

## DENİZ KIRLIĞININ BELİRLENMESİNDE VE İZLENMESİNDE BENTİK ORGANİZMALARIN ÖNEMİ VE KULLANIMI

Mustafa UNSAL.  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Deniz Bilimleri Enstitüsü  
P.K. 28, 33731 Erdemli-İçel

### ÖZET

Bentik organizmalar, pelajik organizmalarla göre sabit ya da çok az yer değiştirdiklerinden, deniz kirliliğinin belirlenmesinde ve izlenmesinde pek çok araştırmacı tarafından kullanılmış ve halen kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bentik organizmaların araştırılması sonucunda elde edilen veriler, tür kompozisyonu, birim alandaki tür ve fert sayısı, biyomas vb, çeşitli yöntemlerle değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Adı geçen yöntemleri:

1. Tür-Fert-Biyomas (TFB) ilişkisi,
2. Diversite indeksleri:
  - a) Shannon-Wiener indeksi,
  - b) Indirgeme (rarefaksiyon) teknigi,
3. Normal logaritmik dağılım yöntemi,
4. Fert-Biyomas ilişkisi,
5. Tür-Alan ilişkisi şeklinde özetleyebiliriz.

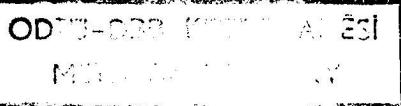
Bu yöntemlerden bir ya da birkaç aynı anda kullanılarak herhangi bir bögisenin kirlilik düzeyi (az-orta-çok kırılı) ve aynı zamanda kirlilik türü (organik-inorganik) belirlenebilmektedir.

### GİRİŞ

Bilindiği gibi deniz kirliliğinin türü ne olursa olsun, sonuçta bu kirlilikten etkilenen canlı organizmalardır. Bu etkilerin incelenmesi için başlıca iki yöntem vardır:

- a) Organizmaların içerdiği kirletici miktarlarını kimyasal analizle belirlemek,
- b) Organizmaların yer ve zamana göre dağılımlarını (tür kompozisyonu, birim alandaki tür ve fert sayısı, biyoması vb.) incelemek.

İkinci yöntem birinciye göre daha ekonomiktir. Bu yöntemde, bentik organizmalar sabit ya da çok az yer değiştirdiklerinden pelajik organizmalara tercih edilmektedirler. Bentik organizmaların da "makrozoobentoz" olanları daha çok kullanılmaktadır. Çünkü bu organizmaların biyolojileri, mikro- ve mezo-bentoza göre daha iyi bilinmektedir. Yine makrobentik



organizmaların bazıları Urnegin, *Capitella capitata*, *Polydora cilista*, *Scololepis fuliginosa* vb, türler bazı araştırmacılar tarafından (Leppakoski, 1975; Pearson & Rosenberg, 1978; Gray, 1981; Ünsal, 1988) kirlenmenin türü (organik-inorganik) ve düzeyinin belirlenmesinde "indikatör" türler olarak kullanılmış ve önerilmişlerdir.

Bu çalışmada, doğal ortamdan bentik organizmalar konusunda elde ettigimiz veriler, çeşitli yöntemlerle ve literatür bilgilerinin de ışığında değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılarak tartışılmıştır.

