



Syanobakteri *Spirulina platensis*'in Besin Kimyası ve Mikrobiyolojisi

Hilal KARGIN YILMAZ* Mahitap Duygu DURU
Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir Kampüsü

*Sorumlu Yazar

e-posta: hilal@mersin.edu.tr

Özet

Mikroalgler, farklı kimyasal ve biyolojik bileşikleri üretme özelliği nedeniyle önemli organizmalardır. *Spirulina platensis* yüksek karbonat ve bikarbonat seviyeleri ve pH'sı 11'i bulabilen, yüksek pH ile karakterize edilen su kütlelerinde yoğun üretilen, hasadı kolay olan planktonik bir canlıdır.

S. platensis yüksek protein, gamma-linolenik asit, B₁₂ içeriği ve düşük yağ oranından dolayı ticari önemi olan bir mikroalgdir. Spirulina, besin özellikleri yanında farmakolojik etkileri nedeniyle de ilgi odağıdır. Bilim insanları, mikroalg üreticileri, mikroalglerin insan sağlığı üzerindeki pozitif etkilerini ortaya koymaya çalışmaktadır. Bu araştırmalarda *Spirulina*'nın antiviral, antikanser, antidiyabetik, antibiyotik, antioksidan, prebiyotik, probiyotik, bağışıklık sistemi güçlendirici, kardiyovasküler sistem koruyucu, hipokolesterolemik ve antialerjik etkileri bulunmuş ve bu pozitif etkinin nedeni olarak da içerdikleri biyoaktif maddelerin yüksekliği gösterilmiştir. *Spirulina*'nın intestinal kanaldaki laktobasillerin sayılarını artırarak sindirim sistemi fonksiyonlarını düzenlediği de bildirilmiştir.

Spirulina'nın üretim ve işleme aşamasında yanlış uygulamalar neticesinde mikrobiyal kirlenmeler oluşabilmektedir. Modern ticari çiftliklerden alınan spirulina örneklerinin yüzlerce analizinde nadiren koliforma rastlanmıştır.

Toz *S. platensis*'in yüksek Cr tutma özelliği dikkate alındığında, deri sanayi atık sularında ve atıkların bekletildiği havuzlarda *S. platensis*'in üremesine izin vererek; Cr gibi ağır metal kirliliğine sebep olan diğer birçok metal iyonunu da atık havuzlarında fiske edilerek, kontrollü bir şekilde yok edilmesini mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Spirulina platensis*, besin kimyası, mikrobiyolojisi

Food Chemistry and Microbiology of Cyanobacter *Spirulina platensis*

Abstract

Microalgae are important organisms because of their different chemical structure and production capability of biological compounds. *S. platensis* is a planktonic organism which is intensely cultured and easily harvested in water bodies that characterised with high pH levels. In addition, *S. platensis* is a microalga has commercial importance because of its high protein, gamma-linolenic acid, B12 and low fat ratio. *Spirulina* is an interest focus for reason of pharmacological properties besides food properties.

Scientists and microalgae producers have been trying to find out positive effects of microalgae on human health. Antiviral, anticancer, antidiabetic, antibiotic, antioxidant, probiotic, hypocholesterolemic, antiallergic and cardiovascular prophylactic effects of *Spirulina* have determined in these researches and it has exposed that reason of these positive effects are *Spirulina*'s high bioactive material contents. It has reported that, *Spirulina* organise functions of digestive system by means of increasing lactobacillus in intestinal canal.

Microbial pollutions may occur during production and processing phases of *Spirulina* because of wrong practises. Coliform had been rarely found in analyses of *Spirulina* samples from modern commercial farms.

Because, *S. platensis* has have a high level capability for Cr fixing, Cr and a lot of metal ion causing heavy metal pollution can fixed and eliminate by means of production of *S. platensis* in ponds where waste water of leather industry has kept.

Key Words: *Spirulina platensis*, food chemistry, microbiology

GİRİŞ

Mikroalg ve siyanobakteriler fitoplanktonu oluşturur. Balıklar ile diğer sucul organizmalar için besin maddesi olarak kullanılmalarından dolayı doğadaki besin zincirinin başlangıç noktasını oluştururlar. Mikroalgal biyoteknolojiyi konu alan pek çok kaynakta siyanobakteriler, mikroalglerle birlikte değerlendirilir [12].

Algler, çevre problemlerine neden olabilir; suların özellikle azot ve fosforca yüksek oranda fertilizasyonu sonucu alg patlamaları oluşabilir (ötrofikasyon) ve diğer canlı organizmaların büyümesini inhibe edebilirler. Bazı deniz türleri (dinoflagellatlar) kabuklu deniz canlılarını kontamine edebilir ve oldukça kuvvetli ekzotoksinleri nedeniyle besin zehirlenmelerine yol açabilirler.

Mikroalgal Biyoteknoloji

Mikroalgler farklı kimyasal ve biyolojik bileşikler üreten özellikleri nedeniyle önemli organizmalardır. Vitaminler, pigmentler, proteinler, mineraller, lipid ve polisakkaritler elde edilen başlıca ürünlerdir. Mikroalgler, endüstriyel ülkelerde, pigmentler gibi yüksek katma değerli bileşiklerin elde edilmesinde, gıda endüstrisi ve sağlık amaçlı gıda için üretiminde; gelişmekte olan ülkelerde ise atık arıtımı ve proteince zengin gıda ve yem katkısı üretimini birleştiren küçük ölçekli projeler ile büyük ölçekli atık su arıtımında kullanılırlar [17]. Diğer canlı kaynaklarla kıyaslandığında algler, özellikle doymamış yağ asitleri (PUFA), gamma linoleik asit (GLA), allokosiyenin, c-fikosiyenin, miksoksantofil ve zeaksantin gibi pigmentler açısından oldukça zengindirler [28].

Mikroalglerin protein, yağ asitleri, vitaminler, mineraller, pigmentler ve daha pek çok değerli hücre metabolitler bakımından zengin bir içeriğe sahip olmaları son yıllarda üzerinde en çok çalışılan organizmalardan biri olmalarını sağlamıştır. Ülkemizde de mikroalg biyoteknoloji üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda artış gözlenmektedir. Bu çalışmalar kapsamında özellikle üretiminin ve hasadının kolay olması nedeniyle mavi-yeşil alglerden *Spirulina platensis* türünün üretimi popüler hale gelmiştir [26].

Mikroalg/ Siyanobakterilerin Üretimine Etki Eden Parametreler

Alg büyümesini düzenleyen en önemli parametreler; besin kalitesi ve miktarı, ışık, pH, türbülans, tuzluluk ve sıcaklıktır. Optimum parametreler ve tolerans aralıkları türe özgüdür.

Mikroalg üretimine etki eden parametreler için genelleştirilmiş değerler aşağıda belirtilmiştir [17].

