

## Birincil Üretimde Enerjiye Dönüştürülen Karbon Miktarının Hesaplanmasında Alternatif Bir Yöntem

\*Emre Üstsoy<sup>1</sup>, Engin Serkan Solmazoğlu<sup>1</sup>, Doğan Seyfettin Aldağ<sup>1</sup>, Tufan Koray<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Fen Lisesi, Ege Üniversitesi Kampus Yurtlar Yanı, Bornova, İzmir, Türkiye  
<sup>2</sup> Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye  
\*E-mail: bolahenk@gmail.com

**Abstract:** *An alternative calculation of carbons that can be turned into energy by primary production.* In a few decades ahead there won't be enough food and energy supply areas to answer of all world. There fore we will need to spread to different areas like seas. If we study the water ecosystem we will see the importance of phytoplankton. Research on phytoplankton show that, to find phytoplankton' biomass and to find the amount of carbon in phytoplankton is an important step. However, actual techniques are very expensive, not accurate enough on it needs a lot of time. In this study, we aimed to write a new computer program which is much more accurate and easier on finding phytoplankton biomass and the amount of carbon in their body. Our results show that, the program calculates more accurate than classic methods, and also it is easier to practice, faster and costs less.

**Key Words:** Biomass, phytoplankton, carbon, primary production, food web.

**Özet:** Yirmibirinci yüzyılın ilk yarısı içinde hızla artan dünya nüfusunu karşılayamayacak olan besin üretim alanlarının ve enerji sahalarının artırılması konusunda denizler ön plana çıkmaktadır. Denizel ekosistemde verimlilik bileşkesinde, kilit rol oynayan birincil üreticilerin (fitoplankton) önemi büyüktür. Fitoplankton verimliliğinin saptanmasında fitoplankton biyokütlelerinin ve karbon miktarlarının hesaplanması önemli bir aşamadır. Ancak şu anki mevcut yöntemler ya yüksek maliyetli ya çok sapma yapan ya da oldukça zahmetli ve uzun işlemlere dayanmaktadır. Bu araştırmada, besin zincirinde önemli rol oynayan fitoplankton biyokütlelerinin ve karbon kütlelerinin hesaplanmasında, pratik ve gerçeğe daha yakın sonuçlar veren bir bilgisayar program geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sonuçlar, yapılan hesaplamaların, klasik yöntemlere göre çok daha sağlıklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, geliştirilen yöntem, diğer yöntemlere göre daha kolay uygulanabilir, daha hızlı ve daha düşük maliyetlidir.

**Anahtar Sözcükler:** Biyokütle, fitoplankton, karbon, birincil üretim, besin ağı.

### Giriş

Dünyamızın enerji ve besin kaynakları hızla tükenmektedir. Bugünkü tüketim seviyeleri ile, dünya petrol rezervlerinin 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 60 yıl ve kömür rezervlerinin ise 230 yılda tükeneceği tahmin edilmektedir (<http://www.maden.org.tr>). Enerji ve besin birincil üretim sayesinde canlılara aktarılmaktadır. Bugünkü bilgi ve verilere dayanarak yapılan hesaplamalara göre yerkürede üretilen birincil ürün miktarı  $172 \times 10^9$  ton/yıl civarında bulunmuştur (Kocataş, 1986).

Yeryuvarı yüzeyine güneşten yılda 51020 Kcal enerji gelmektedir. Bu enerjinin büyük bir bölümü atmosfer ve bulutlar tarafından geriye yansıtılmaktadır. Bitkiler tarafından kullanılabilen enerji miktarı coğrafik konumuna göre değişiklikler gösterir. Bu nedenle karasal ve sucul ortamlardaki üretim miktarı lagün, tarım alanları ve mercan resifleri gibi bazı özel alanlar dışında kalan bölgelerde  $0.5-10 \text{ gr/m}^2/\text{gün}$  arasında değişir. Bu yönüyle yeryuvarı yüzeyi dört ana bölgeye ayrılır (Kocataş, 2003). Bunlar:

- Birincil Üretim yönünden çok fakir olan derin denizler ve göller,
- Günlük Üretimi  $0.5-3 \text{ gr/m}^2$  arasında olan otsu komuniteler, geçici tarım alanları, derin göller, yüksek ormanlar ve denizlerin littoral bölgeleri,
- Günlük verimi  $3-10 \text{ gr/m}^2$  arasında değişen, nemli

ormanlar, az derin göller ve devamlı tarım alanları,

- Günlük verimi  $10-25 \text{ gr/m}^2$  arasında değişen lagün, mercan resifleri gibi özel ekosistemleridir.