## BAŞLICA YÖNTEMLER VE ÖZELLİKLERİ

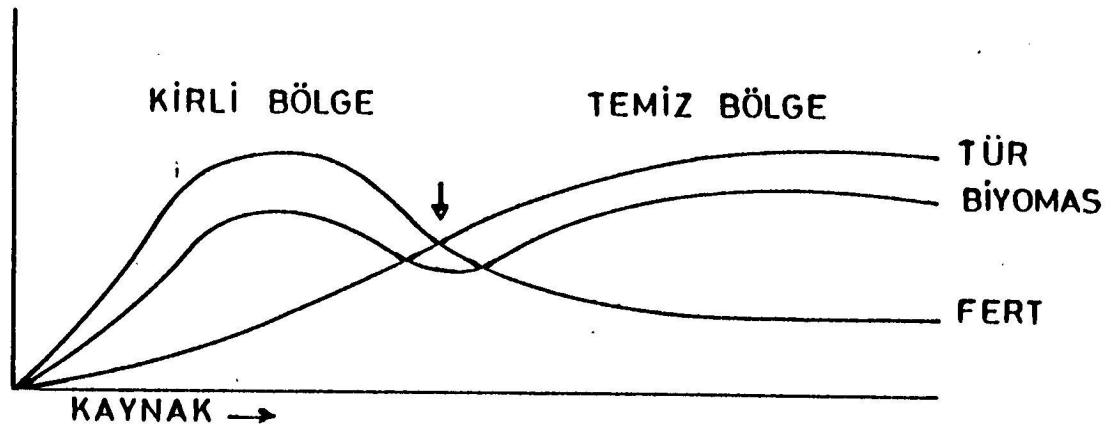
### Tür-Fert-Biyomas (TFB) ilişkisi

Bentik araştırmalarda ölçülen başlıca parametreler; tür sayısı, fert sayısı ve biyomas (yağ ağırlık) tır. Çünkü normal (kirlenmemiş) ortamlarda genellikle komünitelerin (hayvan topluluklarının) tür sayısı ve biyomasi yüksek, tür başına düşen fert sayısı ise düşüktür. Anormal çevre koşulları, bu parametrelerin değişmesine neden olur; kirlenmenin kaynakında hiçbir bentik organizma görülmez, kaynaktan biraz uzaklaşlığında ancak bir ya da birkaç tür görülür ve bu türlerin fert sayısı oldukça yüksektir. Bu yüksek fert sayısından dolayı biyomasda da bir artış gözlenir. Kaynaktan daha da uzaklaşlığında fert sayısı ve biyomasda bir azalma, tür sayısında ise bir artış gözlenmektedir (Şekil 1). Bu nokta, Pearson & Rosenberg, (1987) tarafından "ekoton noktası=ecotone point", Leppakoski, (1975) tarafından ise "ilk azalma=primary minimum" olarak tanımlanmıştır. Bu noktanın kaynak tarafında kirliliğe dayanıklı olan "indikatör" türler, diğer tarafında temiz bölgelerde yaşayan bentik türler, tam noktanın olduğu bölgede ise geçiş türleri bulunmaktadır. Bu noktadan sonra tür sayısında ve buna bağlı olarak biyomasda bir artma, fert sayısında ise bir azalma gözlenir.

Şekil 1.

### Diversite indeksi

Kirlenme ile diversite indeksi arasındaki ilişki pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Pearson & Rosenberg, 1978; Gray, 1981; Ünsal, 1988). Diversite indekslerinden en çok kullanılanlar Shannon-Wiener indeksi ve rarefaksiyon tekniğidir.



Şekil 1

### *Shannon-Wiener indeksi*

Bu indeks aşağıdaki formülle göre hesaplanmaktadır:

$$H' = \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

Burada:  $P_i$ ,  $i$  türünün fert sayısının toplam fert sayısına oranı,  $s$  ise toplam tür sayısıdır.

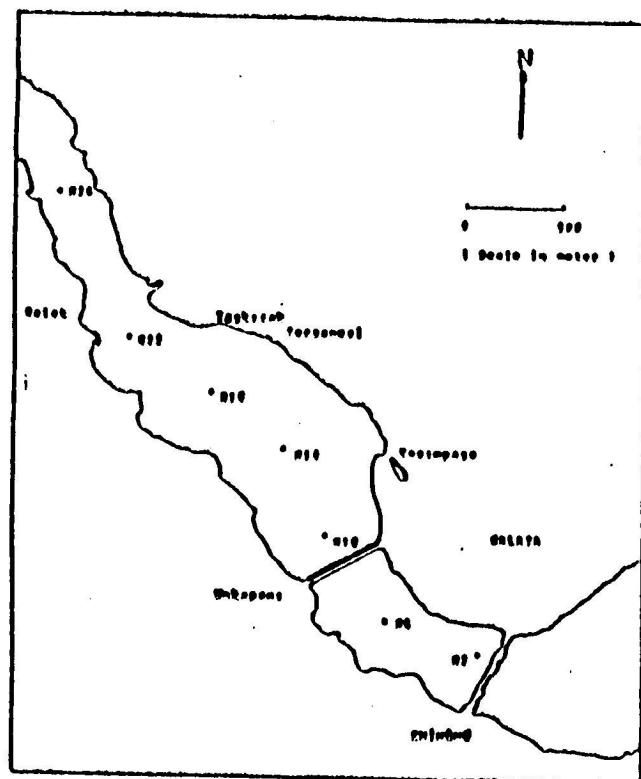
Ortam koşullarının uygun olmadığı, Örneğin kirlenmiş bölgelerde indeks değerleri, temiz bölgelerden daha düşüktür. Çünkü, diversite indeksi ile dominansi doğrudan ilişkilidir: kirli bölgelerde bir ya da birkaç tür dominant (başkın) olup tür başına düşen fert sayısı yüksek olduğundan diversite değeri azalmaktır, buna karşın temiz bölgelerde tür sayısı fazla ve fertler mevcut türler arasında oranlı (eşit) dağıldığından diversite değeri artmaktadır. Örneğin Haliç'ten elde ettiğimiz sonuçlarda, Haliç girişinde H2 istasyonunda,  $H' = 2.02$  olan diversite indeks değeri, Haliç'in sonuna doğru H26 istasyonunda  $H' = 0.54$ 'e düşmektedir (Şekil 2 ve 3). Bu da Haliç'in giriş kısmının uç kısmına göre daha temiz olduğunu göstermektedir.