Parametreler	Aralık	Optimum
Sıcaklık	16-27	18-24
Tuzluluk	12-40	20-24
Işık Yoğunluğu	1-10	2.5-5
Fotoperiyot	16: 8 (min)	24: 0 (mak)
pH	7-9	8.2-8.7

Işık miktarının artması ile fotosentetik organizmaların büyüme hızları artar. Işık miktarının artışı, belli bir noktadan sonra, doyumluk seviyesine ulaşılmasına neden

olur. Yüksek ışık seviyelerinin devam etmesi durumunda, organizmanın dengesi bozularak üretilen yüksek miktarda enerji nedeniyle inhibisyon meydana gelir ve fotoinhibisyon durumunda geri dönülmez zararlar oluşabilir. Işık inhibisyonu, etkisini bir kaç dakika içerisinde göstermeye başlar ve bazı kültürlerde 15-20 dakika içerisinde %50'yi aşan hasar verebilir [29, 37, 39]

Mikroalgler ve siyanobakteriler farklı sıcaklık aralıklarında yaşayabilirler. Metabolizmalarına ve fizyolojik aktivitelerine doğrudan etkili olan sıcaklık değişimlerine hemen tepki gösterirler. Bu nedenle, üretimi yapılacak türün optimal sıcaklık aralığı dikkate alınarak uygun sistemde üretimi yapılmalıdır. Özellikle ticari üretimleri gerçekleştirilen alglerin çoğu, ılık sıcaklık aralığında yaşamaktadır [16]. Sıcaklığın etkisi hücre solunumu sırasında görülür. Sıcaklık arttığında solunum hızı artar, artan solunum biyokütle kayıplarını artırır. Sıcaklık, mikroalglerin kimyasal kompozisyonları üzerinde de etkili olur. Torzillo ve çalışma arkadaşlarının 1991 de *Spirulina platensis* M2 suşu ile açık alanda termostatlı fotobiyoreaktörlerde yaptıkları çalışmada, sıcaklığın verimlilik ve kimyasal kompozisyon üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Havalandırma, mikroalg kültürlerinde, sıcaklık, ışık gibi parametrelerin ortamda optimum seviyelerde sağlanmasında en önemli rollerden birini üstlenmektedir. Havalandırma, alglerin sedimentasyonunu önleyerek, kültürün içindeki hücrelerin homojen olarak dağılım göstermesinde rol oynar. Böylece popülasyondaki tüm hücrelerin, ışık ve besin maddelerinden eşit oranda faydalanmasını sağlar, termal tabakalaşma önlenir (özellikle, açık hava kültürlerinde), kültür ortamı ve hava arasındaki gaz transferini düzenlemesinde rol alır.

Hava içerisindeki doğal CO₂ konsantrasyonu (0.03%), optimum büyüme ve yüksek verimlilik için yeterli değildir. Düşük tuzluluk ve nötrale yakın pH'da yapılan alg kültürlerinde, yeterli büyümenin olabilmesi için hava CO₂ ile zenginleştirilmelidir. Bunun bir istisnası, tuz formunda ortama katılan karbonat ya da bikarbonatı, karbon kaynağı olarak kullanabilen *Spirulina*'dır. CO₂ su içerisinde, pH, sıcaklık ve besin elementlerinin konsantrasyonlarına bağlı olarak aşağıdaki formlarda bulunur. Birçok kültür ortamında tamponlama sistemi zayıftır.

Hızlı üreyen alglerde ortamdaki CO₂ veya bikarbonatın hızlı asimilasyonu, algler tarafından ortama OH⁻ iyonlarının salgılanmasından dolayı, yukarıdaki denklem sonucunda pH artışına neden olur. Yoğun kültürlerde pH, kültürü yapılan algin optimum değerleri arasında tutulması ve ortamdaki karbonun tükenmesini engellemek için dengelenmelidir [9].

Mikroalglerin fototrofik üretimlerinde gerekli olan besinler, makro elementler, mikro elementler ve vitaminlerdir. Her türün üretiminde, farklı konsantrasyonlarda çeşitli maddelere gereksinim duyduğu bilinen bir gerçektir. Mikroalgin gereksinimi çevresel ve fizyolojik parametrelere bağlı olduğundan, uygun ortam kompozisyonunun belirlenmesi yoğun çalışma gerektirmektedir.

Vonshak, 1986'ya göre, algal üretim için besin ortamlarının geliştirilmesindeki faktörler aşağıda özetlenmiştir.

- Toplam tuz konsantrasyonu. (Algin orijinal biyotopuna bağlıdır.)
- Karbon kaynağı. (Algal biyokütlenin 50%'si karbondan oluştuğundan dolayı, iyi bir üretim için yeterli miktarda karbon sağlanması, hayati önem taşır. Karbon, inorganik substrat olarak, gaz CO₂ ya da bikarbonat formunda sağlanır. Organik karbon kaynağı olarak genelde şekerler ya da asetat kullanılır.)
- Uygun ve ekonomik azot kaynağı seçimi (Nitrat, amonyak ve üre) en çok kullanılan azot kaynakları olup, türe ve optimum pH'ya bağlıdır. Azot, algal biyokütlenin %10'undan daha fazlasını oluşturduğundan, en önemli elementlerdendir. Azot kaynağındaki değişim algin metabolik yolları üzerinde etki gösterir ve sonuçta organizmanın kompozisyonu değişir.
- Potasyum, magnezyum, sodyum, sülfat ve fosfat gibi diğer majör elementlerin konsantrasyonu.
- Ortamın pH değeri. (Bazı majör elementlerin çökmesini önlemek için, genellikle nötral değerler kullanılır.)
- Ortamda bulunması zorunlu iz elementler. (Genellikle az miktarlarda bulunması gerektiği için, stok çözeltileri hazırlanır. Bazı elementlerin, özellikle demirin, çözünürlüğünü arttırmak için EDTA gibi şelatlayıcı ajanlar kullanılır.)
- Organik bileşenlerin ve büyümeyi destekleyici maddelerin ilavesi (vitaminler, hormonlar vb.).

Teorik olarak, mikroalgler ve

siyanobakteriler, ototrofik, heterotrofik ve miksotrofik (fotoheterotrofik) olarak yaşayabilmekle birlikte, her türün endüstriyel üretiminde tüm bu beslenme çeşitleri kullanılamayabilir [9, 12].

Mikroalg ve siyanobakterilerin üretimine etki eden diğer bir parametre ise pH'dır. Her tür, spesifik olarak belirli bir pH aralığında üreyebilir. pH, birçok alg türünün kültüründe, 7-9 aralığındadır. Optimum aralık ise 8.2-8.7 arasında değişir. Kültür için uygun pH'nın sağlanamaması, hücrelerin parçalanarak içeriğinin ortama geçmesine ve kültürün ölümüne yol açar. Bu sorun kültürün havalandırılmasıyla aşılar. Çok yoğun kültürlerde, zamanla pH artışı meydana gelir. Bu durumda pH dengesi, havalandırma/karıştırma kısmında anlatıldığı gibi uygun miktarlarda eklenen CO₂ ile pH uygun aralıkta tutulur [18].

Cyanobacteria (mavi-yeşil bakteriler)

Mavi-yeşil algler, hücrelerinin prokaryotik doğası nedeniyle 'siyanobakteriler' olarak da isimlendirilirler. Fotosentez özelliğine sahip Cyanobacteria'dır. İlk kez varlıkları fosillerde saptanmıştır. Dünya oluşumunda belki de ilk canlı organizmalardır. Tatlı ve tuzlu suların yüzeylerinde bulunurlar. Karada ise ışığın ve nemin olduğu çamur ve kaya, tahta veya bazı canlı organizmaların yüzeylerinde bulunabilirler. Koyu yeşilimsi-mavi pigmentlerinden dolayı bu isimle adlandırılırlar.

Spirulina platensis (Gom.) Geitler (=Arthrospira), en fazla kültürü yapılan, kozmetikte, tıpta, insan ve hayvan gıdası olarak çeşitli sanayi alanlarında yaygın olarak kullanılan *Cyanophyceae* (Mavi-yeşil Algler) sınıfından ipliksi, spiral şekilli bir prokaryotik organizmadır [27].

