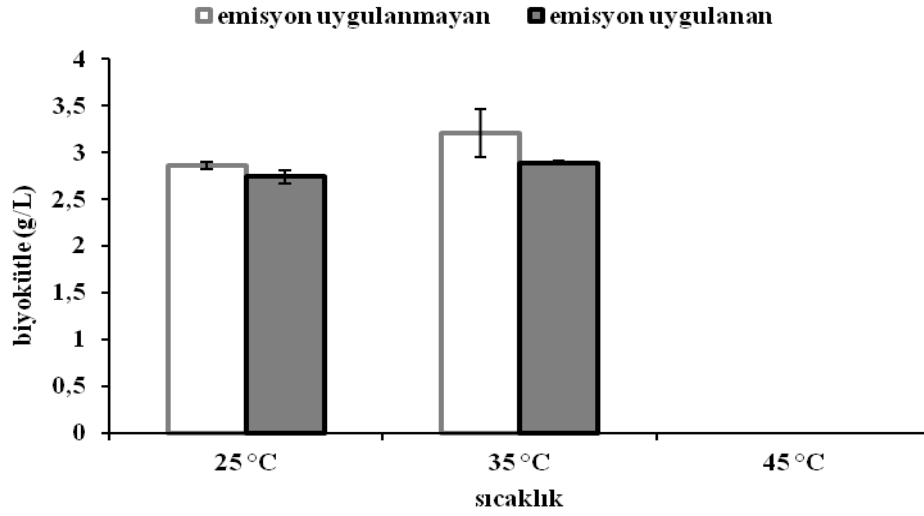
Şekil 3. Farklı aydınlatma zamanı sürelerinin baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri (Besiyeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, pH:8, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), T: 25 ± 2 °C, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, akış oranı: 2.4 vvm, inkübasyon süresi:14 gün).

Son olarak baca gazı emisyon akış oranlarının çalışıldığı optimizasyon parametresine ait veriler Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde akış oranı 2.4 vvm'den 4.8 vvm'e çıktığında biyokütle miktarında %18 artış kaydedildiği görülmektedir. İnkübasyon periyodunun ardından 4.8 vvm akış oranında elde edilen biyokütle miktarı 3.788 g L<sup>-1</sup> 'dir. Bu değer tüm aşamaların sırası ile optimize edilmesi ile elde edilmiş olup oldukça yüksek bir değerdir.

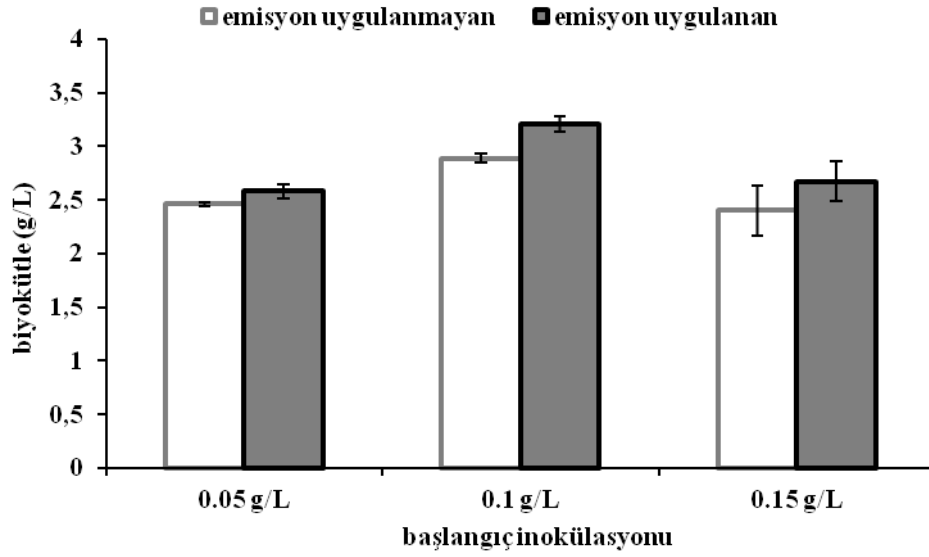
Çizelge 3'te ise artan akış oranlarında biyokütlede, spesifik büyüme oranında, maksimum biyokütle üretiminde ve CO<sub>2</sub> fiksasyon oranlarında meydana gelen değişimler gösterilmektedir. Çizelge incelendiğinde tüm

parametreler için en yüksek değerlerin 4.8 vvm akış oranında elde edilmiş olduğu görülmektedir.

