

## 9. DENİZ DESARJI UYGULAMALARI

### 9.1 Deşarj Öncesi Atıksu Arıtım

Karada bir şekilde arıtıma tabi tutulmuş atıksular özümseme kapasitesi yüksek olduğundan denizlere ve büyük göllere deşarj edilirler. Atıksu, denizde seyrelerek kirletici konsantrasyonu düşer. Atıksu deşarj noktasına deniz dibine döşenmiş veya gömülmüş boru veya kanallar vasıtasıyla taşınır. Alıcı ortam su kalitesi standartlarını sağlamak üzere atıksuların deniz deşarjı öncesi arıtıma tabi tutulması gerekmektedir. Bu konuda iki yaklaşım söz konusudur (1): 1) Ön arıtmanın derecesine bağlı olarak deşarj şartlarının belirlenmesi, 2) Deşarj öncesi arıtmayı takiben derin deniz deşarjı.

Birinci yaklaşımda, öngörülen su kalitesi standartlarını sağlamak üzere ön arıtmanın derecesine bağlı olarak deşarj derinliği veya deşarj hattı boyu öngörülür. Derin deniz deşarjı uygulamasında deşarj noktası kıyıdan yeterli mesafede ise, atıksu deniz ortamında seyreleceğinden,  $BOI_5$  genellikle önemli bir parametre olmaz. Kıyıdan yapılan ve sığ deşarjlarda ise önemli bir seyrelme söz konusu olmadığından kıyı kesiminde halk sağlığı ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu bakımından bir risk söz konusudur. Deşarj hattı tasarımı, atıksu içindeki bakteri ve virüslerin (yüzme standartlarını sağlamak üzere) gerekli taşınma süresine imkan verilecek şekilde ve atıksudaki organik kirliliğin seyrelme yolu ile konsantrasyonunun azalacağı dikkate alınarak yapılmalıdır. Deşarj hattı uzunluğu yeterli değilse deşarj öncesi dezenfeksiyon uygulanarak sahil suyu kalite standartlarının sağlanması yoluna gidilir.

İkinci yaklaşımda ise geçerli deşarj standartları dikkate alınarak gerekli arıtım yapıldıktan sonra deşarj yapılır. Açık denizlerle bağlantısı sınırlı olan iç deniz ve kapalı körfezlere deşarj söz konusu olduğunda bu yöntem uygulanır. Bu tür sularda kirleticilerin birikimi söz konusudur. Özellikle besin elementleri (N,P) kapalı sularda birikerek ötröfikasyona neden olabileceğinden bu tür sulara deşarj söz konusu olduğunda deşarj öncesi N ve P giderimi gereklidir (2).

Besin elementleri dışında alıcı ortamın estetik durumunun değişmesine neden olan yüzer maddeler, yağ-gres, koku ve renk parametrelerinin kontrolü için de deşarj öncesi arıtım gerekmektedir.

Bunların dışında besin zinciri içinde veya biyolojik olarak birikimi söz konusu olan ağır metal, DDT, PCB, PCP gibi maddeler için kaynakta kontrol ve sıfır deşarj en etkin ve ekonomik kontrol yöntemidir.

Virüslerin  $T_{90}$  değeri (konsantrasyonun %90 azalması için gerekli süre) 48 saat mertebesindedir. Deşarj hatları bakterilerin yok olması için gerekli süreyi sağlamasına karşın virüsler için yetersizdir. Evsel atıksulardaki virüs konsantrasyonları  $10^2$ - $10^5$  PFU/100 ml mertebesindedir. Teorik olarak 1 PFU'nun bile hastalık yapabileceği göz önünde tutulursa yok olma için en az 1/1000 lik seyrelme gerekir (1). Bu mertebede seyrelmenin sağlanamadığı hallerde virüslerin deşarjdan önce uygun yöntemlerle arıtılmaları gerekir.

## 9.2 Deniz Deşarj Öncesi Arıtma Yöntemleri

**Mekanik arıtım:** Çok küçük yerleşim birimlerinde atıksuların deşarjdan önce ızgaradan geçirilmesi önerilmektedir. Izgara sonrası kum tutucu olması deşarj terfi merkezindeki pompaların ve deşarj hattının ömrünü uzatacak ve bakım masraflarını azaltacaktır. Izgara ve kum tutucularda tutulan maddeler genellikle evsel çöplerle birlikte çöp depolama yerlerinde depolanabilir. Orta büyüklükteki yerleşim birimlerinde kaba ızgara ile birlikte döner mikroelek kullanımı da yaygın bir uygulamadır (1).

**Biyolojik arıtım:** Orta ve büyük şehirlerin atıksularına deşarj öncesi, aktif çamur, biyodisk, stabilizasyon havuzları başta olmak üzere çeşitli biyolojik arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu sistemlerde %85-95 oranında organik karbon giderimi sağlanmaktadır (3). Klasik aktif çamur sistemlerinde nütrient giderimi %30-45, stabilizasyon havuzlarında ise %40-50 aralığındadır (Tablo 15.1). Bu yüzden nütrient gideriminin önem taşıdığı alıcı ortamlara deşarj öncesi nütrient giderimi de uygulanmalıdır. Fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile etkin bir şekilde Nütrient giderimi sağlanabilir (4),(5).

**Fiziko-kimyasal arıtım:** Küçük ve orta büyüklükteki yerleşim birimleri ve endüstriyel atıksular için en çok uygulanan deşarj öncesi arıtım yöntemidir. Fizikokimyasal arıtma yöntemlerinin arazi ve enerji gereksinimi biyolojik sistemlere kıyasla daha azdır, sıcaklık değişimlerinden etkilenmezler ve istenildiğinde kesikli (mevsimlik) olarak çalıştırılabilirler. Fiziko-kimyasal arıtım ile %90 PO<sub>4</sub>, %30-40N, %70-80 BOI<sub>5</sub> ve %50-90 ağır metal giderimi sağlanabilmektedir. Kimyasal arıtımda giderilemeyen askıdaki fosfor kimyasal arıtım sonrası hızlı kum filtresinde giderilir. Fizikokimyasal arıtımın bir dezavantajı fazla çamur evsel atıksular için biyolojik arıtıma kıyasla 1.5-2 katı fazla çamur çıkmasıdır.