Texcoco gölü kıyısında yaşayan Aztekler'in XVI.y.y "tekuitlatl" adını verdikleri *Spirulina*'yı besin olarak kullanmış ve XX. y.y Çad Gölü'nün kuzey kıyısında yaşayan insanların gölden topladıkları *Spirulina* algini yiyecek olarak kullandıklarını bildirmiştir. 1959 yılında Brandily, yaptığı gözlem ve araştırmalarında Kadjidi kabilesinin Çad gölünde çok yoğun bulunan *Spirulina* alginden elde ettikleri yeşilimsi unu yiyeceklerine kattıklarını ve bu nedenle diğer bölgelerde yaşayan yerlilere göre daha uzun boylu ve sağlıklı olduklarını bildirmiştir. Bilimsel çalışmalar ise 1962 yılında Fransız Petrol Araştırma Enstitüsü'nün

yayınlandığı çarpıcı bilgidен sonra oluşmuştur. Bültende araştırmacılar, laboratuvarlarında ürettikleri *Spirulina*'da yaptıkları analizler sonucunda algde %60-70 oranında protein tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Sonraları NASA, uzay araştırmalarında kullanmak üzere besin tabletleri yapmak için konuyu sahiplenmiştir. Bu tarihten sonra çalışmalar, üretim kapasitesini artırma ve kullanım alanlarını geliştirme yolunda hız kazanmıştır [17].

Mavi-yeşil algler içerisinde *Spirulina*, *Oscillatoria* ve *Anabaena* gibi hızlı gelişen siyanobakteriyel cinsler pigmentler, yağ asitleri, karbonhidratlar, proteinler ve diğer birçok besin bileşiklerini üretmeleri nedeniyle besin ve besleme çalışmalarında sıkça kullanılmaktadırlar [41]. Bu cinsler içerisinde *Spirulina platensis* hücre kültürü için teknolojinin iyi test edilmiş olması ve üretim fiyatının daha düşük olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir [30]. Hücre duvarı %86'sını sindirilebilir polisakkaritten oluşan *Spirulina*'nın, insanlar tarafından sindirimi kolaydır ve *Spirulina* polisakkariti bağışıklık güçlendirici olarak kullanılabilir. *Spirulina*'dan ekstrakte edilebilen mavi pigment fikosiyanın, kozmetik ve besinler için doğal bir renklendirici olarak

kullanılabilir. Çin'de 1990 yılından bu yana *Spirulina* üretim işletmeleri açılmakta olup 80'dan fazla üretim yeri bulunmaktadır [30].

Spirulina platensis'in taksonomisi, Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. *Spirulina platensis*'in taksonomisi

Domain	Bacteria
Phylum	Cyanobacteria
Group III.	Oscillatorian
Genera	<i>Spirulina</i>
Species	<i>platensis</i>

Cyanobacteria *Spirulina platensis*'in Üretimi

S. platensis, yüksek karbonat ve bikarbonat seviyeleri ve pH'sı 11'i bulabilen, yüksek pH ile karakterize edilen tropikal ve subtropikal su kütlelerinde yoğun populasyon oluşturan, planktonik bir siyanobakteridir. *S. platensis*'in baskın olduğu, Çad Gölü, yarıçöl olan Sudan – Sahel Bölgesi'nin ve Rift Vadisi'nin alkali

tuzlu gölleri, bu türün başlangıç noktası olarak kabul edilir. *Spirulina platensis* bu genusun temel morfolojik özelliği olan, çok hücreli silindirik trikomların kendi uzunluğu boyunca heliks biçiminde dizilişi ile tanınan filamentli bir siyanobakteridir. Filamentleri tektir, kendi eksenini etrafında kayarak hareket eder ve heterosistleri yoktur. Işık mikroskobu altında, tek düzlemde ikili bölünmeye uğrayan vejetatif hücrelerden oluşan mavi-yeşil filamentleri ayıran çeperler kolayca görülür.

Siyanobakterilerin beslenmesi oldukça basittir. Besin ortamında vitaminlerin bulunması gerekli değildir ve azot kaynağı olarak nitrat ya da amonyak kullanılır. Test edilen birçok türün, karanlıkta organik bileşikleri kullanmadığı ve zorunlu fototrof oldukları bilinmektedir. Bununla birlikte, bazı siyanobakteriler glukoz ve asetat gibi basit organik bileşikleri ışık varlığında asimile edebilirler (fotoasimilasyon). Bazıları ise, özellikle filamentli türler, karanlıkta organik materyali hem karbon hem de enerji kaynağı olarak kullanabilir ve bu sayede üreyebilirler [18].

Spirulina platensis, yüksek protein ve diğer besleyici elementler içeriği nedeniyle uzun zamandan beri açık havuzlarda fotoototrofik olarak yetiştirilmektedir. Gıda endüstrisinde, bazı kimyasalların üretiminde ve hayvan yemi üretiminde önem taşımaktadır. Ekstrem bir ortamda yaşadığından açık alanlarda ekonomik olarak üretilmesinde başarı sağlanmış, az sayıda türden biridir. Açık havuzlarda hücre konsantrasyonu düşüktür (tipik olarak 0.4- 0.8 g/L). *S. platensis*'in fikosiyaninler, karotenoidler ve gamma-linoleik asit gibi yüksek katma değerli kimyasalları yüksek miktarlarda biriktirdiği fark edildiğinden beri organizmanın potansiyel üretimi bu ürünler üzerine yoğunlaşmıştır. Saf ve yüksek hücre yoğunluğundaki kültür, yüksek katma değerli ürünlerin başarılı ticari üretimi için gereklidir ve bu da ayırma ve saflaştırma işlemlerinin maliyetini yüksek oranda düşürür. Sterilize biyoreaktör içerisinde çözünür karbon substratlarının ilavesi, bu amaca ulaşmak için uygun şartları sağlayabilir [18].

***Spirulina*'nın ticari üretimleri**

Spirulina dünyanın çeşitli bölgelerindeki göllerde doğal olarak yetişen ve son 35-40 sene içerisinde de laboratuvar ve havuz koşullarında yoğun üretimi yapılan zengin bitkisel bir besin kaynağıdır. *Spirulina* laboratuvar koşullarında

belirli yoğunluğa ve hacme gelene kadar bakıldıktan sonra, sera koşullarındaki beton havuzlara aktarılır. Ürünün gelişmesi ve çoğalması için ortama besin tuzları ilave edilir. Olgunlaşan *Spirulina*'lar sudan süzülerek kurutulduktan sonra herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğal haliyle toz olarak ya da tablet haline getirilerek tüketilir [23].

Spirulina'nın dünyadaki üretimi kuru ağırlık bazında 3000 tonu geçmiştir. Pazarın büyük bir bölümünü sağlıklı besin ürünleri oluşturmaktadır. Bunun dışında kalan kısım ise akuakültürde kullanılan yemler ve gıda katkı maddesi olarak mavi renkli ekstraktı içermektedir. Shimamatsu, 2004'e göre, *Spirulina* üretimi tipik olarak açık havuzlarda, besin maddeleri ve CO₂ ilavesi ile alkali ortamda gerçekleştirilir. Kültürün hasatı filtrasyonla yapılır ve biyokütle üzerindeki tuzları uzaklaştırmak için su ile yıkanır. Ardından vakumlu filtrasyon ile suyu uzaklaştırılır. Elde edilen *Spirulina* keki kurutulur son ürünleri olan sağlıklı gıda maddesi, mavi renkli çözeltili ve yem katkısı olarak paketlenir veya işlenir [18].

1995 kayıtlarına göre dünyada alg üreten 276 ticari işletme vardır. Bunlardan 68'i *Spirulina* üretmektedir. Amerika'da Kalifornia bölgesindeki bir çiftlikte yılda 400 ton kuru *Spirulina* üretilmektedir.

Türkiye, iklim koşulları bakımından *Spirulina* kültürü için elverişli koşullara sahiptir. Türkiye'de açık hava şartlarında *Spirulina* alginin yoğun kültürü üzerine yapılan ilk deneme 1997-1998 yıllarında Ege Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın amacı, ticari öneme sahip olan ve dünyanın çeşitli yerlerinde üretimi yapılan suşlardan Ege bölgesi iklim koşulları için en elverişli suşu tespit etmektir [17].