Baca gazı emisyonu uygulanmayan kontrol grup *Leptolyngbya* sp. ve baca gazı uygulanan *Leptolyngbya* sp. grubuna ait SEM görüntüleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Baca gazı uygulamasının *Leptolyngbya* sp. hücreleri üzerinde morfolojik olarak değişikliklere yol açtığı SEM mikrograflarından gözükmektedir. Bu mikrograflara göre iplikli hücrelerin hücre çeperlerinin deforme olduğu ve yapısının bozulduğu görülmektedir. Bu durumun baca gazı bileşenlerinin kloroplastlar üzerine verdiği zarardan kaynaklanmış olabileceği düşünülebilir.



Şekil 4. Farklı sıcaklık değerlerinin baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri (Besi yeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, pH:8, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0), akış oranı: 2.4 vvm, inkübasyon süresi:14 gün).

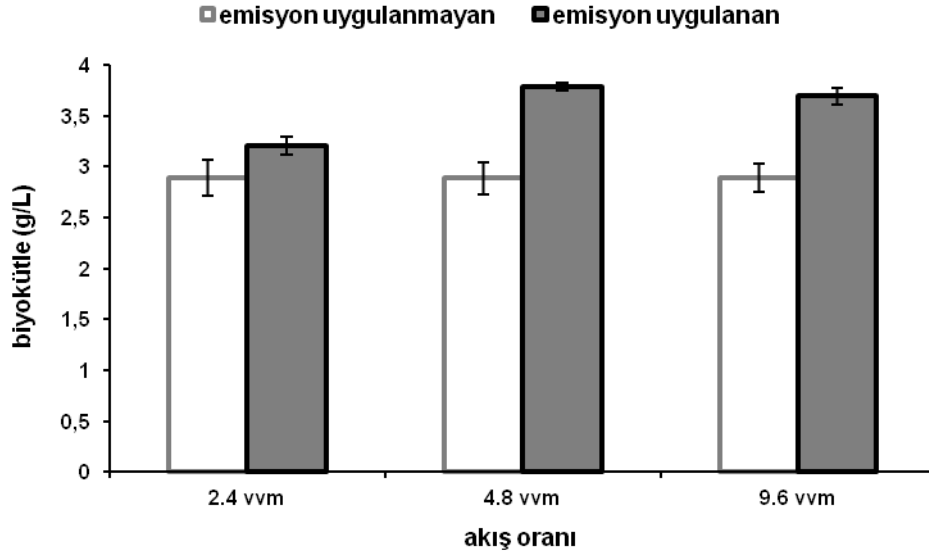


Şekil 5. Farklı başlangıç biyokütle değerlerinin baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri (Besi yeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, pH:8, T: 35 ± 2 °C, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0), akış oranı: 2.4 vvm, inkübasyon süresi:14 gün).

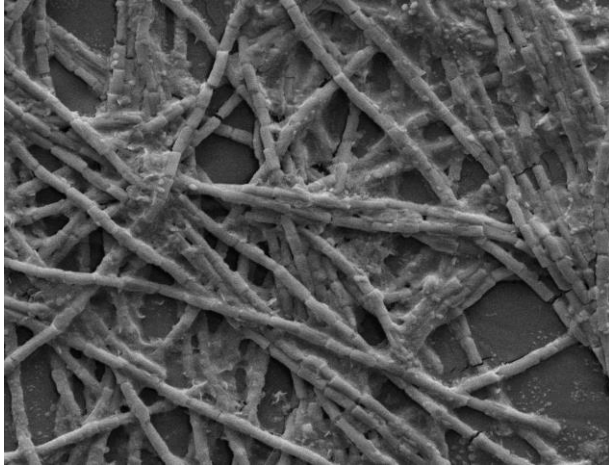
Çizelge 3. Farklı akış oranlarında elde edilen biyokütle konsantrasyonu (X), spesifik büyüme oranı (µ), klorofil a konsantrasyonu (chl a), maximum biyokütle üretimi (P) ve CO<sub>2</sub> fiksasyon oranı (F).