**Dezenfeksiyon:** Atıksuyun deşarj edileceği alıcı ortam şartlarına bağlı olarak doğrudan veya mekanik veya biyolojik arıtım sonrası atıksular dezenfekte edilerek alıcı ortama deşarj edilirler. Dezenfeksiyon için Klorlama, ozonlama veya UV yöntemleri kullanılır.

Yurdumuzda Ege, Akdeniz ve Marmara'daki koy ve sahillerde yer alan turistik beldelerdeki atıksularda büyük debi değişimleri olduğundan arıtma birimlerinin söz konusu mevsimlik ve günlük salınımlara cevap verecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Büyük şehirlerde ve turistik beldelerde derin deniz deşarjı öncesi arıtım ünitelerinin aşama aşama yapılması ülkemiz ekonomik koşulları için daha uygundur. Başlangıçta sadece mekanik ön arıtma birimlerini içeren arıtma tesisi nüfus artışı ve yatırım olanaklarına paralel olarak geliştirilerek belli bir süre sonra 2., gerekiyorsa 3. kademe biyolojik arıtma eklenebilir.

Deşarj hattının uzunluğu deşarj öncesi yapılacak arıtma derecesine göre tasarlanır. Bu yüzden atıksuların mekanik arıtım sonrası biyolojik arıtmadan da geçirileceği düşünülerek deşarj borusu uzunluğu sadece mekanik arıtım yapılması durumuna göre daha kısa tutulur. Herhangi bir nedenle biyolojik arıtım ünitesi devre dışı olduğunda deniz daha fazla kirlenir. Deşarj borusu uzunluğunun çok emniyetli seçilmesi durumunda böyle bu tür riskler ortadan kalkar.

Şekil 9.1. Arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri (1)

Parametre	Klasik aktif çamur sistemi	Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi	Damlatmalı filtre	Fakültatif havalandırmalı havuz	Sirkülasyon havuzu	Biyolojik
BOI giderimi,%	85-93	95-98	65-95	70-90	70-90	85-94
N giderimi,%	30-40	15-30	-	-	40-50	-
P giderimi,%	35-45	10-20	-	-	20-60	-
Koliform giderimi,%	60-90	60-90	-	60-90	50-99.9	-
Arazi gereksinimi,m <sup>3</sup> /N						
Sıcak iklim	0.16-0.20	0.25-0.35	-	0.15-0.45	1.0-2.8	<0.1
Ilıman iklim	0.20-0.40	0.35-0.65	-	0.45-1.00	3-12	<0.1
Enerji gereksinimi,						
kw-s/N.yıl	8.17	13-20	-	12-15	yok	6-12
Çamur uzaklaştırma şekli	Çürütme mekanik ekipman yatakları,	Kurutma yatakları	Çürütme, kurutma yatakları	5-10 yılda bir çamur uzaklaştırma	5-10 yılda bir çamur uzaklaştırma	-
Gerekli alet ve teçhizat	Havalandırıcı, geri devir pompası, sıyırıcı, çamur çürütücü, gaz toplama	Havalandırıcı, geri devir pompası	Geri devir pompası, sıyırıcı, yoğunlaştırıcı, çürütücü ve gaz toplama	Havalandırıcı	-	Geri devir pompası, sıyırıcı, yoğunlaştırıcı, çürütücü
İşletme	Yetişmiş eleman	Daha az yetişmiş eleman	Yetişmiş eleman	Basit	Basit	Yetişmiş eleman

### 9.3 Deşarj Şartları

Atıksuların denize deşarjında göz önünde tutulması gereken hususlar şunlardır:

- Denizin estetik görünüşünü bozan yüzücü katı maddeler ve yağ-gres, deşarjdan önce atıksudan ayrılmalıdır.
- DDT, PCB, PCP, ağır metaller, solventler v.b. zehirli maddelerin kaynağa ayrılması yoluna gidilmeli, hiçbir şekilde atıksuya karışmasına meydan verilmemelidir.
- İyi projelendirilmiş ve yeterince uzun deşarj hatlarında BOI, askıda katı madde, çözünmüş oksijen, tuzluluk ve besi maddeleri gibi kirlilik parametreleri fazla önem taşımamaktadır. Ancak hassas bölgelere deşarj edilen besin elementi yükü alıcı ortamda ötrofikasyona neden olabileceğinden dikkatle irdelenmelidir.

### 9.4 Su Kalitesi Standartları

Su kalite standartları, kıyı sularının kullanma amacına göre değişir. Burada sadece yüzme ve su sporları için kullanılan kıyı suyu kalite standartlarından söz edilecektir.

Evsel atıksuların denize deşarjında deşarj hattı boyunun belirlenmesinde koliform mikroorganizma konsantrasyonu sınırlayıcıdır. Bu yüzden deşarj sisteminin ekonomik olarak projelendirilmesinde koliform standartları önemli rol oynar. Koliform standartları deniz suyunun halk sağlığı ve estetik bakımdan yeterli özellikte olması göz önüne alınarak belirlenir. Türkiye için koruma bölgesi sınırında zamanın %90'ındaki koliform konsantrasyonu değeri 1000/100 ml alınması öngörülmektedir. Koruma bölgesi genişliği olarak da çoğu ülkelerde olduğu gibi asgari 300 m'lik bir sahil bandı alınabilir. Çeşitli ülkelerdeki koliform standartları Tablo 9.2 de verilmiştir. Yönetmelikte ayrıca nüfusa bağlı olarak minimum deşarj boyları için de belli değerler öngörülmektedir.