Cyanobakterilerin yapısı

Siyanobakterilerin hücre duvarının yapısında peptidoglikan mevcuttur ve bu nedenle gram-negatif *Bacteria*'lara benzerlik gösterirler. *S. platensis*'in elektron mikroskobu ile gözlenen hücresel organizasyonunda da morfolojik olarak sınırlandırılmış bir nükleus ve plastid mevcut olmadığı ve dışta gram negatif tipte bir zara sahip olduğu bildirilmiştir [18]. Fotosentetikler. Klorofil ve karotenoid pigmentler "lamella" adı verilen hücre yüzeyi membranında, fikosiyanın ve fikoeritrin gibi pigmentlerde fikobilisomlarda bulunur. Fikobilisomlar tlakoid membran yüzeyinde bulunurlar

- Fikosiyanın Yeşil ışığı absorblar (615-620A).
- Allofikosiyanın Turuncu ışığı absorblar (650-670A)
- Fikoeritrin Yeşil ışığı absorblar (495-570)

Cyanobakterilerin (Mavi-yeşil alglerin) biyoteknolojik önemi

Cyanobakterilerin fotosentez yetenekleri, yüksek protein içerikleri ve basit besiyerlerinde hızlı çoğalmaları nedeniyle besin kaynağı olarak kullanım alanına sahiptir. Tek hücre proteini (THP) elde edilmesinde en çok denenen günümüzde insan ve hayvanların beslenmesinde geniş uygulama alanı olan mavi-yeşil bakteriler, diğer mikroorganizmalardan farklı olarak yeterli miktarda karbondioksit, belirli derecede aydınlatma, geniş üretim ortamı gibi özel koşullara gereksinim gösterirler.

Mikroorganizmalar ucuz ve atık materyal üzerinde üretilir, saflaştırılır ve hayvan veya insanlar için besin kaynağı olarak kullanılabilirler. Eğer bu besin protein kaynağı olarak üretilirse tek hücre proteini (THP) olarak adlandırılır. Pek çok mikroorganizma, algler, mavi-yeşil bakteriler, mantarlar ve bakteriler tek hücre protein kaynağı olarak kullanılabilir.

Besin İçerikleri

Spirulina ilk kez 1927 yılında Turpin tarafından izole edilmiştir. 1962 yılında Fransız Petrol Araştırma Enstitüsü (IFP)'nün mavi-yeşil algler grubundan *Spirulina*'nın çok zengin bir gıda maddesi olduğunu belirtmesi ile önemi anlaşılmıştır [20]. *Spirulina*'nın koyu yeşil rengi, karotenoid (turuncu), fikosiyain (mavi) ve klorofil (yeşil) pigmentlerinden kaynaklanmaktadır. *Spirulina* hücrelerinin makromoleküler yapısıyla sıcaklık arasında da ilişki vardır. *Spirulina* kültürlerinde sıcaklık artışı, klorofil a'daki fikobiliprotein oranı da artar. Bu sebeple 42-43°C sıcaklıkta, *Spirulina* filamentlerinde klorofil a ve fikobiliproteinlerin bozulmasından, ve karotenoidlerin artmasından dolayı 35°C'deki karakteristik mavi-yeşil renk, yeşile dönüşür [9, 16, 35]. Sıcaklık artışı, özellikle 40°C ve üzerindeki sıcaklık değerlerinde, protein değeri azalmakta, buna karşılık yağ ve karbonhidrat değerleri artmaktadır [16, 27]. Sıcaklığın artışıyla *S. platensis*'in protein değerinin düştüğü (%20), karbonhidrat (%32) ve yağ (%45) değerlerinin arttığı tespit edildi; büyümenin de en uygun sıcaklık değeri

olan 35-38°C'de gerçekleştiği saptanmıştır. 38°C sıcaklıktan sonra büyümenin azaldığı, 45°C'de ise hücrelerde bozulma ve yıkımın gerçekleştiği gözlenmiştir. Yağ asitleri içeriğine bakıldığında palmitic asit (C 16:0) ve γ -linolenic asit (C18:3 ω 6,9,12) oranının daha baskın olduğu saptanmıştır. Palmitic asit değerlerinin fazla değişmediği gözlenirken, γ -linolenic asit değeri sıcaklık artışına bağlı olarak azalmaktadır. Doymamış yağ asidi değerlerinde de pek fazla bir değişiklik olmamakta, doymuş yağ asit değerleri en yüksek 30-38°C'de bulunmuştur. Daha yüksek sıcaklıkta *Spirulina* hücrelerindeki yıkıma bağlı olarak yağ asitleri değerleri de azalmaktadır. *Spirulina*, tüm temel aminoasitleri içeren dengeli bir protein yapısına sahiptir ve proteini kolaylıkla sindirilir ve asimile edilir. Çünkü *Spirulina*'nın hücre duvarı mukopolisakaritlerden meydana gelmiştir. Birçok bitkide bulunan sert ve selüloz içeren hücre duvarı mevcut olmayıp, 20% oranında karbonhidrat bulunmaktadır. Hücre içeriğinde en dışta mülisaj tabakası vardır. Bundan sonra hücre çeperi gelir. Bileşimi pektin'dir. Hücre içi tamamen plazma doludur. Bakterilerde olduğu gibi çekirdek zarı yoktur. Diğer alglerde görülen kromotoforlar ya da kloroplastlar da yoktur. Çekirdek stoplazmanın içine dağılmıştır. Plazmanın çevreye yakın kısmında serbest halde klorofil a bulunur. Bunun yardımı ile organizma fotosentez yapabilir. Klorofil b yoktur [13, 42]. *Spirulina* doğal olarak yüksek alkaniteye sahip sub-tropik alanlardaki göllerde özellikle Meksika'daki Texcoco gölü ile Kenya'daki Rudolf ve Nakura göllerinde bulunmaktadır. Çevre kirliliğine neden olmaması ve üretiminden hasatına kadar herhangi bir katkı maddesinin kullanılmaması, bulanık durgun sular, akarsular, tatlı ve acı sular gibi çok çeşitli su ortamlarında yaşayabilen kozmopolit bir organizma olması yetiştiriciliğini çekici hale getirmektedir. *Spirulina* kültürlerinin optimum sıcaklığı, 30-35 °C'dir. Uyum gösterebildiği minimum sıcaklık 18 °C, maksimum sıcaklık ise 39 °C olarak belirlenmiştir [20, 33]. *Spirulina* besin içeriğinin zengin olduğu bilinmektedir [20].

Spirulina zengin bir mikro besleyici, antioksidan, aminoasit, vitamin ve mineral kaynağıdır. *Spirulina*, %65 protein oranı ile

herhangi bir doğal besin maddesinden çok daha fazla protein içerir ayrıca proteinin sindirilebilme derecesi yüksektir. %15-20 yağ oranına sahiptir ve çok doymamış yağ asitleri oranı yüksektir. *Spirulina*, zengin tiamin, niasin, riboflavin ve beta karoten içeriğine sahiptir, ayrıca doğadaki en zengin bitkisel vitamin B₁₂ kaynağıdır. Emilim oranı yüksek demir ve zengin kalsiyum içeriğine sahiptir [14].

- Doğadaki en zengin komple yüksek biyolojik değerde proteine sahiptir. Kendisine en yakın soya fasulyesinden yaklaşık 2 kat daha fazladır.

- Doğadaki en zengin B₁₂ vitaminine sahip besindir. En yakın takipçisi dana ciğerine göre 2-6 kat daha fazladır. B₁₂ kısaca yüksek enerji anlamına gelmektedir.