Akış oranı (vvm)	X (g L <sup>-1</sup> )	µ (gün <sup>-1</sup> )	chl a (µg mL <sup>-1</sup> )	P (g L <sup>-1</sup> gün <sup>-1</sup> )	F (mg CO <sub>2</sub> gün <sup>-1</sup> )
0	2.89 ± 0.173	0.24 ± 0.006	5.54±0.242	0.199 ± 0.009	36.5 ± 1.73
2.4	3.21 ± 0.087	0.25 ± 0.003	6.15±0.231	0.222 ± 0.009	40.7 ± 1.62
4.8	3.78 ± 0.043	0.26 ± 0.009	7.25±0.167	0.263 ± 0.032	48.2 ± 5.95
9.6	3.69 ± 0.085	0.26 ± 0.008	7.08±0.196	0.257 ± 0.026	47.1 ± 4.73

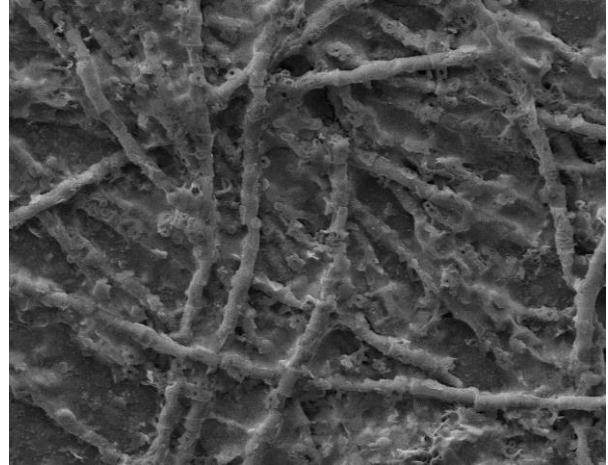
Besi yeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, pH:8, T: 35 ± 2 °C, X: biyokütle (g L<sup>-1</sup>), aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0), µ: Spesifik büyüme oranı, P: Maximum biyokütle üretimi, F: CO<sub>2</sub> fiksasyon oranı, inkübasyon süresi:14 gün



Şekil 6. Farklı akış oranlarının baca gazı emisyonlarda geliştirilen *Leptolyngbya* sp. biyokütle üretimi üzerindeki etkileri (Besi yeri: BG11 + %5SS + 0.5 g L<sup>-1</sup> IAA + 2.5 g L<sup>-1</sup> VO, pH:8, T: 35 ± 2 °C, X<sub>0</sub>: 0.1 g L<sup>-1</sup>, aydınlatma: 25 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (24:0), inkübasyon süresi:14 gün).



a



b

Şekil 7. a.Baca gazı uygulanmayan *Leptolyngbya* sp. kontrol grubuna ait SEM mikrografı (20 µm), b. Baca gazı uygulanan *Leptolyngbya* sp. kontrol grubuna ait SEM mikrografı (10 µm).

#### TARTIŞMA ve SONUÇ

Mikroalgler geleceğin en önemli temiz enerji kaynaklarıdır. Çalışma mikroalglerin baca gazı emisyonu varlığında geliştirilmesi ile farklı bir kullanım alanını vurgulamaktadır. 1 kg kuru alg elde edebilmek için 1.3-2.4 kg CO<sub>2</sub>'ye ihtiyaç duyulmaktadır (Becker, 2008). Mikroalglerin atmosferden difuze ettiği 380 ppmv konsantrasyonu ile ürettikleri biyokütle miktarı yetersiz olmaktadır (McGin ve ark., 2011). Bu nedenlerle baca gazı emisyonları yoğun CO<sub>2</sub> içerikleri ile mikroalgal biyokütleyi artırıcı önemli birer karbon kaynağıdır.