Bu yöntemden yararlanarak çeşitli bölgelerin kirlilik düzeyini karşılaştırabiliriz. Ancak diversite indeks değerlerine göre kirlenme derecesini belirlemek oldukça zordur. Çünkü hangi değere kadar az kirli, hangi değerden sonra çok kirli olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yorumlanmıştır. Örneğin Stirn'e (1971) göre diversite indeks değeri 1-4 arası çok kirli bölgeyi tanımlamakta, normal koşullarda ise bu değer 10 katı olmaktadır.

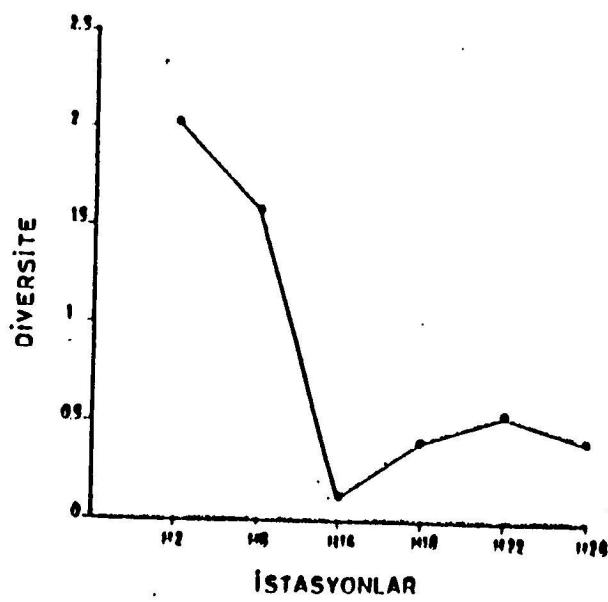
### *Rarefaksiyon teknigi (rarefaction technique)*

Sanders (1968) tarafından önerilen ve geliştirilen bu teknikte belirli sayıdaki fertler için (50, 100, 200, 400, 500 vb) tür sayıları hesaplanır.

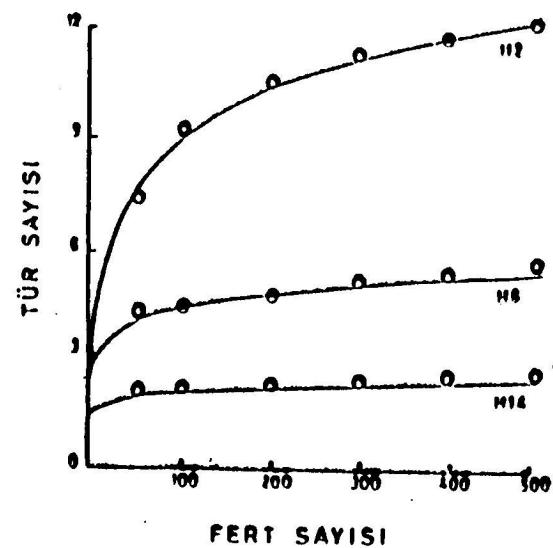
Bir grafik metod olan bu teknikte, X eksenin üzerinde belirlenmiş fert sayıları, Y eksenin üzerinde de bu fert sayılarını içeren tür sayısı gösterilmiştir. Buna göre X eksenine en yakın ve ona paralel olarak giden eğri kirlenmiş bölgeyi gösterir. Eğrinin X ekseninden uzaklaşması, yani gittikçe dikleşmesi, ki bu durumda tür sayısı artıyor ve tür başına düşen fert sayısı azalıyor, kirli bölgeden temiz bölgeye geçildiğini gösterir. Bunu, yine İstanbul Haliç'te yaptığımız araştırmalarдан elde ettiğimiz sonuçlarla açıklamak istersek aşağıdaki şekli (Şekil 4) elde ederiz.