- Doğadaki en zengin organik demir oranına sahiptir. Ispanaktan 58 kat, dana ciğerinden 28 kat daha fazladır.

Doğadaki en zengin antioksidan kaynağıdır. Başlıca sahip olduğu antioksidantlar; (Vitaminler: B₁, B₅ ve B₆; mineraller: çinko, mangenezyum ve bakır; amino asitler: methionine ve superantioxidant; beta-carotene ve selenyum).

- Doğadaki en zengin E vitamini içeren besindir. Kendisine en yakın buğday filizinden 3 kat daha fazladır. Sentetik E vitaminine göre, biyolojik aktivitesi %49 daha fazladır.

- Doğadaki en zengin Gamma Linolenik Asit (GLA) içeren besindir. En yakın Çuha Çiçeği yağından 3 kat daha yüksektir.

- Doğadaki en zengin klorofile sahiptir. Alfalfa ve buğday bitkisinden 5-30 kat daha fazladır. [2, 5].

1 Porsiyon (6 g'a eş) *Spirulina*'dan alınacak;
Beta – Karoten miktarı = 550 elma veya 28 bardak süt veya 4 orta boy havuç

B1 vitamini miktarı = 16 sardalya balığı veya 40 biber

B2 vitamini miktarı = 47 çilek veya 420 üzüm tanesi

Niyasin (B3 vitamini) miktarı = 8 limon

B6 vitamini miktarı = 90 gr ekmekek veya 4 adet kuşkonmaz

E vitamini miktarı = 5 dilim tavuk veya 7 bardak süt [1]

Tablo 2. Hayvansal ve Bitkisel Kaynaklı Gıdalarda Protein ve Su Oranları (Algbiotek, 2009)

Protein Kaynağı	Su (%)	Protein (%)
Spirulina	5	60 - 70
Sığır eti	56.5	17.4
Tavuk eti	61.3	19
Sardalya	50	20.6
Alabalık	77.6	19.2
Koyun sütü	81.6	5.6
İnek sütü	88.5	3.2
Yoğurt	86.1	4.8
Yumurta	74	12.8
Soya	8	36.7

Tablo 3. *Spirulina*'nın içerdiği vitamin değerleri (Algbiotek, 2009)

Vitamin	İçerik (mg/kg)
B-Karoten (provitamin A)	170
Siyanokobalamin (B12)	1.6
d-Ca-pantotemat	11
Folik Asit	0.5
İnositol	350
Niasin (B3)	118
Piridoksin (B6)	3
Tiamin (B1)	55
Tokoferol (E)	190

Çizelge 1.1. *S. platensis*'in besin madde içeriği [20]**Genel Analiz Sonuçları**

Protein ve aminoasit	%55-70
Karbonhidrat	%15- 25
Mineraller (kül)	%7-13
Yağ (lipid)	%6-8
Nem	%3-7

Vitaminler	Her 10 g
Vitamin A	23000 IU
Vitamin E	1.0 IU
Vitamin K	0.200 mg
Biotin	0.5 µg
İnositol	6.4 mg
B1 Thiamine	0.35 mg
B2 Riboflavin	0.40 mg
B3 Niasin	1.4 mg
B6 Pyridoxine	80 µg
B12 Colobalimin	32 µg
Pantothenik Asit	10 µg

Mineraller	Her 10 g
Kalsiyum	10 mg
Demir	10 mg
Fosfor	80 mg
Magnezyum	40 mg
Çinko	0.3 mg
Selenyum	2 µg
Bakır	0.12 mg
Mangan	0.5 mg
Krom	25 µg
Sodyum	90 mg
Potasyum	140 mg
Germanyum	6 µg

Doğal Bitkisel Besleyiciler

Pigmentler	Renk	Her 10 g	<i>Spirulina</i> %
Fikosiyanin	Mavi	1400 mg	14.0
Klorofil	Yeşil	100 mg	1.00
Karotenoid	Turuncu	47 mg	0.47

mg: Miligram, µg: Mikrogram, IU: Uluslararası Birim

Kimyasal kompozisyonu

Mavi-yeşil bir cyanobacterium olan *Spirulina* yüksek ve kaliteli protein içermesi (500-700 g/kg ham protein) yanında demir, selenyum, magnezyum, kalsiyum gibi birçok mikro ve makro minerallerin kaynağıdır. Ayrıca doğadaki en zengin provitamin A, E vitamini, tiamin, kobalamin, biyotin, inositol kaynağıdır. Bununla birlikte son zamanlarda ön plana çıkan 2000'den fazla enzim (Super Okside Dismutase (SOD), katalaz, askorbatperoksidaz, non-spesifik peroksidaz, vb.), gamma-linolenik asit (GLA), alpha-linolenik asit (ALA), linoleik asit (LA), stearidonik asit (SDA), eicosapentaenoik asit (EPA), docosahexaenoik asit (DHA) ve araşidonik asit (AA) gibi birçok esansiyel yağ asitleri, antioksidan pigmentler (klorofil-a, ksantofil, betakaroten, echinenone, myxoxanthophyll, zeaxanthin, canthaxanthin, diatoxanthin, 3'hydroxyechinenone, betacryptoxanthin, oscillaxanthin; phycobiliproteinler, c-phycocyanin, allophycocyanin) içermektedir. Büyütme faktörleri ve nükleik asitlerin yanı sıra dengeli, yüksek biyolojik değerlikli esansiyel aminoasit içermesi (Glutamic acid, Aspartic acid, Leucine, Valine, Lysine, Isoleucine, Alanine, Glycine gibi) bu mikroalgi benzersiz kılmaktadır [3].

β-(1,3-1,4)-Glukanaz (Likenaz) Enzimi

Spirulina rekombinant proteinlerin üretimi için uygun bir suş olarak kabul edilmekle birlikte, *S. platensis* üzerinde yapılan gen aktarım çalışmaları çok sınırlı düzeyde kalmıştır. Şu ana kadar *S. platensis*'e pHSG399 plazmid [40] ile Tn5 transpozon-transpozoz-lipozom kompleksi [25] ve pBR325SL (Serin esterase ve lizozim genleri takılı) plazmid [8] elektroporasyon tekniği kullanılarak aktarılabilmektedir. Bunun yanında dünyanın değişik laboratuvarlarında benzer çalışmalar devam etmektedir.

Algler, besin olarak sudaki nitrat, fosfat, amonyum içeren tuzları kullanırlar. Yaşam ortamlarında bulunan ağır metallere karşı

davranışları konusunda değişik çalışmalar yapılmaktadır. İlerleyen teknolojik gelişmeler ile yapılabilen çalışmalar, her alg türü gelişiminin; metal, metal formu, çözünürlük, pH v.b. faktörlerden farklı etkilendiğini göstermektedir. Alg kültür ortamlarında metal varlığı, alglerin daha yüksek hücre yoğunluğuna, farklı büyüme evrelerine veya biyokimyasal içeriğine ulaşmasına neden olabilir. Nalimova ve ark., 2005, *Spirulina platensis*'in büyümesi ve ağır metal biriktirmesi üzerine bakır ve çinkonun etkilerini çalışmışlar ve bakır sülfat'ın 2.55-3.80 mg/L derişimlerinin ortama eklenmesiyle bekleme evrelerinin kısalacağı ve büyümede bir artışın olduğunu gözlemişlerdir. Zn(NO₃)₂'in kültür ortamına 2.2 mg/L eklenmesinin *Spirulina platensis*'in büyümesi üzerine etkisinin olmadığı ancak daha yüksek derişimler de büyümenin yavaşladığını veya ölümlerin gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir.