Tablo 9.2 Çeşitli ülkelerin koliform standartları

Ülke	Organizma türü	Koliform (EMS)/100ml			
		%50	%80	%90	%95
AT üyeleri	Toplam koliform	-	-	-	1,000
	Fekal koliform	-	-	100	-
	Fekal streptococci	-	-	-	0
ABD(California)	Koliform	230	1000	-	-
Danimarka	E.Koli	100	-	1,000	-
Japonya	"	1,000	-	-	-
Hollanda	"	100-1,000	-	-	-
Rusya	"	1000	-	-	-
İsveç	"	100	-	-	-
Türkiye	Toplam koliform	-	-	1,000	-
	Fekal koliform	-	-	200	-

Bazı ülkelerde Koliform mikroorganizma için ilk seyrelmede sınırlama getirilmiştir. ABD'nin Kaliforniya eyaletinde zamanın %50'sinde en az 100, %90'ında ise 80 misli seyrelme öngörülmektedir. İspanyol standartlarında, minimum seyrelmenin 100 veya deşarj derinliğinin 20m. olması, bunun mümkün olmaması durumunda deşarj hattı boyunun en az 2000m. olması

öngörülmektedir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde de minimum ilk seyrelmenin 40, deşarj derinliğinin 20m. olması öngörülmektedir.

Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde deniz deşarjına izin verilebilecek atıksularda aranan özellikler Tablo 9.3 te, uygulanacak kriterler Tablo 9.4 te, minimum deşarj boyları ise Tablo 9.5 te verilmiştir.

Tablo 9.3 Derin deniz deşarjına izin verilebilecek atıksuların özellikleri (1)

Parametre	Sınır	Açıklama
pH	6-9	
Sıcaklık (°C)	35	
Askıda katı madde (mg/l)	350	
Yağ ve gres (mg/l)	10	
Yüzer maddeler	Bulunmayacaktır	
BOI <sub>5</sub> (mg/l)	250	
KOI (mg/l)	400	
Toplam azot (mg/l)	40	
Toplam fosfor (mg/l)	10	
Yüzey aktif maddeler (mg/l)	10	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı yasaktır.
Diğer parametreler		Tehlikeli ve zararlı maddeler yönergesinde bu parametreler için verilen sınır değerlere uymalıdır.

Tablo 9.4 Derin deniz deşarjı için uygulanacak kriterler (1)

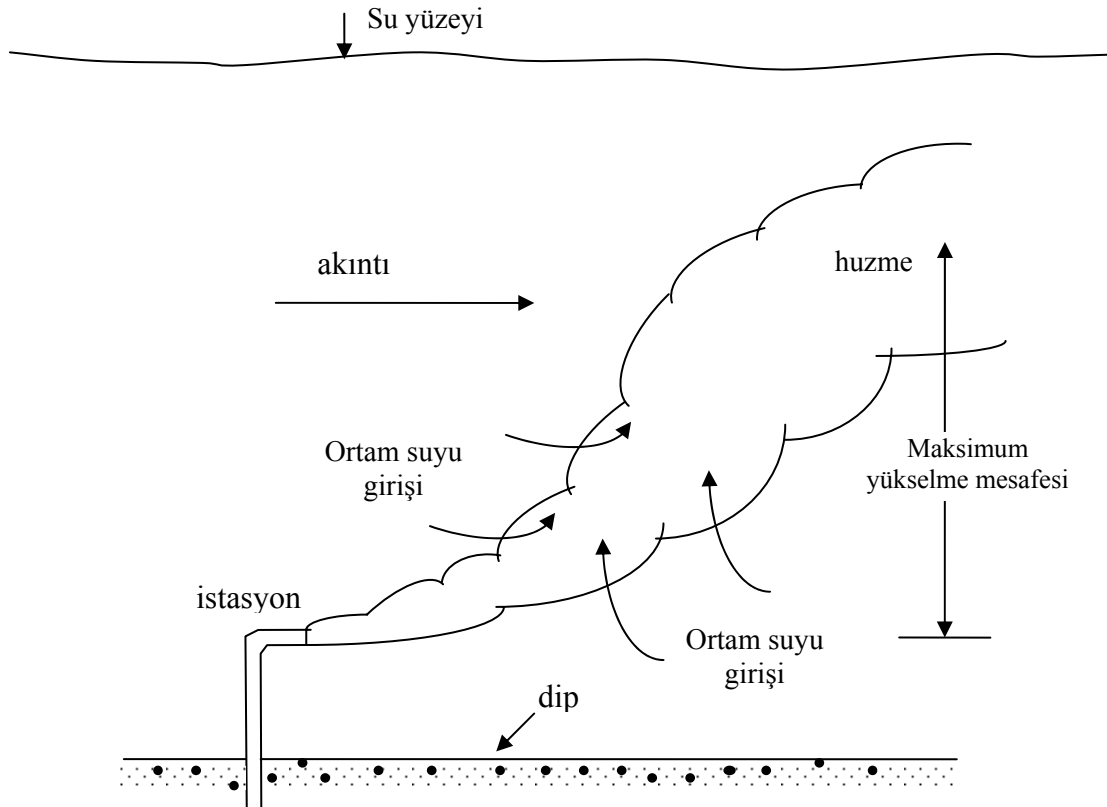
Parametre	Limit
Sıcaklık	Deniz ortamının seyrelme kapasitesi ne olursa olsun denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35°C'yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S <sub>1</sub> ) sonucunda karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1°C'den, diğer aylarda ise 2°C'den fazla arttıramaz.
En muhtemel sayı (EMS) toplam fekal koliformlar	Derin deniz deşarjıyla sağlanacak olan toplam seyrelme sonunda sayı (EMS) insan teması olan koruma bölgesinde, zamanın %90'ında, EMS olarak toplam koliform seviyesi ve 1000 TC/100 ml koliform seviyesi 2000 FC/100ml den az olmalıdır.
Katı ve yüzen maddeler	Difüzör çıkışı üzerinde toplam genişliği o noktadaki deniz suyu derinliğine eşit olan bir şerit dışında gözle izlenebilecek katı ve yüzer maddeler bulunmayacaktır.
Serbest bakiye klor	<0.5 mg/l yi aşmamalıdır (su ürünleri yönetmeliği).
Diğer parametreler	İlgili yönetmelikte Tablo 4 de verilen limitlere uyulacaktır.