Yapılan çalışmalar baca gazında mikroalg kültürasyonunda optimum CO<sub>2</sub> fiksasyonu, lipid ve biyokütle üretimi için en önemli aşamanın baca gazına

en dirençli türün seçim aşaması olduğunu vurgulamaktadır (Bhola ve ark., 2014). Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında termik santral yakınından geçen Sakarya Nehri'nden izole edilen 3 farklı siyanobakteri arasından baca gazı emisyonuna en fazla direnç gösteren tür seçilmiş ve bu izolat moleküler teşhisle *Leptolyngbya* sp. olarak tanımlanmıştır. Bu tür konu ile ilgili olarak literatürde ilk kez kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde yeni izole edilen bu türün literatürde baca gazına dirençli mikroalgler arasında önemli bir yeri olacağı açıktır. Önceki baca gazı çalışmalarında araştırmacılar gösterdiği yüksek direnç sayesinde genellikle *Chlorella* sp. türlerini kullanmışlardır (Lee ve ark., 2002; Yue ve Chen, 2005; de Morais ve Costa 2007; Radmann ve ark., 2011). En



direçli türün seçilmesinin ardından düşük maliyetli ve verimli bir besiyerinin kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla standart BG11 besi yerine Sakarya Nehri suyu ve termik santralin soğutma suyu çeşitli oranlarda karıştırılarak farklı kompozisyonlar oluşturulmuştur. Diğer aşamada ise iki farklı büyüme ve direnç faktörü kullanılarak mikroorganizmanın baca gazı emisyonlarına karşı dirençli olması sağlanmıştır. Çeşitli baca gazlarında mikroalg geliştirilmesine yönelik yapılan önceki çalışmalarda bu gazlardaki toksik bileşenlere karşı mikroalglerin direncini geliştirmek için hiçbir ek büyüme uyarıcının kullanılmadığı görülmektedir (Radmann vd. 2011; Jacob-Lopes vd. 2010). Halbuki yapılan çalışmada IAA ve VO solusyonlarının kullanıldığı durumda, bu solusyonların kullanılmadığı kontrol gruba göre önemli miktarda daha fazla biyokütle elde edildiği belirlenmiştir. Aynı zamanda da bu çalışma ile büyüme düzenleyicilerinin farklı bir disiplinde kullanılması da literatürde ilk kez araştırma konusu olmuştur. Benzer bitki büyüme ve direnç faktörlerinden 1-triakontanol ve salisilik asidin kuraklık toleransı ve çamlarda fide sayısında artış sağladığı (Rajasekaran ve Blake, 1999) aynı zamanda da buğday fideleri başına yaş ve kuru ağırlık miktarları ile yaprak sayısında da önemli artışların sağlandığı üstelik bu artışların büyüme faktörlerinin düşük konsantrasyonlarında elde edildiği vurgulanmıştır (Hayat ve ark., 2005). Başka bir çalışmada ise 1-triakontanol büyüme faktörünün düşük konsantrasyonlarında siyanobakterilerden *Synechocystis* sp. ile *Phormidium* sp. de yüksek boya giderimi ve yüksek biyokütle üretimi sağladığı belirlenmiştir (Karacakaya ve ark., 2009). Baca gazı emisyonlarında mikroalg geliştirilmesi prosesinde bacadan alınan gaz soğutma sisteminden geçirilerek soğutulmakta ve ardından mikroalg havuzlarına aktarılmaktadır. Termik santrallerde yanma verimi ile orantılı olarak baca gazının kazandan çıkışı ortalama 140 °C olup ilerleyen aşamalarda 80 °C'ye kadar düşürülmektedir. Kulede su buharı ile birleştirilen baca gazının son çıkış sıcaklığı ise 35 °C civarında olmaktadır. Farklı iklimsel koşullar da göz önüne alınarak çalışmamızda 25-45 °C aralığında sıcaklık değerleri kullanılmıştır ve en çok biyokütle 35°C'de elde edilmiştir. Mikroalgal optimizasyon çalışmalarında fotoperiyodun önemli bir yeri vardır. Çalışmada 24:0, 16:8 ve 12:12 aydınlık:karanlık fotoperiyodlarının biyokütle üretimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. En yüksek biyokütle 24:0 aydınlık:karanlık periyodunda 2.86 g L<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada *Scenedesmus obliquus* CO<sub>2</sub> fiksasyonunu arttırabilmek için 16:8 ve 24:0 aydınlık:karanlık periyodlarında kültüre alınmıştır. Elde edilen en yüksek spesifik büyüme oranı 37 günlük inkübasyon süresi sonunda 16:8 fotoperiyotta 0.74 gün<sup>-1</sup>, 24:0 fotoperiyotta ise 0.66 g L<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Basu ve ark., 2013). Bir diğer çalışmada *Nannochloropsis oculata* ile termik santral kömür