Organik üretimin temeli ve ilk halkası olan fitoplankton hakkındaki bilgiler bize besin zincirinin diğer halkalarındaki üretim ile ilgili yaklaşımlarda bulunmamızı sağlayacaktır. Besin zincirinin temelini oluşturan bu organizmaların verimliliği, besin zincirinin buna bağlı diğer halkalarını etkiler ve daha üst beslenme düzeylerindeki üretimin sınırlarını belirler. Üst kademelere ulaşacak karbon miktarı, fitoplankton'un taşıdığı karbon miktarına bağlıdır. Bu karbon miktarı ise fitoplankton türlerinin biyokütlesinin onda biri değerindedir. Böylece karbon miktarının hesaplanması için öncelikle fitoplankton'un biyokütlesinin hesaplanması gerektiği anlaşılır.

Biyokütle, belirli bir alanda herhangi bir zamanda elde edilen ve ağırlığı olan organik maddelerden oluşmuş bir biyolojik kütledir (Cirik ve Gökpınar, 1993). Kısaca canlıların ağırlığıdır. Bununla birlikte biyokütle o bölgenin doğal verimliliğinin de bir ölçüsüdür.

Projemizin amacı mikroorganizmanın geometrik şekli ne kadar karışık olursa olsun, bilinen biyokütle hesaplama yöntemlerine alternatif olabilecek pratik ve daha duyarlı yeni bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla, gerçeğe en yakın sonucu verecek, herkes tarafından kullanılabilir bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Projemiz sonucunda, fitoplankton

mikrometre küp cinsinden biyokütleri ve hücre düzeyinde pikogram cinsinden oluşturulan karbon miktarı; diğer yöntemlerle karşılaştırdığında çok daha az bir hata payı ile, çok daha az maliyetle ve çok daha kısa sürede hesaplanabilmektedir.

### Materyal ve Yöntem

Araştırmalarımızda kullanılan su örnekleri yüzeysel standart plankton kepçesi kullanılarak Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi tarafından alınmıştır. 10 litre deniz suyu içinde formaldehit çözülmüş, formaldehitin çözeltideki sonuç konsantrasyonu %4 olacak şekilde çözeltideki fitoplanktonlar tespit edilmiştir. Laboratuvarında bir hafta sedimentasyona bırakılan örneklerde oluşan çökeltinin en alt katmanından, 250 ml hacimde çökelti alınmış ve bu örnek için 48 saat boyunca, yeniden çöktürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Arada 10 ml'lik bir çökelti alınarak, en son 1 ml hacimde yoğun bir çökelti elde edilecek şekilde, kademeli olarak sedimentasyon işlemi aynı biçimde sürdürülmüştür. Son olarak 1 ml ye indirgenen örnekler, 2 damla % 37'lik formaldehit ilavesi ile sayımlara dek korunmuşlardır.

Örneklerdeki fitoplankton sayıları daha sonra tek bir fitoplanktonun biyokütlesiyle çarpılmak üzere *Bir Damla Tekniği* ile hesaplanmıştır.

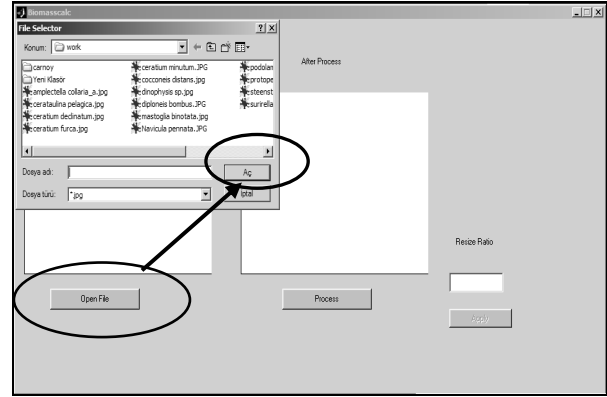
Preparatların hazırlanmasından sonra bir hücreli mikrop plankton türleri, OLYMPUS BX-50 araştırma mikroskopunda 15x40 ve 15x100 büyütme oranlarında Olympus Camedia 5MP dijital kamera ile dijital ortama kaydedilmişlerdir.