Tablo 9.5 Evsel atıksu debilerine göre minimum deşarj boyu

Nüfus	Debi (m <sup>3</sup> /gün)	Minimum deşarj boyu(m)
<1000	200	500
1000-10,000	200-2000	1300

### 9.5 Deşarj Edilen Atıksulann Seyrelmesi

Deşarj, deşarj hattı üzerindeki tek noktadan (single-port) veya birkaç noktadan difüzörlerle yapılır. Atıksuyun yoğunluğu, alıcı ortamda dağılım yönünden kontrol edici parametredir. Deniz deşarjında atıksu yoğunluğu, ortamın yoğunluğundan daha azdır. Deniz suyunun yoğunluğu  $\sigma_t$  ile ifade edilir ve suyun g/l yoğunluğundan 1000 çıkartılarak elde edilir. Örneğin deniz suyu yoğunluğu 1024 g/l, veya 24  $\sigma_t$  dir. Deniz suyu yoğunluğu tuzluluk ve sıcaklığa bağlıdır. Atıksu yoğunluğu ise sıcaklık ve biraz da askıda katı konsantrasyonuna bağlıdır. Genellikle atıksuyun yoğunluğu deniz suyundan daha az olduğu için difüzörlerden deşarj edilen atıksu akımı yüzeye doğru çıkma eğilimindedir. Deniz dibinde atıksu huzmesi şematik görünümü Şekil 9.1 de verilmiştir. Birinci bölgede (ilk karışma bölgesi) deşarj suyu, hızla yükselen yüzer bir huzme oluşturur. Bu huzme büyük miktarda ortam suyunu içine alarak seyrelir.



Şekil 9.1. Deniz dibinde atıksu deşarj huzmesi

Denizlerde sıcaklık ve tuzluluk farkından dolayı oluşan tabakalaşmalar nedeni ile daha derinlerdeki soğuk su katmanları, üst taraftan sıcaklığı daha fazla ve yoğunluğu daha düşük su katmanları tarafından örtülmektedir. Atıksuyun alt tabakalara deşarj edilmesi ile oluşacak atıksu-soğuk deniz suyu karışımının yoğunluğu üst katmanlardaki daha sıcak suyun yoğunluğundan fazla ise atıksuyun yüzeye çıkma olasılığı çok düşük olacaktır. Bunun

ötesinde su katmanları arasındaki tabakalaşma bu geçişi zorlaştıran faktör olmaktadır. Dolayısı ile eğer deşarj yapılan alıcı ortamda tabakalaşma varsa huzmeye girişim yapan ilk yoğun su daha az yoğun su ortamına yükselirken huzmenin yukarı doğru yüzebilirliği azalır. Bu yükseliş sırasında herhangi bir noktada huzmenin yoğunluğu ortam suyunun yoğunluğu ile eşitlenir, yükselme durur. Huzme orta denge yüksekliğine ulaşır. Şayet tabakalaşma azsa veya hiç aylarında olduğu gibi hiç yoksa, huzme su yüzeyine kadar yükselir.

Yakınalan olarak adlandırılan ilk karışma bölgesinin ötesinde, Uzakalan olarak tanımlanan bölgede atıksu ortam akıntıları ile taşınır ve difüzyonla seyrelir. Yakınalan ve uzakalanda gerçekleşen seyrelme mekanizması tamamen farklı olduğundan ayrı incelenmiştir.

## 9.6 Seyrelme Hesaplan

Uzun bir deşarj hattı ile denize verilen atıksuların bünyesindeki kirleticiler deşarj ortamında üç değişik yolla seyreltilir.

**1. İlk seyrelme ( $S_1$ ) :** Atık su hüzmesinin difüzör deliği ile atıksu tarlasının teşekkül ettiği seviye arasındaki hareketi esnasında uğradığı seyrelmedir.

**2. İkinci seyrelme ( $S_2$ ):** Atıksu tarlasının türbülans difüzyonu ve boyuna dispersiyon etkisi ile yatay istikamette yayılıp, açılarak seyrelmesidir.

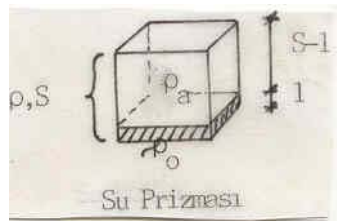
**3. Üçüncü seyrelme ( $S_3$ ):** Atıksu içerisindeki korunamayan türden unsurların zamanla biyolojik olarak ayrışması, güneş ışığı tesiri ve çökelen maddelerle sürüklenme yoluyla uğradıkları ilave seyrelmedir.

Zamanla ayrışıp azalmayan türdeki maddeler (korunan madde) sadece 1. ve 2. seyrelme tesiri ile seyreltilir. Bu tür maddeler netice olarak  $S_1.S_2$  defa seyreltilmiş olurlar. Organik madde, bakteri gibi korunamayan maddeler ise ayrıca 3. seyrelmeye uğradıkları için  $S_1.S_2.S_3$  defa seyreltilirler.