emisyonlarında, gece ve gündüz fotoperiyodlarında CO<sub>2</sub> fiksasyonu açık havuz sisteminde araştırılmıştır (Cheng ve ark., 2015). En yüksek CO<sub>2</sub> fiksasyonu gündüz periyodunda 18.4-40.7 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda kaydedilen en yüksek CO<sub>2</sub> fiksasyon oranı 48.2 mg CO<sub>2</sub> gün<sup>-1</sup> olarak 0.1 litrede elde edilmiştir. Bir başka çalışmada ise *Scenedesmus dimorphus* simule edilen baca gazı varlığında kültüre alındığında 0.49 g L<sup>-1</sup> biyokütle ile 0.037 g L<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup> Pmax elde edilmiştir (Jiang ve ark., 2013). Çalışmada *Leptolyngbya* sp.'nin ulaştığı en yüksek biyokütle miktarı 3.78 g L<sup>-1</sup> iken Pmax değeri ise 0.263 g L<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup>dür, üstelik bu sonuçlar simule değil gerçek baca gazı varlığında elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde baca gazında kültüre alınan siyanobakterilerin yeşil mikroalglerden (Chlorophyta) daha verimli biyokütle ürettikleri ve daha çok CO<sub>2</sub> fiksasyon oranına ulaştıkları görülmektedir. Çalışma siyanobakterilerden *Leptolyngbya* sp.'yi baca gazı emisyonlarından CO<sub>2</sub> fiksasyonunda önemli bir biyolojik materyal olarak sunmaktadır.

#### TEŞEKKÜR

Çalışmayı Teknogirişim Sermayesi Desteği Programı 025648 nolu İş Fikri kapsamında destekleyen T.C. Bilim Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı'na ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Türk Patent Enstitüsü Patent başvuru numarası:  
2015-TP101-613

#### KAYNAKLAR

- Balusamy, B., Taştan, B.E., Ergen, S.F., Uyar, T., Tekinay, T. 2015. Toxicity of lanthanum oxide (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles in aquatic environments. *Environ Sci Process Imp*, 17: 1265-1270.
- Bartel, B., LeClere, S., Migidin, M., Zolman, B.K. 2001. Inputs to active indole-3-acetic acid pool: de novo synthesis, conjugate hydrolysis, and indole-3-butyric acid b-oxidation. *J Plant Growth Reg*, 20:198-216.
- Basu, S., Roy, A.S., Mohanty, K., Ghoshal, A.K. 2013. Enhanced CO<sub>2</sub> sequestration by a novel microalga: *Scenedesmus obliquus* SA1 isolated from biodiversity hotspot region of Assam, India. *Bioresour Technol*, 143:369-377.
- Becker, E.W. 2008. *Microalgae: biotechnology and microbiology*. (Cambridge studies in microbiology 10. Cambridge: Cambridge University Press).
- Bhola, V., Swalaha, F., Kumar, R.R., Singh, M., Bux, F. 2014. Overview of the potential of microalgae for CO<sub>2</sub> sequestration. *Int J Environ Sci Technol*, 11: 2103-2118.
- Burja, A. M., Tamagnini, P., Bustard, M.T., Wright, P.C. 2001. Identification of the green alga, *Chlorella vulgaris* (SDC1) using cyanobacteria derived 16S