Bilgisayara aktarılan fitoplankton görüntüleri incelenmiş ve ilk defa 1966 yılında Paavo B. Kovala ve Jerry D. Larrance tarafından geliştirilen yöntemle biyokütle hesabı yapılmıştır [5]. Bu yöntemde planktonlar çeşitli geometrik cisimlere benzer kabul edilmekte ve bu cisimlerin hacimlerinin belirlenmesi için gerekli uzunluklar mikroskop yardımıyla tayin edilmektedir (Hillebrand ve diğ., 1999). Ardından, hacim, daha önce bahsedilen formülle hesaplanıp sonrasında kütle ve karbon miktarı belirlenebilmektedir.

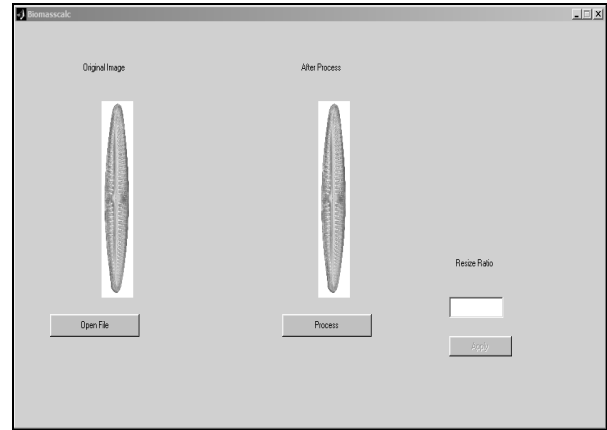
Geliştirdiğimiz yöntemde, hacim hesabı integral mantığıyla yapılmaktadır. Programlama safhasında resim işleme konusunda diğer programlama dillerine göre daha avantajlı olan MATLAB 6.5 tercih edilmiştir. Geliştirdiğimiz programda, resim siyah beyaz hale getirilir (Şekil 1). Resimdeki plankton "canny" kenar belirleme yöntemiyle arka plandan ayrılır. Plankton beyaz renge arka plan ise siyah renge boyanır (Şekil 2). Beyaz renge boyanan plankton 1 piksel (px) kalınlığındaki dilimlere ayrılır. Her dilim bir silindirin yandan görünüşü kabul edilerek, bu silindirlerin hacimleri hesaplanır (Şekil 3). Silindirlerin hacimlerinin toplamı bize resimdeki planktonun hacmini verir. Dinoflagellatlar için  $\log C = 0.866 (\log V) - 0.460$ , diyatomlar için ise  $\log C = 0.758 (\log V) - 0.422$  bağıntılarıyla karbon miktarı hesaplanır.

### Bulgular

Kullandığımız programın kodları Matlab 6.5'te yazılmıştır. Geliştirdiğimiz program şu şekilde çalışmaktadır:

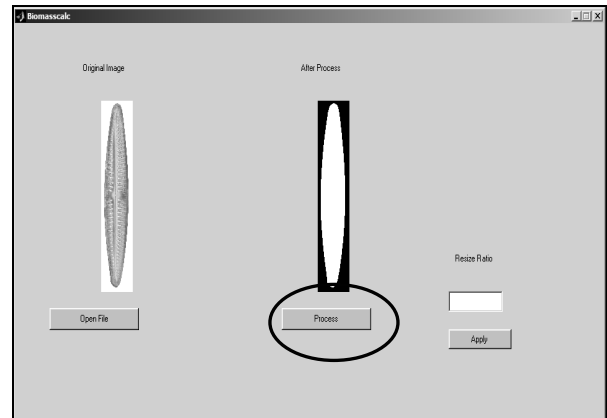


"Open file" butonu ile "file selector" penceresi açılır ve biyokütlesi hesaplanacak planktonun resmi seçilir.



Şekil 1. Resin alınması ve siyah beyaz formata dönüştürülmesi.

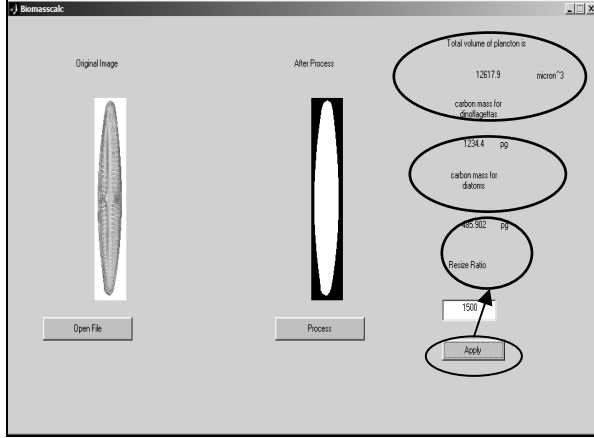
Seçilen resmin ön izlemesi ekranda görünür.