Yoğunluk, seyrelme ve konsantrasyon arasındaki ilişkiler şekildeki su prizması yardımıyla ifade edilebilir.

$$\rho \cdot S = \rho_a (S-l) + \rho_o \cdot l \rightarrow S = \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a - \rho} \quad (9.1)$$

$$C \cdot S = C_o - l + \theta \cdot (S-l) \rightarrow C = \frac{C_o}{S} \quad (9.2)$$



Burada,

- $\rho_a$  : alıcı ortam yoğunluğunu
- $\rho$  : S misli deniz suyu ile karışmış atıksu-denizsuyu karışımının yoğunluğunu
- S : seyrelme sayısını

- $C_0$  : Başlangıçtaki kirletici konsantrasyonunu  
 $C$  : Atıksuyun seyrelmeden sonraki konsantrasyonu

göstermektedir. Öteki büyüklükler daha önce tanımlandığı gibidir.

Deniz ortamına, tabandaki bir boru üzerindeki bir delik (nokta kaynak) veya yarıktan (çizgi kaynak) deşarj edilen atıksuların seyrelmesi ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Abraham (1963), Fan ve Brooks (1969), Brooks (1974), Kor (1968), Cederval (1968). Değişik alıcı ortam şartları için geliştirilen ve pratikte tasarımlar için kullanılan ifadeler ve uygulama sınırları aşağıda özetle verilmiştir.

### 9.6.1 İlk Seyrelme Hesabı

İlk seyrelme ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve hesabı oldukça iyi bir formüle edilmiştir. Verilen teorik hesap metodları deneysel çalışmalarla da doğrulanmıştır (Şekil 9.2).

- $S$  : Atık suyun seyrelmesi, (boyutsuz)  
 $c$  : Atık sudaki kirletici konsantrasyonu, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $y$  : Difüzör deliğinden itibaren ölçülen düşey mesafe, (m)  
 $x$  : Difüzör deliğinden itibaren ölçülen yatay mesafe, (m)  
 $s$  : Jet eksenini boyunca difüzör deliğinden olan mesafe, (m)  
 $r$  : Jet eksenine dik eksen boyunca uzunluk, (m)  
 $\Theta$  : Jet ekseninin yatayla yaptığı açı, (derece)  
 $u$  : jet elemanının hızı, ( $\text{m}/\text{sn}$ )  
 $g$  : yerçekimi ivmesi, ( $\text{m}/\text{sn}^2$ )  
 $\rho$  : yoğunluk, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $D$  : difüzör delik çapı, (m)  
 $F$  : densimetrik Froude sayısı, (boyutsuz)

$$F = U_0 (g' \cdot D)^{-0.5} \quad (9.3)$$

dir. İndislerin anlamları aşağıda verilmiştir.

- (m) indisi, jet eksenindeki,  
(o) indisi, jet başlangıcındaki,  
(a) indisi, deniz suyuna ait büyüklükleri ifade etmektedir.



### 9.6.1.1 Durgun ve Üniform Yoğunluklu Ortamda Yatay Dairesel Jet Deşarjında İlk Seyrelme Hesabı

#### (I) Atık Su Jetleri Arasında Girişim Olmaması (Nokta kaynak) Hali

Difüzör deliklerinden çıkan atıksu jetleri arasında girişim olmaması için delikler arasındaki mesafe (L), atıksu su tarlasının yüzeyde teşekkül etmesi halinde,

$$L > \frac{1}{3} h \quad (9.4)$$

batmış tarla halinde ise,

$$L > \frac{1}{3} y_{\max} \quad (9.5)$$

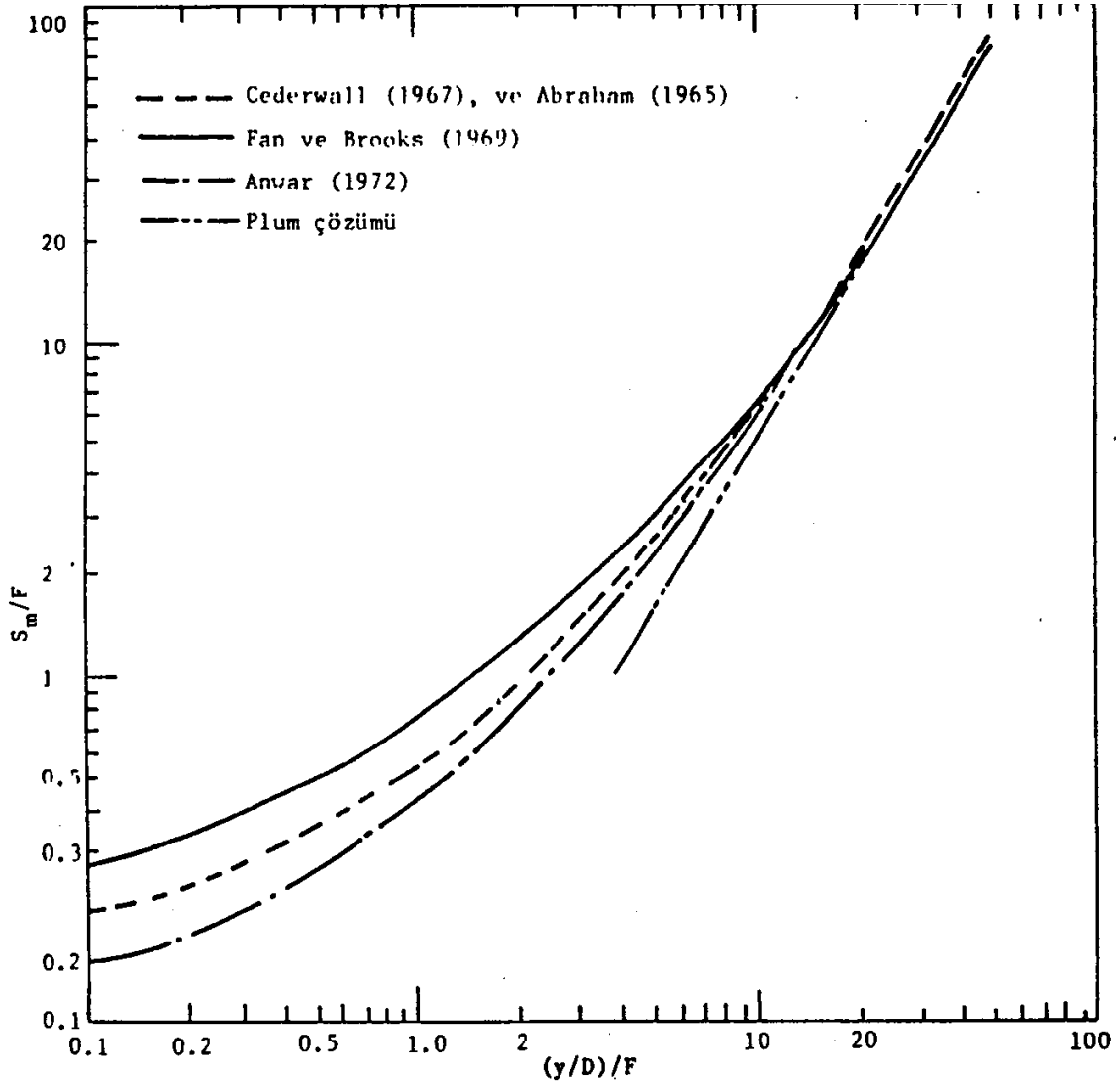
olmalıdır. Bu ifadelerde h, delik üzerindeki su derinliğini,  $y_{\max}$  ise batmış atıksu tarlasının üst sınırının, difüzör deliğinden olan uzaklığını göstermektedir. Eğer difüzör delikleri şaşırtmalı ise, bu değerlerin yarısı alınabilir. Roberts (1977),  $y/L > 5$  halinde girişimin ihmal edilebileceğini belirtmektedir. Hansen ve Jensen (1977), delikler arasındaki mesafenin, atıksu tarlasının yüzeyde teşekkülü halinde,