Sect. 2.

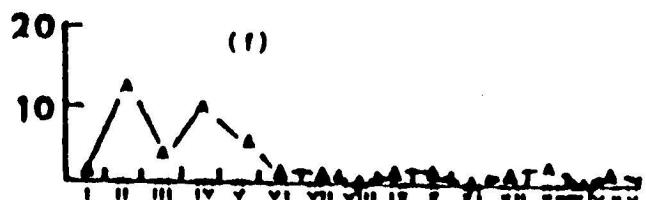
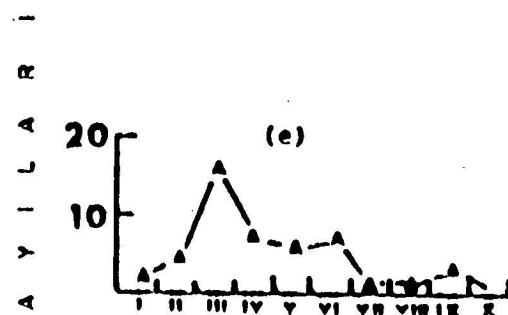
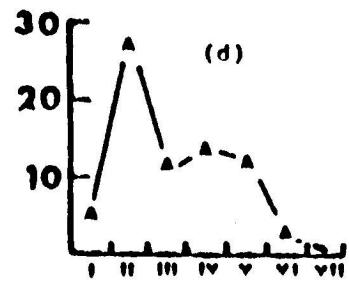
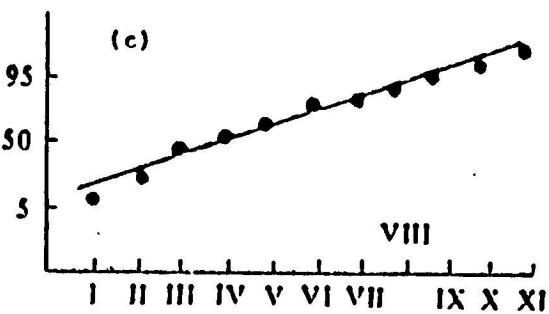
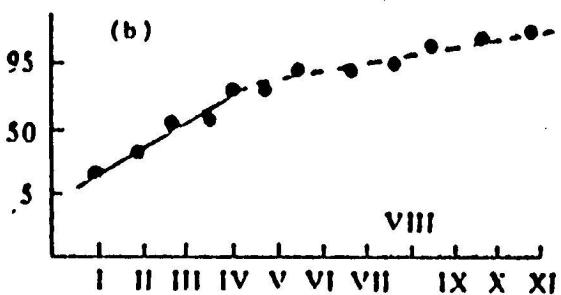
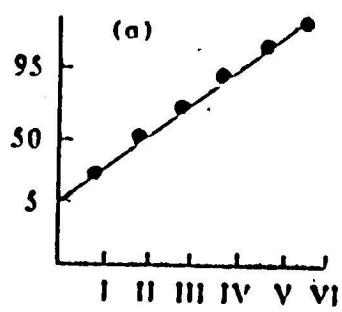


Felic 3



Prelim 4

TÜRLERİN KÜMÜLATİF YÜZDELLERİ



#### TÜR BAŞINA DÜSEN FERT SAYISININ GEOMETRİK SINIFLANDIRMASI

Şekil 5

Şekil 4 de görüldüğü gibi H14 istasyonun bulunduğu bölge en kirli, H6 daha az kirli, H2 (Haliç'in ağız kısmı) ise en az kirli olan bölgeyi göstermektedir. Çünkü Haliç'te kirlilik iç (ya da uç) kısımdan ağız kısmına doğru azalmaktadır.