Şekil 2. "canny" kenar belirleme yöntemi ile arka plandan ayırmayı takiben hücrenin beyaza ve arka planın siyaha boyanması.

"Process" butonuna basılarak resim taranır ve hacim hesaplatılır.

"Resize ratio" kısmına büyütme oranı yazılır ve "apply" butonuna basılır. Planktonun toplam hacmi ve karbon kütlesi pencerede belirlir.

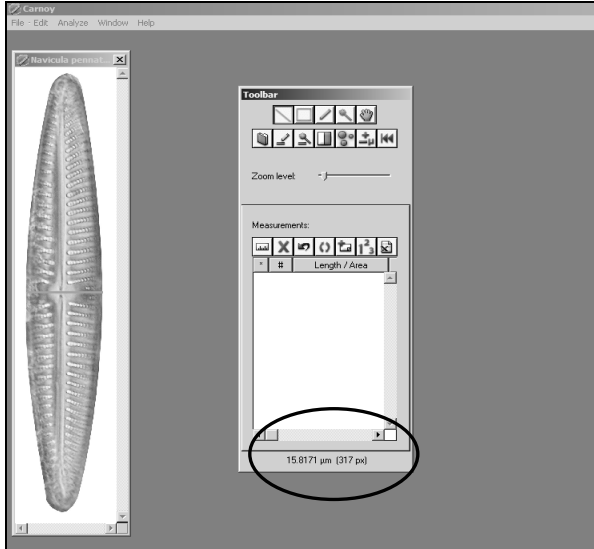


Şekil 3. "process" ve hücre hacminin hesaplanması.

Geliştirdiğimiz program Su Ürünleri Fakültesi'nde Klaus Von Bröckel (1999) tarafından geliştirilmiş olan ve Kovala&Larrance tekniğine dayanan; aktif bir şekilde kullanılan biyokütle tayin programı ile karşılaştırılmıştır.

*Navicula pennata* isimli diatom için iki program tarafından hesaplanmış değerler aşağıdaki gibidir (Şekil 4 ve Şekil 5).

Klaus Von Bröckel tarafından geliştirilmiş yöntemde plankton düzgün bir geometrik şekle benzetildiği için ilk olarak boyutlarının hesaplanması gerekmektedir. *Navicula pennata* için hesaplanmış boyutlar; en:15.8171 mikrometre, boy:98.4504 mikro metredir. Bu program ondalıklı sayılarla işlem yapılmasını sağlayamadığı için ;en:16, boy:98 mikro metreye yuvarlanmıştır (Şekil 6).



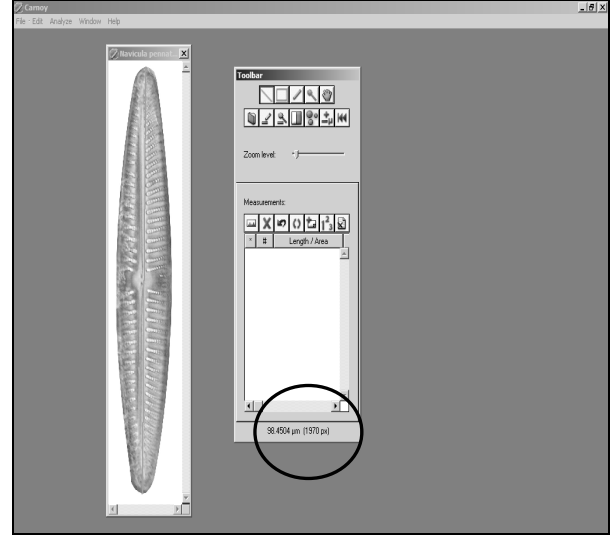
Şekil 4. Klasik bir imaj analizi programında hücre boyunun zoom faktöründen bağımsız olarak belirlenmesi.

Sonuç olarak karbon kütlesi 448 pg hücre hacmi ise 12544 mikro metre küp olarak hesaplanmıştır.

Bizim geliştirdiğimiz program ise karbon kütlesini 485.902 pg hücre hacmini ise 12617.9 mikro metre küp olarak hesaplanmıştır.