Spirulina platensis Kullanım alanları

Spirulina platensis içerdiği yüksek miktarda protein, pigmentler ve GLA (gamma linolenik asit) gibi ürünler bakımından öneme sahip olan bir siyanobakteri türüdür. Bu özelliklerinden ötürü *S. platensis*'in bir besin desteği olarak ticari yığın kültürleri 1970'lerin sonunda başlamıştır. Yüksek protein içeriğinden dolayı insanlar için bir besin desteği olarak kullanımının yanında, hayvan yemi olarak akuakültürde ve kanatlı hayvan endüstrisinde yoğun şekilde kullanımı mevcuttur [6].

Kullanım alanları ve amaçları sıralanacak olursa;

- Kolesterol düşürücü
- Besinsel ve terapötik takviye
- Tümör Öldürücü etki
- Antidiyabetik etki
- Egzersize bağlı oksidatif stres sonucu oluşan kas hasarını koruyucu etki
- Kilo kontrolü
- Kanser tedavisi
- Solunum problemleri, eklem iltihabı

- Viral hastalıklar
- Hemopoetik ve immün sistem
- Alerjik reaksiyonlar
- Kan şekeri düzenleyici
- Sigara etkilerini azaltma [3,4].

***Spirulina platensis*'in Canlılarda Kullanımının Faydaları**

Spirulina'nın içeriğinde bulunan β - karotenin kanser riskini azalttığı bildirilmektedir, mide ve deri kanserinde de etkili olduğu çalışmalarla kanıtlanmıştır [19]. Yapılan araştırmalar sonucunda AIDS hastaları üzerinde de olumlu etkisi belirlenmiştir [34]. 20 gram *Spirulina*'nın günlük B₁₂ vitamini ihtiyacının tümünü, B₁ (Tiamin) %70'ini, B₂ (Riboflavin) %50'sini, B₃ (Niasin) %12'sini karşıladığı bildirilmektedir. Besleyici özelliğe sahip düşük kalorili bir gıda olan *Spirulina*'nın zayıflama diyetleri için ideal bir besin olduğu belirtilmiştir [20]. *Spirulina*'nın içeriğinde bulunan β - karotenin kanser riskini azalttığı bildirilmektedir, mide ve deri kanserinde de etkili olduğu çalışmalarla kanıtlanmıştır [19]. Yapılan araştırmalar sonucunda AIDS hastaları üzerinde de olumlu etkisi belirlenmiştir [34]. 20 gram *Spirulina*'nın günlük B₁₂ vitamini ihtiyacının tümünü, B₁ (Tiamin) %70'ini, B₂ (Riboflavin) %50'sini, B₃ (Niasin) %12'sini karşıladığı bildirilmektedir. Besleyici özelliğe sahip düşük kalorili bir gıda olan *Spirulina*'nın zayıflama diyetleri için ideal bir besin olduğu belirtilmiştir [20]. *Spirulina*'nın radyasyonu düşürücü etkisi kanıtlanmıştır [36]. *Spirulina*'da yüksek oranda bulunan gama linoleik asit, postaglandin E1 (PGE1) sentezini stimüle eder. Bu hormon da kandaki kolesterolü etkiler. Bu yolla *Spirulina*'nın kolestrolü düşürücü etkisi olduğu bildirilmiştir [33]. İçeriğinde bulunan demir ve B₁₂ vitamini sayesinde *Spirulina* kansızlık tedavisinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar *Spirulina*'nın T lenfosit hücrelerinin fonksiyonlarını arttırdığı ve bu yolla vücudun savunma mekanizmasını (immün sistem) kuvvetlendirdiğini göstermiştir. 10 gram *Spirulina*'nın günlük manganez ihtiyacının %25'ini, krom ihtiyacının %21'ini, selenyum ihtiyacının da %14'ünü karşıladığı bilinmektedir [22, 32]. *Spirulina*'nın T lenfosit hücrelerinin fonksiyonlarını arttırdığı ve bu yolla vücudun savunma mekanizmasını kuvvetlendirdiği belirlenmiştir. Ayrıca *Spirulina*'nın kanser ve AIDS hastalıklarının tedavilerinde de etkili olduğu, antitümör özellik taşıdığı, mide ve

deri kanserlerinde hastalığın seyrini yavaşlatıcı hatta tedavi edici olduğu kanıtlanmıştır [20]. İçeriğinde yüksek oranda bulunan demir sayesinde kansızlık tedavisinde kullanıldığı, yüksek tansiyon, kalp ve şeker hastalıklarına iyi geldiği bilinmektedir. Besleyici özelliğe sahip düşük kalorili bir gıda olması sebebiyle *Spirulina*'nın zayıflama diyetleri için ideal bir besin olduğu düşünülmektedir. Diğer alglerin hücre membranında selüloz bir çeper bulunmasına karşın *Spirulina*'nın mukoprotein içermesi, kolay sindirilebilmesini sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı mide ameliyatlarından sonra ilk besin olarak verilmesi halinde komplikasyonların görülmediği belirlenmiştir [19].

Algler, besin olarak suda bulunan nitrat, fosfat, amonyum gibi tuzları kullanırlar. Bu nedenle bu sulardaki organik kirliliğin giderilmesinde kullanılmaktadır. Alg, rasyona eklenen bir yan ürün şeklinde son yıllarda önem kazanmış protein ve renklendirici kaynağıdır [42]. Tavuk yemlerinde *Spirulina* alginin en güvenli kullanım oranının %5 olduğu belirtilmiş ve bu oranda yeme eklenen *Spirulina*'nın canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranını artırdığı belirlenmiştir. Büyükbaş hayvan yemlerinde yüksek miktarda alg kullanımının ekonomik açıdan imkansız olması nedeniyle, alglerin büyükbaş hayvan yemlerinde kullanımlarına ilişkin çalışmalar oldukça azdır. *Spirulina*'nın büyükbaş hayvan yemlerinde kullanımı sonucu sindirilme oranının %73 olduğu ve damızlık boğalarda sperma miktarını, ineklerde fertilitte oranını artırdığı belirlenmiştir [10]. *Spirulina*'nın sentetik pigment maddeleri ile karşılaştırıldığında en çarpıcı özelliğinin doğal bir renklendirici olduğu belirtilmiştir. Sentetik pigmentlerin kanserojen özellik göstermesine karşın *Spirulina* doğal bir renklendiricidir. Bu özelliğinden dolayı tavuk yumurtalarında ve akuakültürde balık yemlerinde doğal renklenmeyi sağlaması nedeniyle kullanıldığı bildirilmiştir [15].

***Spirulina platensis*'in Canlılarda Kullanımının Zararları**

Yapılan beslenme araştırmaları ve detaylı güvenlik çalışmaları *Spirulina*'nın insanlarda, farelerde, balıklarda, kanatlılarda ve istirdyelerde istenmeyen veya toksik hiçbir etkiye sebep olmadığı bildirilmiştir. Akut/kronik toksite veya üreme ile ilgili hiçbir negatif etkisi bulunmamıştır [4].

***Spirulina platensis*'in Mikrobiyoloji**

Spirulina'nın açık havuzlarda üretimi su kirleneceği için patojen organizmalar bakımından bir sorun oluşturabilmektedir. İşleme sırasında ürünün yanlış kullanımı da mikrobiyal kirlenmenin nedeni olabilmektedir. Dolayısıyla son ürünün mikrobiyal yükü ürünün dikkatle kültüre alınması ve üretiminin çeşitli aşamalarındaki işlenişine bağlıdır. Üründe bulunan mikrobiyal yük miktarı çeşitli ulusal ve uluslararası standartları karşılamalıdır. Tayland, Japonya, Tayvan, Meksika'daki modern ticari çiftlikler göstermektedir ki spirulina örneklerinin yüzlerce analizinde nadiren de olsa koliforma rastlanmıştır. Bu gibi yerlerde yetiştirme, hasat, kurutma ve paketleme genellikle sağlıklı koşullarda ve çiftlik bünyesinde gerçekleşmektedir [21].