#### Normal logaritmik dağılım (log-normal distribution)

Bazı araştırmacılara göre (Pearson & Rosenberg, 1978; Gray, 1981) bentik organizmaların diversite değerleri kirliliğin dışında diğer bazı faktörlerin etkisi ile de değişebilir. Örneğin, örneklem eletine, kullanılan eyleye, sediman yapısına, türler arasındaki rekabete vb. Bu nedenle Gray (1979), "normal logaritmik dağılım metodunu önermiştir.

Bu metotda, önce elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi sınıflandırılır (Tablo 1). Sınıflandırma  $x_2$  ya da  $x_3$ 'e göre yapılır. Tablo 1'de  $x_2$ 'ye göre yapılmıştır.

Şöyle ki: Sınıf I = Tür başına 1 fert, Sınıf II = tür başına 2 ile 3 fert, Sınıf III = tür başına 4 ile 7 fert, Sınıf IV = tür başına 8 ile 15 fert vb.

Tablo 1. Normal logaritmik dağılım için verilerin sınıflandırılması (Gray, 1979)

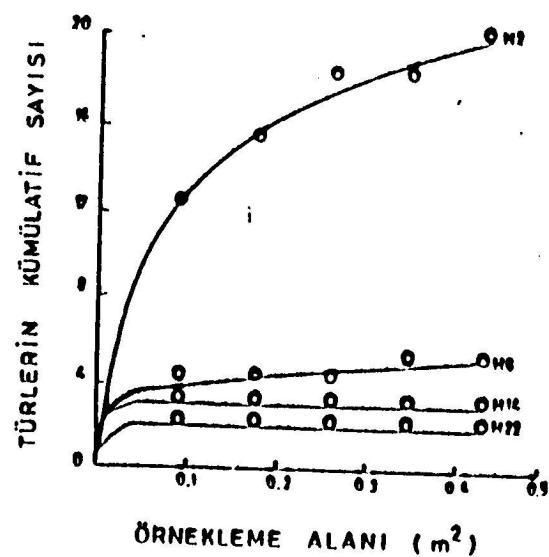
#### Tür başına fert sayısı

Geometrik Sınıflar	Aritmatik Sınıflar	Tür Sayısı	%	Kümülatif %
I	1	8	19.5	19.5
II	2-3	13	31.7	51.2
III	4-7	3	7.3	58.5
IV	8-15	4	9.7	68.2
V	16-31	5	12.3	80.5
VI	32-63	2	4.9	85.4
VII	64-127	2	4.9	90.3
VIII	128-255	2	4.9	95.2
IX	256-511	2	4.9	100.0

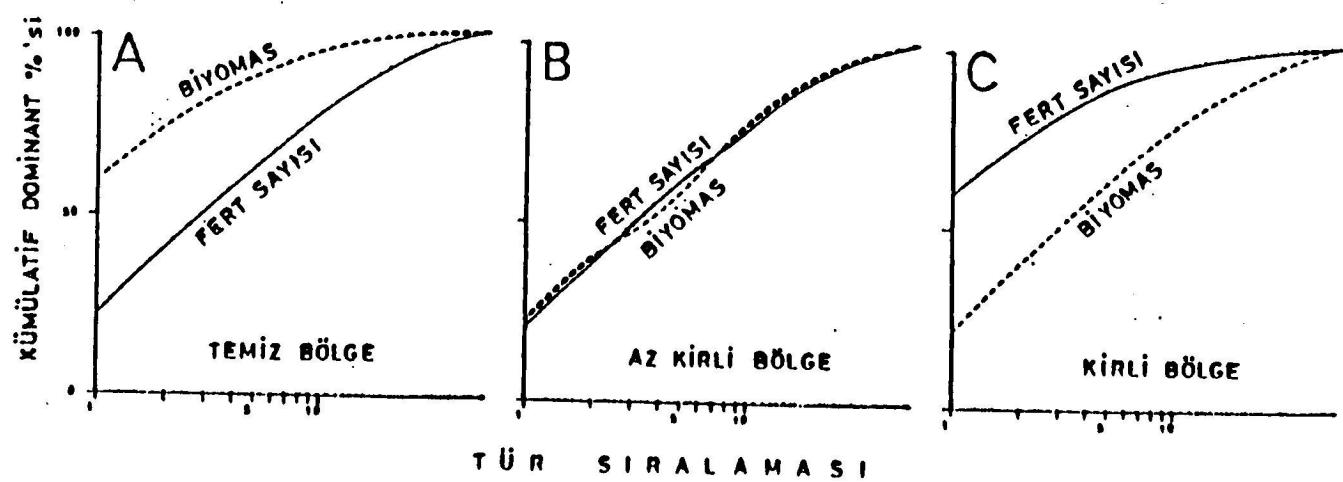
Daha sonra geometrik sınıflar X eksenini Üzerine, kümülatif yüzdeler de Y eksenini Üzerine yerleştirilerek çizilen grafik Üzerindeki doğrular birbirleriyle karşılaştırılırlar (Şekil 5a, b, c).