- rDNA primers: targeting the chloroplast. FEMS Microb Letter, 202: 195-203.
- Cheah, W.Y., Show, P.L., Chang, J.S., Ling, T.C., Juan, J.C. 2015. Biosequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> and flue gas-containing CO<sub>2</sub> by microalgae. Bioresource Technol, 184: 190-201.
- Cheng, J., Yang, Z.B., Huang, Y., Huang, L., Hu, L.Z., Xu, D.H., Zhou, J.H., Cen, K.F. 2015. Improving growth rate of microalgae in a 1191 m<sup>2</sup> raceway pond to fix CO<sub>2</sub> from flue gas in a coal-fired power plant. Bioresour Technol, 190: 235-241.
- de-Bashan, L.E., Bashan, Y. 2010. Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. Bioresour Technol, 101: 1611-1627.
- de Moraes, M.G., Costa, J.A.V. 2007. Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide. Energy Conver Manage, 48: 2169-2173.
- Doušková, I., Kaštánek, F., Maléterová, Y., Kaštánek, P., Doucha, J., Zachleder, V. 2010. Utilization of distillery stillage for energy generation and concurrent production of valuable microalgal biomass in the sequence biogas-cogeneration-microalgae-products. Energy Conver Manage, 51: 606-611.
- Fine, P., Hadas, E. 2012. Options to reduce greenhouse gas emissions during wastewater treatment for agricultural use. Sci Total Environ, 416: 289-299.
- Gnanapragasam, N., Reddy, B., Rosen, M. 2009. Reducing CO<sub>2</sub> emissions for an IGCC power generation system: effect of variations in gasifier and system operating conditions. Energy Conver Manage, 50: 1915-1923.
- Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B., Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agron. Hung, 53: 433-437.
- Ip, P.F., Chen, F. 2005. Production of astaxanthin by the green microalga *Chlorella zofingiensis* in the dark. Process Biochem, 40: 733-738.
- Jacob-Lopes, E., Scoparo, C.G.H., Queiroz, M.I., Franco, T.T. 2010. Biotransformations of carbon dioxide in photobioreactors. Energy Convers Manage, 51: 894-900.
- Jiang, Y., Zhang, W., Wang, J., Chen, Y., Shen, S., Liu, T. 2013. Utilization of simulated flue gas for cultivation of *Scenedesmus dimorphus*. Bioresour Technol, 128: 359-364.
- Karacakaya, P., Kılıç, N.K., Duygu, E., Dönmez, G. 2009. Stimulation of reactive dye removal by cyanobacteria in media containing triacontanol hormone. J Hazard Mater, 172: 1635-1639.
- Karaçelik, A.A., Küçük, M., İskefiyeli, Z., Aydemir, S., De Smet, S., Miserez, B., Sandra, P. 2015. Antioxidant components of *Viburnum opulus* L. determined by on-line HPLC-UV-ABTS radical scavenging and LC-UV-ESI-MS methods. Food Chem, 175: 106-114.
- Kenney, J.F., Keeping, E.S. 1951. Standard Error of the Mean in Mathematics of Statistics, Pt. 2, 2nd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, 110: 132-133.
- Lee, J.S., Kim, D.K., Lee, J.P., Park, S.C., Koh, J.H., Cho, H.S., Kim, S.W. 2002. Effects of SO<sub>2</sub> and NO on growth of *Chlorella* sp. KR-1. Biores Technol, 82: 1-4.
- McGin, P.J., Dickinson, K.E., Bhatti, S., Frigon, J.C., Guiot, S.R., O'Leary, S.J.B. 2011. Integration of microalgae cultivation with industrial waste remediation for biofuel and bioenergy production: opportunities and limitations. Photosynth Res, 109: 231-247.
- Mohsen, A., Gholamreza, Z., Iraj, R. 2013. Antimicrobial Potentials of *Leptolyngbya* sp. and Its Synergistic Effects With Antibiotics. Jundishapur J Microbiol, 6 (5): e6536.
- Patten, C.L., Glick, B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole-acetic acid in development of the host plant root system. Appl Environ Microbiol, 68: 3795-3801.
- Pegallapati, A.K., Nirmalakhandan, N. 2013. Internally illuminated photobioreactor for algal cultivation under carbon dioxide-supplementation: Performance evaluation. Renew Energ, 56: 129-135.
- Peng, Y., Zhao, B., Li, L. 2012. Advance in post-combustion CO<sub>2</sub> capture with alkaline solution: a brief review. Energy Procedia, 14: 1515-1522.
- Porra, R.J., Thompson, W.A., Kreidemann, P.E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Biochim Biophys Acta, 975: 384-394.
- Radmann, E.M., Camerini, F.V., Santos, T.D., Costa, J.A.V. 2011. Isolation and application of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> resistant microalgae in biofixation of CO<sub>2</sub> from thermoelectricity plants. Energy Conver Manage, 52: 3132-3136.
- Rajasekaran, L.R., Blake, T.J. 1999. New plant growth regulators protect photosynthesis and enhance growth under drought of jack pine seedlings. J Plant Growth Regul, 18: 175-181.
- Rippka, R. 1988. Recognition and identification of cyanobacteria. Methods Enzymol, 167: 28-67.
- Simoneit, B.R.T., Rogge, W.F., Lang, Q., Jaffe, R. 2001. Molecular characterization of smoke from campfire burning of pine wood (*Pinus elliotii*). Chemosphere, 2: 107-122.
- Singh, J., Thakur, I.S. 2015. Evaluation of cyanobacterial endolith *Leptolyngbya* sp. ISTCY101, for integrated wastewater treatment and biodiesel production: A toxicological perspective. Algal Res, 11: 294-303.