$$(2 S_m - 1) U_o \frac{\pi D^2}{4} < L \bullet h \bullet u \quad (9.6)$$

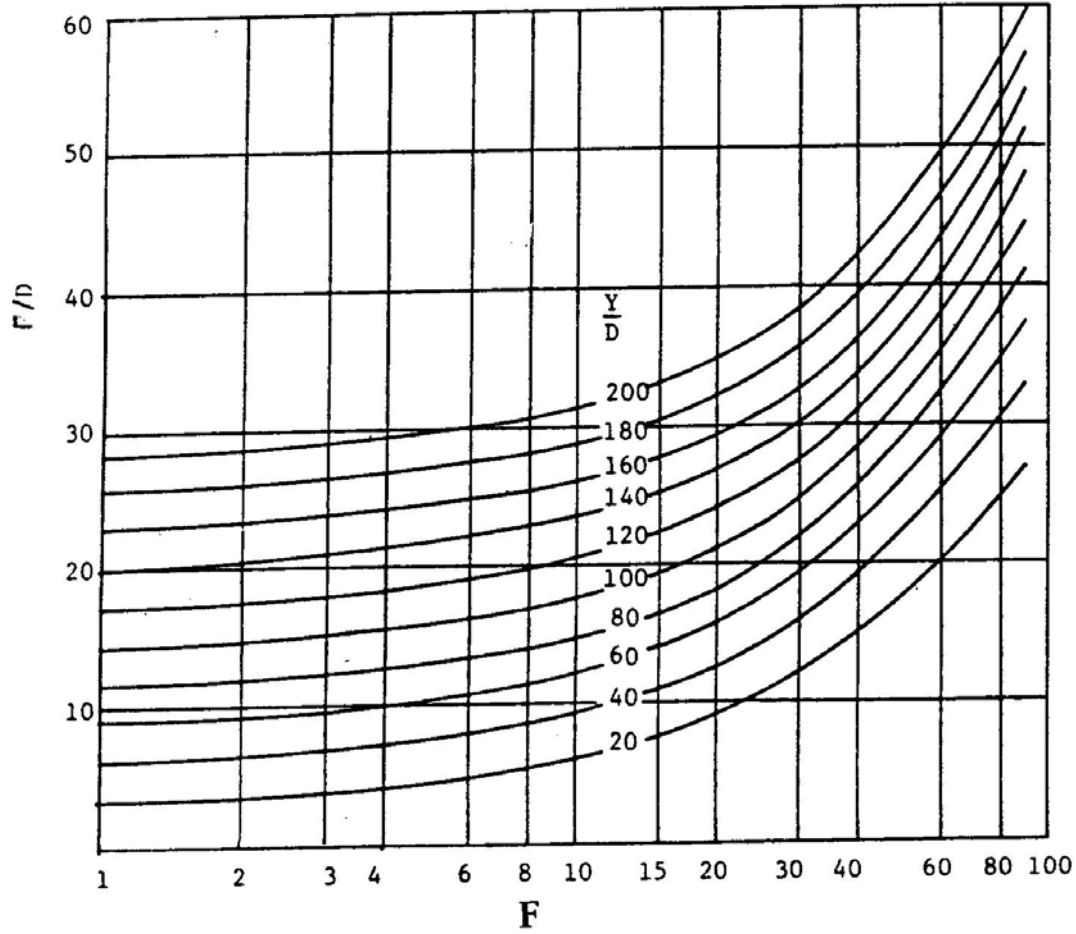
batmış tarla halinde ise,

$$(2 S_m - 1) U_o \frac{\pi D^2}{4} < L \bullet y_{\max} \bullet u \quad (9.7)$$

ifadelerinden hesaplanabileceğini belirtmektedir. Burada u, difüzör eksenine dik akıntı hızını göstermektedir. Durgun ve üniform yoğunluklu ortamlara yatay dairesel delikten atıksu deşarjında jet yarıçapının hesabı için Şekil 9.3. deki grafik kullanılabilir. (Arceivala, 1982)