Şekil 5'de Uç çeşit doğru görülmektedir:

- Şekil 5a, VI geometrik sınıfından oluşmaktadır ve doğru X eksenini ile oldukça geniş bir açı yapmaktadır. Bu tür bir doğru ancak fertlerin türler arasında homojen (eşit) dağılımı sonucu elde edilebilir ki bu da temiz bölgeler için karakteristikdir.



Sekil 7



Sekil 6

## **Şekil 6**

Bu metodda bentik organizmalar önce fert sayısının çokluğuna göre sıralanır. Daha sonra bu türlerin biyomasları karşısına yazılıarak gerek fertlerin, gerekse biyomasın kümülatif yüzdeleri (%) hesaplanır. Bulunan değerler yarı logaritmik grafik kağıdına aktarılırak elde edilen sonuçlar değerlendirilir.

### **Tür-Alan ilişkisi**

Bu yönteme, seçilmiş bölgelerden (istasyonlardan) aynı anda 5-10 kez örneklem yapılarak elde edilen türler kümülatif olarak toplanır. Kirli bölgede tür sayısı sınırlı olduğundan X eksenine paralel bir eğri elde edilir. Temiz bölgelerde ise her örneklemde tür sayısı ertacığından, gittikçe yükselen bir eğri elde edilir (Şekil 7).

## **Şekil 7.**

Sonuç olarak, bentik organizmalardan elde ettiğimiz verileri çeşitli yöntemlerle (metodları) değerlendирerek herhangi bir bölgenin o andaki kirlilik durumunu saptayabildiğimiz gibi elde ettiğimiz sonucu ya da sonuçları gerek diğer bölgelerle, gerekse o bölgenin daha önceki durumuyla da karşılaştırabiliriz.

b) Şekil 5b'de doğrular kendi aralarında bir açı oluşturmaktadır ya da doğru belirli bir noktadan kırmaktadır. Ayrıca geometrik sınıfların sayısı da artmıştır. Bu kırılma, ortam koşullarının yavaş yavaş normalin dışına çıktığını, yani bozulmaya başladığını göstermektedir. Bu bozulma, çeşitli faktörlerin yanı sıra kirlenmeden de kaynaklanabilir. Dolayısıyla bu tür bir doğrunun elde edildiği yer ya da zamanda, bir kirlenme başlangıcından söz edebiliriz.

c) Üçüncü doğru, (Şekil 5c) birinciye benzemekte, ancak birinciden iki farklı ayrılmaktadır: (i) geometrik sınıfların sayısı birinciye göre fazladır ( $X-XI$ ), (ii) doğrunun  $X$  ekseni ile oluşturduğu açı Şekil 5a'ya göre daha dardır. Bunun nedeni, tür sayısının azalması buna karşın tür başına düşen fert sayısının artmasıdır ki bu da o bölgenin aşırı kirlendigini gösterir.

O halde geometrik sınıfların sayısına göre araştırma bölgelerini temiz, az kirli, çok kirli diye sınıflandırmak mümkünür. Buna göre I-V geometrik sınıf temiz bölgeyi, VI-IX arası az kirli,  $X$  ve daha yukarı sınıflar ise kirli ya da çok kirli bölgeleri göstermektedir. Pearson ve ark. (1983)'na göre en iyi indikatör türler, V. ve VI. geometrik sınıfı oluşturan türlerdir.