***Spirulina platensis*'in Antimikrobiyolojik Aktivitesi**

Spirulina tek başına tedavi edici olmamakla birlikte doğal bir tedavi aracıdır. İnsan sağlığı üzerine olan etkileri, bilim adamlarının hala üzerinde çalıştığı ve olumlu sonuçlar aldığı bir konudur. Özellikle Fransa'da yapılan alg üretiminin bir kısmı kozmetik sanayinde yan ürün eldesinde kullanılmaktadır. Ayrıca *Spirulina*'nın yanıklar üzerindeki tedavi edici etkisi de deneysel olarak kanıtlanmıştır [31].

Özdemir ve ark. (2001)'nin yaptığı bir araştırmada *Bacillus subtilis*, *Mycobacterium smegmatis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Proteus vulgaris* ve *Salmonella typhimurium* bakterileri ile bir maya türü olan *Candida albicans*'ı kullanmış ve *Spirulina*'nın çeşitli ekstratlarının (etanol, aseton, kloroform, hegzan) antimikrobiyal aktivite kapasitesini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda etanol ekstratlarında *E.coli*, *Proteus vulgaris* ve *Klebsiella pneumoniae* gibi gram negatif bakterilere karşı aktiviteler gözlenmiştir. *Candida albicans*'a karşı tek aktivite yine etanol ekstratlarında bulunmuştur. Aseton ekstratlarında hem Gr- hem de Gr+ bakterilere karşı bir aktivite tespit edilmiştir. Ancak bu aktiviteler *E.coli* hariç diğerlerinden fazla olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde, kloroform ekstratlarında yine Gr- ve Gr+ bakterilere karşı aktivite saptanmıştır. Hegzan ekstratlarında ise ya hiç ya da fazla olmayan bir aktivite gözlenmiştir. Özetle *Spirulina*'nın bu bakterilere

karşı az da olsa etkisi olduğu kanıtlanmıştır [31].

***Spirulina*'nın Mikrobiyal Faydaları**

Yıllar boyunca besin özellikleri bakımından dikkat çeken *Spirulina*, günümüzde farmakolojik etkileri nedeniyle de ilgi odağı haline gelmiştir. Hem bilim insanları, hem de mikroalg üreticileri, mikroalglerin insan sağlığı üzerindeki pozitif etkilerini ortaya koymaya çalışmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda; *Spirulina*'nın antiviral, antikanser, antidiyabetik, antibiyotik, antioksidan, prebiyotik, probiyotik, bağışıklık sistemi güçlendirici, kardivasküler sistem koruyucu, hipokolesterolemik ve antialerjik etkileri bulunmuş ve bu pozitif etkinin nedeni olarak da içerdikleri biyoaktif maddelerin yüksekliği gösterilmiştir. Aynı zamanda *Spirulina*'nın intestinal kanaldaki laktobasillerin sayılarını arttırarak sindirim sistemi fonksiyonlarını düzenlediği de bildirilmiştir [11].

Cyanobacteria olan *Spirulina* yüksek protein, gamma-linolenik asit, B₁₂ içeriği ve düşük yağ oranından dolayı ticari önemi olan bir mikroalgdir. *Spirulina*, besleyici özelliğe sahip düşük kalorili bir gıda olarak kullanılabilirliği gibi, yapılan çalışmalarda *Spirulina*'nın insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri de deneysel olarak kanıtlanmaktadır. Beta-karotenden başka, *Spirulina*'da bulunan Kalsiyum Spirulan (Ca-Sp) maddesinin bir ilaç firması tarafından desteklenen bir çalışmasıyla akciğer tümör kolonizasyonu ve metastaslarında belirgin bir azalma sağladığı tespit edilmiştir. *Spirulina*'nın insan sağlığına olan faydaları nedeniyle ilaç yapımında direkt veya içeriğinden ekstre edilen maddeler yoluyla indirekt olarak kullanılmaktadır [24].

Ağır Metaller Karşı Etkileri

Radyoaktif maddeler çok seyreltik çözeltiler halinde üretilmektedir. Örneğin bir kliniğin bir aylık ihtiyacını karşılayabilecek 51Cr kromat stok olarak satın alındığında 3.1 – 31 µgr/ml ve 3.7 – 37 MBq aktivite konsantrasyonundadır. Dolayısıyla oluşan atıklar seyreltik olacaktır. Toz *S.platensis*'in yüksek Cr tutma özelliği dikkate alındığında, Nükleer tıp kliniklerinde oluşan seyreltik Cr atıklarının tuzaklayıcısı olarak seyreltik Cr kullanmak caziptir. Bunun yanında deri sanayi atık sularından çevreye kaçabilen Cr içerikli atıklar, buldukları ortamda olabildiğince seyreilmektedir. Bu atıkların bekletildiği havuzlarda *S.platensis* üremesine izin vermek, Cr'nin sorbe edilmesini sağlayacak ayrıca Cr

gibi ağır metal kirliliğine sebep olan diğer birçok metal iyonunu da atık havuzlarında fiske edilerek, kontrollü bir şekilde yok edilmesini mümkün kılacaktır [38]. Rangsayatom ve diğ. (2003) alg ve silika jele sabitleştirilmiş *Spirulina platensis* ile Cd (II) biyosorpsiyonunu

araştırmışlar ve alg üzerine sabitleştirilmiş hücrelerde Cd (II) alımının pH 3-6 arasında %91.63'den %96.96'ya yükseldiği ve pH 8'in üzerinde %94.83'e düştüğünü belirtmişlerdir. Yüksek pH'larda, Cd (II) hücre yüzeyinde çözünmeyen hidroksitler halinde çöker [7].

Tablo 5. Çeşitli Mikroorganizmaların Cd (II) Biyosorpsiyon Kapasiteleri

BİOSORBENT	Optimum İşletme Şartları		Co (mg/L)	td (saat)	Max. Biyosorpsiyon Kapasitesi qd (mg Cd(II)/g hücre)
	pH	T (°C)			
<i>Aerobik granüller (mikrobiyal agregatlar)</i>	4	26	5-200	5	172.7
<i>c. vulgaris</i>	-	-	-	-	85.3
<i>Sargassum vulgare</i>	4.5	-	-	-	87
<i>S. fuluitans</i>	4.5	-	-	-	80
<i>S. flipendula</i>	4.5	-	-	-	74
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	4.5	27	50	18	15.2
<i>Ekmek mayası</i>	6.5	27	100	24	86.3
<i>Cladophora sp.</i>	6	20±1	40	24	33.6
<i>Chara sp.</i>	6	20±1	40	24	33.2
<i>Chlorella sp</i>	5	20±1	40	24	31.2
<i>Spirulina plantensis (alginate 'ye sabitleştirilmiş)</i>	6	20	10	1	70-92
<i>Spirulina plantensis (silica jele sabitleştirilmiş)</i>	4-7	20	10	1	36.63
<i>Sargassum polycystum</i>	4	80		-	103.36
<i>Bacillus laterosporus</i>		25		2	159.5
<i>Ecklonia maxima</i>	6	20	100	2	44
<i>Fontinalis antipyretica</i>	5	20	10-100	24	28.4
<i>Sargassum sp</i>	5.5	25-55	20	-	120