Şekil 9.2. Durgun ve Üniform Bir Ortamda Yatay Dairesel Jet İçin Eksenel Seyremler



Şekil 9.3. Durgun ve üniform ortamlara yatay dairesel jet deşerjında jet yarıçapı( $r$ ) - Delik çapı ( $D$ ) oranının hesabı için grafik (1)

Durgun (akıntısız) ve üniform yoğunluklu ortamlarda dairesel jetteki aksenal seyrelmenin hesabı,

$$S_m = f(y/D, F, \theta) \quad (9.8)$$

ifadesi analitik olarak çözülmek suretiyle yapılmıştır.

Bu çözüm Şekil 9.3'de grafik halinde verilmiştir. Şekil 9.3 den  $y/D$  ve  $F$ 'nin fonksiyonu olarak okunacak aksenal seyrelmeler ( $S_m$ ), difüzör deliğinden  $6D$  kadar uzaktaki noktaya göre rölatif seyrelmeyi vermektedir. Difüzörün delik kesitine göre rölatif aksenal seyrelmeyi bulmak için Froude sayısı ( $F$ ) %7 arttırılarak,

$$F' = 1.07.F \quad (9.9)$$

Değeri için hesap yapılır. Jet eksenine dik eksen boyunca konsantrasyon ve hız dağılımı normal olduğundan ortalama ilk seyreltme,

$$S_o = 2S_m \quad (9.10)$$

dir. Yatay dairesel jet ( $\theta=0$ ) halinde  $y/(D.F) > 30$  için difüzör deliğinden  $6D$  mesafedeki noktaya göre rölatif aksenal seyrelme,

$$S_m = 0.095 (y/D)^{5/3} F^{-2/3} \quad (9.11)$$

difüzör deliğine göre rölatif aksnel seyrelme ( (9.11) ifadesinin 1.15 katı alınarak)

$$\begin{aligned} S_m &= 0.109 (y/D)^{5/3} F^{-2/3} \\ &= 0.089 g^{1/3} \cdot y^{5/3} \cdot Q^{-2/3} \end{aligned} \quad (9.12)$$

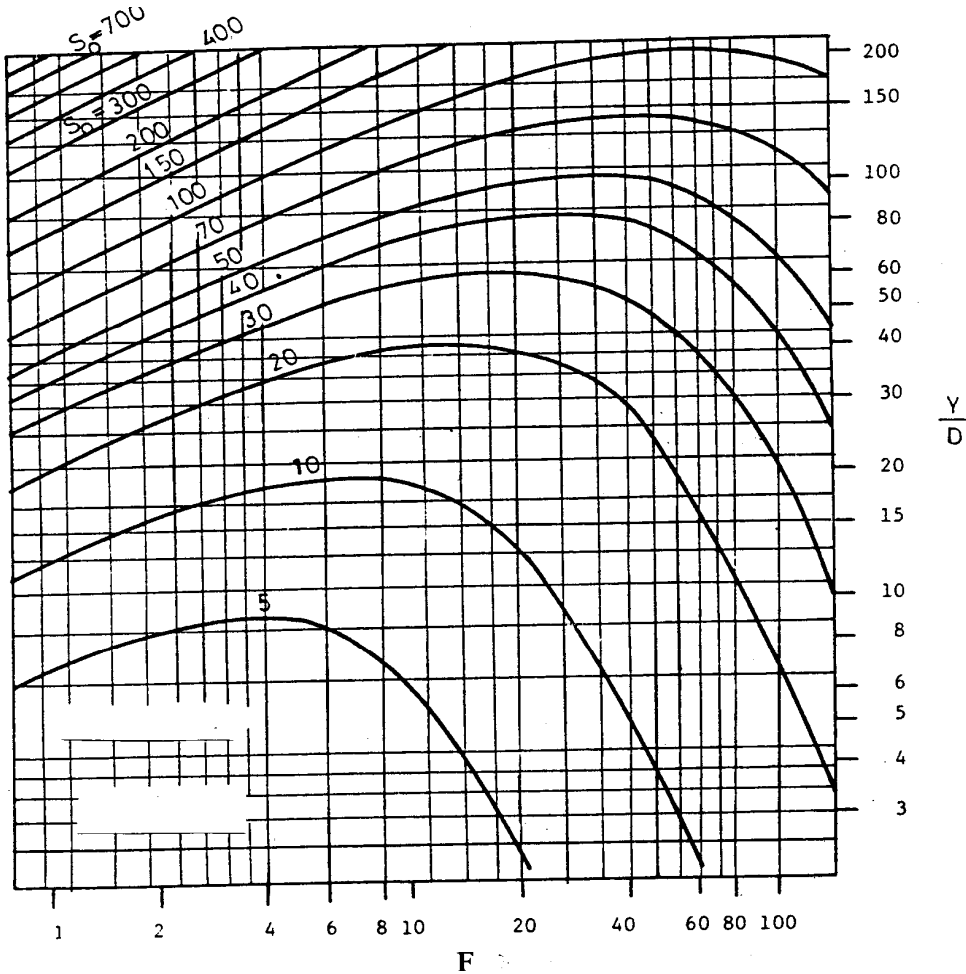
ifadelerinden hesaplanır.

Üniform ve durgun ortamlarda yatay dairesel jetlerdeki aksnel seyrelmeler için Cedervall (1968) aşağıdaki yaklaşık ifadeleri vermiştir. Bu ifadeler yaklaşık olmalarına rağmen, pratikte tasarım içib yaygın şekilde kullanılmaktadır.