Gray & Pearson (1982),  $Y$  ekseni Üzerine tür sayısının kümülatif yüzdeleri (%) yerine doğrudan tür sayılarını yerleştirdiklerinde aşağıdaki şekilleri elde etmişlerdir. (Şekil 5, d,e ve f).

Bu şekillerde eğriler, 5a,b, ve c, şekillerinden farklı gibi görülmektedir, geometrik sınıfların sayılarında benzerlikler vardır. Buna göre Şekil 5d temiz bölgeyi, 5e az kirli ve 5f kirli bölgeyi göstermektedir.

## DİĞER METODLAR

### Fert-Biyomas ilişkisi

Warwick'e (1986) göre fertlerin türler arasında dağılımı, biyomasın dağılıminden farklıdır. Normal çevre koşullarında biyomas, fert sayısına karşı baskın (dominant) dir. Ortam kirlenmeye başladığında, fert sayısı ve biyomas birbirine yaklaşır ve alması olarak artma ve eksilme gösterirler. Ortam çok kirli olduğunda ise, temiz ortamdanın aksine fert sayısı artar, biyomas ise azalır (Şekil 6). Çünkü bu durumda ortamda, kirliliğe karşı dayanıklı olan, ürnegin C. capitata gibi, bir ya da birkaç tür kalmıştır. Bu türler de aşırı derecede çoğaldığından fert sayısı biyomasa karşı baskındır.

REFERASLAR:

- GRAY, J.S. ve MIRZA, F.B., 1979 - A possible method for the detection of pollution-induced disturbance on marine benthic communities. *Mar. Pollut. Bull.*, 1, 142-146.
- GRAY, J.S., 1981- The ecology of marine sediments. Cambridge Univ. Press, London. 182 p.
- GRAY, J.S. ve PEARSON, T.H., 1982 - Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, .9, 111-119.
- LEPPAKOSKI, E., 1975 - Assessment of degree of pollution on the basis of macrozoobenthos in marine and brackish-water environments. *Acta Acad. Abo. Ser. B.*, 35, 1-90.
- PEARSON, T.H. ve ROSENBERG, R., 1978 - Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229-311.
- PEARSON, T.H., GRAY J.S. ve JOHANNESSEN, P.J., 1983 - Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. 2. Data analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 12, 237-255.
- SANDERS, H.L., 1968 - Marine benthic diversity: a comparative study. *Am. Nat.*, .102, 243-282.
- STIRN, J., 1971 - Ecological consequences of marine pollution. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 24, 13-46.
- UN SAL, M., 1988 - Effects of sewerage on the distribution of benthic fauna in Golden Horn. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.* 91-92, 105-124.
- WARWICK, R.M., 1986 - A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92, 557-562.

**ŞEKİL ALTLIKLARI:**

- Şekil 1. Kirlenmenin kaynağından itibaren Tür-Fert-Biyomas (TFB) değişimi. (↑) işaretti "ekoton" noktasını ya da "ilk azalma" yi göstermektedir.
- Şekil 2. İstanbul Haliç'te Örnekleme istasyonları (Ünsal, 1988).
- Şekil 3. Örnekleme istasyonlarında diversite indekslerinin değişimi (Ünsal, 1988).
- Şekil 4. İstanbul Haliç'te Üç istasyonda rarefaksiyon teknigi ile elde edilmiş eğriler (Ünsal, 1988).
- Şekil 5. Bir bölgenin kirilik durumuna göre normal logaritmik dağılımin değişimi. Eğrilerin şekline göre bölgeler, temiz (a,d), az kirli (b,e) ve kirli (c,f) şeklinde sınıflandırılır. (Gray, 1979; Gray ve Pearson, 1982)
- Şekil 6. Fert-Biyomas ilişkisine göre elde edilen eğriler ve bu eğrilerin durumuna göre herhangi bir bölgenin, temiz (A), az kirli (B) ve kirli (C) olarak sınıflandırılması (Warwick, 1986).
- Şekil 7. Haliç'te dört Örnekleme istasyonunda, beş Örnekleme sonunda elde edilen Tür-Alan ilişkisi (Ünsal, 1988).