Klaus Von Bröckel tarafından geliştirilmiş yöntemde

ondalıklı sayı girilemediği için sonuç gerçekten daha uzaktır. Ayrıca bu yöntemin uyguladığı formül kare prizmanın hacim formülünün yarısıdır. Bu da mikroorganizmanın eğimi büyüdükçe sonuçlardaki sapmanın daha da büyük olacağını gösterir.



Şekil 5. Klasik bir imaj analizi programında hücre eni ölçümü.

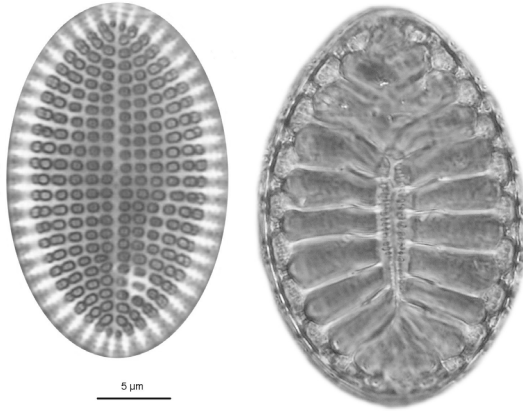
species (forma)	size (µm)	PPC	CV	VV	PPC after Heiden-Deer
63 Rhizosolenia fragillissima	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
64 Rhizosolenia hebetata	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
65 Rhizosolenia imbricata	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
66 Rhizosolenia robusta	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
67 Rhizosolenia setigera	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
68 Rhizosolenia Stolcherfothi	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
69 Rhizosolenia styliformis	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
70 Skeletonema costatum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
71 Striatella unipunctata	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
72 Streptoschiza thamesis	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
73 Synedra spec.	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
74 Thalassiosira nitrochoide	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
75 Thalassiosira spec.	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
76 Thalassiosira frauenfeldii	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
77 Thalassiosira medeteranea	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
78 Triceratium spec.	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
79 pennate diatom	16 x 98	448	1.00	12544	9.408
80 pennate diatom - S-form	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
81 oostic diatom	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
82					
II. DINOFLAGELLATES					
83					
84 Amphicoelixa bidonata	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
85 Ceratium arisetinum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
86 Ceratium bioeops	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
87 Ceratium candelabrum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
88 Ceratium carolinense	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
89 Ceratium conchiliana	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
90 Ceratium concoloratum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
91 Ceratium concoloratum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
92 Ceratium concoloratum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####
93 Ceratium declinatum	N x L	#DEBER!	#DEBER!	#DEBER!	#####

Şekil 6. Excel tabanlı bir biyomas hesaplama programı.

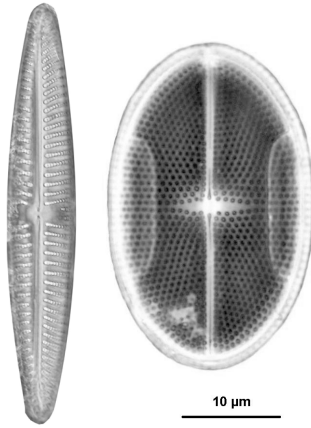
Aşağıdaki tabloda Şekil 7 ve Şekil 8' de yer alan bazı mikroorganizmalar için karşılaştırma sonuçları görülmektedir;

	Biomasscalc ile elde edilen sonuç		Klaus Von Bröckel tarafından geliştirilen yazılımın sonuçları	
	Hücre hacmi (µm <sup>3</sup> )	Karbon kütlesi (pg <sup>3</sup> )	Hücre hacmi	Karbon kütlesi
<i>Navicula pennata</i>	12617.9	485.902	12544	448
<i>Surirella fastuosa</i>	33857.4	1026.78	32463	822
<i>Cocconeis distans</i>	24559.6	804.984	22050	602
<i>Mastoglia binotata</i>	8526.41	361.011	7227	246

Tablodaki örneklerde görüldüğü gibi geliştirdiğimiz program çok daha hassas sonuçlar vermektedir.



Şekil 7. *Cocconeis distans*, *Surirella fastuosa*



Şekil 8. *Navicula pennata*, *Mastoglia binotata*

## Tartışma

Geliştirdiğimiz programı diğer biyokütle hesabı yöntemleriyle karşılaştırdığımızda pek çok yönden daha kullanışlı olduğu gözlenmektedir.

Kimyasal yöntemlerle biyokütle tayini yüksek maliyetli olup sadece gelişmiş laboratuvarlarda, uzmanlar tarafından yapılabilmektedir.