- Sivacoumar, R., Bhanarkar, A.D., Goyal, S.K., Gadkari, S.K., Aggarwal, A.L. 2001. Air pollution modeling for an industrial complex and model performance evaluation. *Environ Pol*, 111: 471-477.
- Taştan, B.E., Duygu, E., İlbaşı, M., Dönmez, G. 2013. Utilization of LPG and gasoline engine exhaust emissions by microalgae, *J Hazard Mater*, 246:173-180.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Linyit Sektör Raporu, 2010. Ankara, Mart 2011 <http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/K%C3%B6m%C3%BCrSektorRaporu2010.pdf> (Erişim Tarihi: 15.03.2016)
- Yadav, G., Karemore, A., Dash, S.K., Sen, R. 2015. Performance evaluation of a green process for microalgal CO<sub>2</sub> sequestration in closed photobioreactor using flue gas generated in-situ. *Bioresource Technol*, 191: 399-406.
- Yılmaz, H., Yılmaz, M. 2013. Forecasting CO<sub>2</sub> emissions for Turkey by using the grey prediction method, *J Eng Nat Sci Sigma*, 31: 141-148.
- Youngken, H.W. 1930. The pharmacognosy, chemistry and pharmacology of viburnum\*: I. Introduction, History, Botany and Pharmacognosy of *Viburnum Prunifolium* L., *Viburnum Ruridulum* Raf., *Viburnum Cassinoides* L., and *Viburnum Nudum* L. *J American Pharma Assoc*, 19: 680-704.
- Yue, L., Chen, W. 2005. Isolation and determination of cultural characteristics of a new highly CO<sub>2</sub> tolerant fresh water microalgae, *Energy Conver Manage*, 46: 1868-1876.