KAYNAKLAR

- [1] Anonim 1. *Spirulina*. www.algbiotek.com
- [2] Anonim 2. Asrın Süper Gıdası *Spirulina*. www.genbilim.com
- [3] Anonim 3. *Spirulina* ile Yapılmış Bilimsel Araştırmalar. www.algbiotek.com
- [4] Anonim 4. *Spirulina* Bilimsel Klinik Araştırma Referansları. www.algbiotek.com
- [5] Anonim 5. Facts About *Spirulina* – Worlds Most Powerful Food. www.docstoc.com
- [6] Anonim 6. Hayvanlarda Yapılan Bazı Araştırmaların Özetleri. www.algbiotek.com
- [7] Aslan S., Bozkurt Z., Tekeli A. N. 2007. Removal of Cu (II), Ni (II), Cd(II) and Cr (VI) Ions from Aqueous Solutions by Biosorption Processes. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 25(1-2): s209-222
- [8] Baylan M. 2007. *Spirulina platensis* (Cyanophyta)'e gen aktarımı üzerine bir araştırma. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [9] Becker E.W. 1995. Microalgae: Biotechnology and microbiology, Cambridge University Press, UK, 293 p.,
- [10] Becker E., Ventkateraman L. V. 1981. Biotechnology and Exploitation of Algae-The Indian Approach- Edited by R.D. Fox, All Indian Coordinated Project on Algae Dep. of Science and Tech., India.
- [11] Bermejo P.B., Estrada E. P. and Villardel Fresno A. M. 2008. Neuroprotection by *Spirulina platensis* Protean Extract and Phycocyanin Against Iron-Induced Toxicity in SH-SY5Y Neuroblastoma cells.
- [12] Borowitzka M. A., 1992. Vitamins and fine chemicals from micro-algae, In: Borowitzka, M. A., Borowitzka, L.J.(Eds), Micro-Algal Biotechnology, Cambridge University Pres, UK, 158-195 p.
- [13] Bourrelly R. 1970. Les algues d'eau douce. Tome 3, 1970, Algues bleues et rouges: 1-522 Edit Boubee' Paris.
- [14] Çağlak E., Erdem M. E., ve Kaya Y. Deniz Alglerinin İnsan Besini Olarak Değerlendirilmesi. 1. Alg Sempozyumu
- [15] Challem J.J. 1981. *Spirulina*:What It Is. The HealthBenefits It Can Give You. Keats Publishing Inc., New Canaan, CT.
- [16] Cohen Z. 1997. The Chemicals of *Spirulina*, p.175-204. In: Vonshak, A (Ed.) *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology, Taylor& Francis Ltd.
- [17] Dalay M.C., Cirik S., Koru E. 2001. Türkiye Ege Bölgesi İklim Koşullarında Açık Hava Kültürleri İçin Uygun *Spirulina platensis* (Stiz.) Geitl, 1930 Suşunun Tespiti. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 18(3-4): s523-528
- [18] Dalay M.C., İmamoğlu E., Öncel S. 2008. Mikroalgal Biyokütle Üretimi için Düşük Maliyetli Fotobiyoreaktör Tasarımı. TÜBİTAK MAG Proje 104M354, 2008: s1-102
- [19] Fedkovic Y., Astre C., Pinguet F., Gerber, M., Ychou M., and Pujol H. 1993. *Spiruline* et cancer. In:Doumenge, F., Durand-Chastel, H., Toulemont, A., eds. *Spiruline* algue de vie. Musée Océanographique. Bulletin de l'Institut Océanographique Monaco. Numéro spécial 12:117-120.
- [20] Fox D.R. 1996. *Spirulina*: Production and Potential, 232 p., Edisud-France.
- [21] Gershwin M.E. ve Belay A.. 2008. *Spirulina* in Human Nutrition and Health. s312
- [22] Jr G.F.C., Gray W.P. 1998. Chemopreventive agents: selenium. Pharmacol. Ther. 79, 179-192.
- [23] Kaba N., Çağlak E. 2006. Deniz Alglerinin İnsan Beslenmesinde Kullanılması. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 23: s243-246
- [24] Karasulu, H.Y., Dalay M. C., Şanal E., ve Güneri T. 2001. *Spirulina platensis* (Cyanophyta) ile Hazırlanan Tablet ve Kapsüllerin in vitro Kalite Kontrol Çalışmaları. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 18(1): s.249-256
- [25] Kawata Y., Yano S., Kojima H., Masaaki T., 2004. Transformation of *Spirulina platensis* strain C1 (*Arthrospira sp.* PCC9438) with Tn5 65 transposase-transposon DNA-cation liposome complex. Marine Biotechnology, 6:355-363.
- [26] Kılıç C., Göksan T., Ak İ., Gökpınar Ş. 2006. İki Farklı *Spirulina platensis* Suşunun Büyüme Özelliklerinin Karşılaştırılması. Ege Üniversitesi Su

- Ürünleri Dergisi 23(1-2): s189-192
- [27] Koru E., Cirik S., 2002. Biochemical Composition of *Spirulina* Biomass In Open-Air System, 1st International Congress on the Chemistry of Natural Products 16-19 October, ICNP 2002, Trabzon.
- [28] Koru E., Cirik S. 2003. *Spirulina platensis* (Cyanophyceae) Mikroalg'inin Büyümesine ve Bazı Biyokimyasal Özelliklerine Sıcaklığın Etkisi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 20(3-4): s419-422
- [29] Lee, Y.K. 2001. Microalgal mass culture systems and methods: their limitation and potential, *Journal of Applied Phycology*, 13, 307-315.
- [30] Li D. M., Qi Y. Z. 1997. *Spirulina* Industry in China: Present status and future prospects . *Journal of applied Phycology*, 9:25-28.
- [31] Özdemir G., Dalay M. C., Küçükakyüz K., Pazarbaşı B., ve Yılmaz M. 2001. Türkiye Koşullarında Üretimi Yapılan *Spirulina platensis*'in Çeşitli Ekstratlarının Antimikrobiyal Aktivite Kapasitesinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 18(1): s.161-166
- [32] Rayman M.P. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet* 356, 233-241.
- [33] Richmond A., 1992. Micro-algal Biotechnology, *Spirulina*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [34] Sandstrom P.A., Murray J., Folks T.M., Diamond A.M. 1998. Antioxidant defenses influence HIV-1 replication and associated cytopathic effects. *Free Radical Biol. Medicine* 24, 1485-1491.
- [35] Sarada R., Pillai M.G., Ravishankar G.A. 1998. Phycocyanin from *Spirulina* sp: Influence of Processing of Biomass on Phycocyanin Yield, Analysis of Efficiency of Extraction Methods and Stability Studies on Phycocyanin, *Process Biochemistry*, 34:795-801.
- [36] Seshadri, C.V. 1992. Some Experiences in *Spirulina* Feeding to Village Children, C.V. and N. Jeeji Bai(eds.) *Spirulina*, ETNA Nat. Symp. MCRC, Madras-INDIA.
- [37] Tanaka H., Ogbonna J.C., Yada H. and Masui H. 1996. A novel internally illuminated stirred tank photobioreactor for large-scale cultivation of photosynthetic cells, *Journal of fermentation and bioengineering*, 82, 61-67.
- [38] Taner M. S., Kütahyalı C., Dalay M. C., Özdemir D., Köseoğlu K., ve Duman Y. 2001. *Spirulina platensis*'in 51 Cr Sorpsiyon Kapasitesinin Saptanması. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi 18(1): s.219-224
- [39] Torzillo G., and Vonshak A. 2004. Applied course on production and monitoring of microalgal growth, handbook, 1, 32.
- [40] Toyomizu M., Suzuaki K., Kawata Y., Kojima H. and Akiba Y. 2001. Effective transformation of the cyanobacterium *Spirulina platensis* using electroporation. *Journal of Applied Phycology*, 13: 209-214.
- [41] Yamada T. 1994. *Cyanobacteria and Algae/ Recombinant Microbes for Industrial and Agricultural Applications*, Marcel Dekker. Inc, 701-712.
- [42] Yıldız G. 2001. *Spirulina Sp.* (Cyanophyceae) Kültürü Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tez. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.