Benzeri hesaplamaları yapan diğer programlar planktonu düzgün bir geometrik cisim olarak kabul ederek hesaplama yapmaktadır. Ancak planktonlar da dahil, hiçbir canlının tam olarak düzgün bir geometrik şekli olmadığı için, bu programların yanılma payı oldukça yüksektir. Bazı programlar ise planktonun yüzey alanını hesaplayıp yüksekliği 1 mikrometre olan prizmatik cisimler olarak kabul ederek hacmini hesaplamaktadır. Bu da planktonun hacminin, dolayısıyla enerjiye dönüşebilen karbon miktarının yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır.

Gerçeğe en yakın hesaplamalar ve sonuçlar, integral mantığıyla yapılan hesaplamalar sonucu mümkündür. Ancak bu hesaplamaları el ile yapmak, oldukça zahmetli ve uzun

olacaktır. Çünkü, en az yanılma payıyla hesap yapabilmek için, resmi mümkün olduğunca çok dilime ayırmak gerekmektedir. Bu da el ile hem uzun sürer, hem de hacimlerin hesaplanıp toplanmasında karışıklığa neden olur.

Tarafımızdan geliştirilen program herhangi bir bilgisayarda herkes tarafından kullanılabilir, basit bir ara yüze sahip bir programdır. Bunun yanı sıra, resmi piksel bazında inceleyerek yanılma payını en aza indirmektedir. Geliştirdiğimiz program, planktonu düzgün bir geometrik şekil olarak kabul etmediği için çok karışık şekilli planktonların bile biyokütlesini ve dolayısıyla enerjiye dönüşebilen karbon miktarını çok daha sağlıklı ve gerçeğe yakın bir şekilde hesaplayabilmektedir.

Günümüzde artan nüfusa karşı yetersiz kalan besin üretim alanlarının ve enerji kaynaklarının artırılması konusunda yapılan çalışmalar, birincil üretici olan fitoplankton bu soruna çözüm olabileceğini göstermektedir. Yine yapılan araştırmalar denizlerde demir iyonunun çözülmesiyle fitoplankton üremesinin bin kat artırdığını göstermektedir. Böylece doğada enerjiye dönüşebilen karbon miktarı artmış olacaktır. Bu çalışmalar sırasında fitoplankton içerdiği karbon kütlelerinin hesaplanabilmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü enerjiye dönüşebilen karbon miktarının aşırı artması besin zincirinde büyük bir değişmeye neden olur. Geliştirdiğimiz program bu çalışmalarda kısa sürede hassas sonuçlar alınmasını sağlayarak çalışmalara ivme kazandıracaktır.

Enerjiye dönüşebilen karbon miktarının net bir şekilde hesaplanması aynı zamanda besin zinciri yoluyla insana ulaşacak besinin miktarının belirlenmesini de sağlamaktadır. Bu şekilde balık çiftliklerinin ve çeşitli denizel tarım alanlarının oluşturacağı verimlilik de tespit edilebilecektir.

## Kaynakça

- Billington, N. (1991): A comparison of three methods of measuring phytoplankton biomass on a daily and seasonal basis. *Hydrobiologia* 226: 1-15.
- Cirik, S., Ş. Gökpinar (1993). *Plankton and Culture* (in Turkish). Ege Üniversitesi Basımevi. 274 sayfa.
- Çetin, A. E. (2003): *Mathlab 6.5 for everybody*. (in Turkish). <http://www.maden.org.tr/yeni3/yayinlar/kitaplar/madenciliksektoru2002/komur.htm> (Siteye en son 16.Şubat.2005 tarihinde sağlıklı bir biçimde erişim sağlanmıştır).
- Hillebrand, H., C. D. Dürselen, D. Kirschtel, U. Pollinger, T. Zohary (1999): Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35, 403-424.
- Kocataş, A. *Ecology and Environment*. (in Turkish). Ege Üniversitesi Basımevi. 564 sayfa.
- Kocataş, A. (1986). *Introduction to Oceanography*. (in Turkish). Ege Üniversitesi Basımevi. 358 sayfa.
- Koray, T. (2002). *Marine Phytoplankton*. (in Turkish). Ege Üniversitesi Basımevi, 228 sayfa.
- Kovala P. B., J. D. Larrance (1966): *Computation of Phytoplankton Cell Numbers, Cell Volume, Cell Surface and Plasma Volume Per Liter From Microscopical Counts*. National Science Foundation U. S. Fish and Wildlife Service U. S. Atomic Energy Commission, Special Report No. 38.