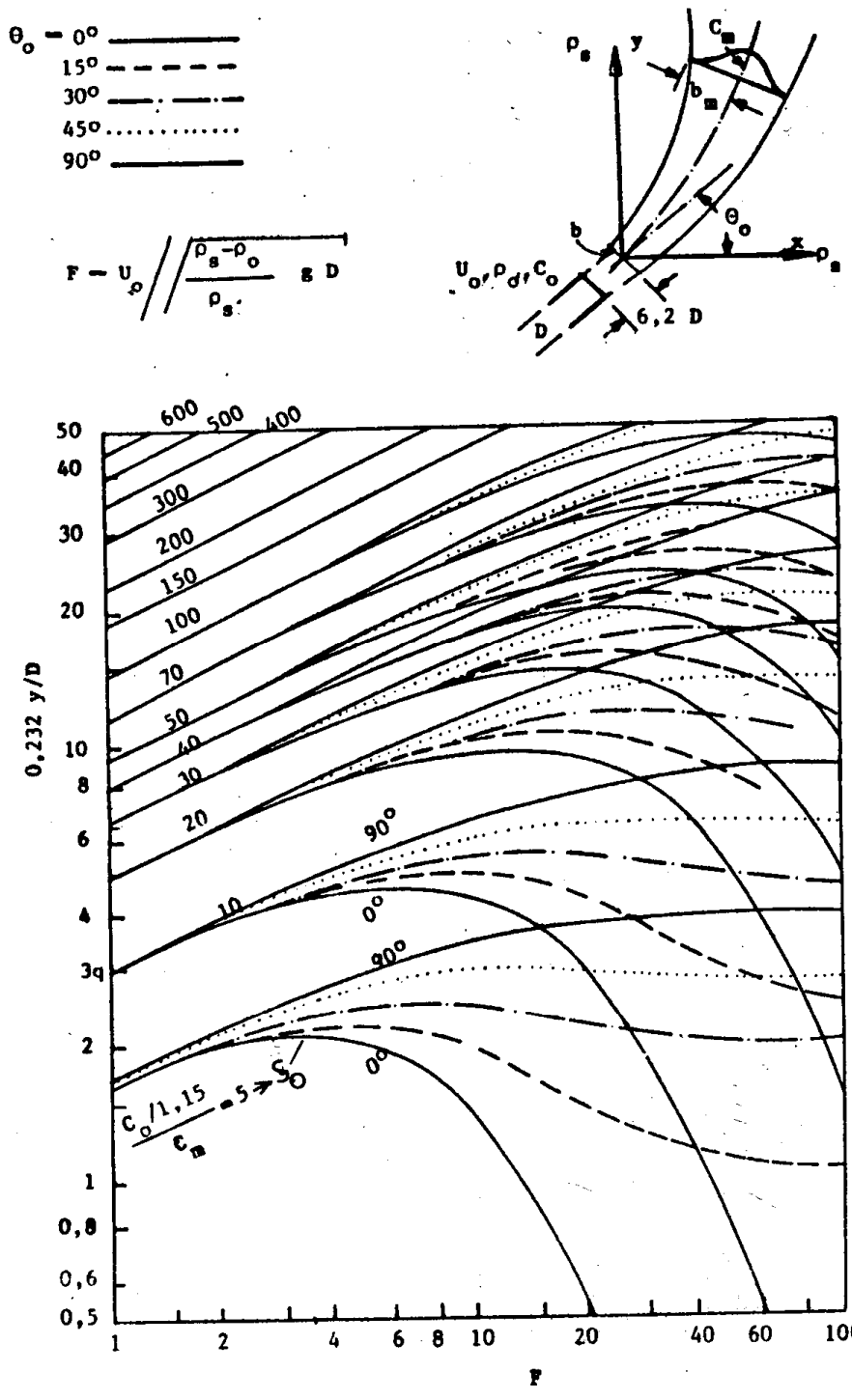
$$y/D < 0.89 F \text{ için } S_m = 0.54 F \cdot y^{0.44} \cdot (D \cdot F)^{-0.44} \quad (9.13)$$

$$y/D > 0.89 F \text{ için } S_m = 0.54 F (0.38 y \cdot D^{-1} \cdot F^{-1} + 0.68)^{1.67} \quad (9.14)$$

Difüzör delik ekseninin yatayla belli bir  $\theta_0$  açısı yapması halindeki aksnel seyrelmeler için de Şekil 9.5. daki grafik kullanılabilir.



Şekil 9.4. Durgun ve Üniform Yoğunluklu Ortamda Yatay Dairesel Jet Halinde Aksnel Seyrelmelerin Hesabı için Grafik (1)



Şekil 9.5. Atıksu Jetlerinin Yatay Eksenle  $\theta_0$  Açısı Yapması Halinde, Eksenel Seyrelmelerin Hesabı için Grafik (1)

## (2) Jetler Arasında Girişim Olması (Çizgisel kaynak) Halinde İlk Seyrelme Hesabı

Difüzör delikleri birbirine çok yakın olursa jetler arasında girişim meydana gelir. Bu halde atıksular adeta B kalınlıklı bir çizgisel kaynaktan deşarj ediliyor gibi düşünülür. Bu şeritvari yarığın alanı D çaplı deliğın alanına eşit alınır. Bu durumda  $(y/B) \cdot F^{-4/3} > 20$  için yatay dairesel jetlerdeki aksenal seyrelme,

$$S_m = 0.38 \cdot (y/B) \cdot F^{-2/3} \quad (9.15)$$

veya

$$S_m = 0.38 \cdot g^{1/3} \cdot q^{-2/3} \cdot y \quad (9.16)$$

ifadelerinden hesaplanabilir. Burada B,

$$B = (\pi \cdot D^2) / (4 \cdot L) \quad (9.17)$$

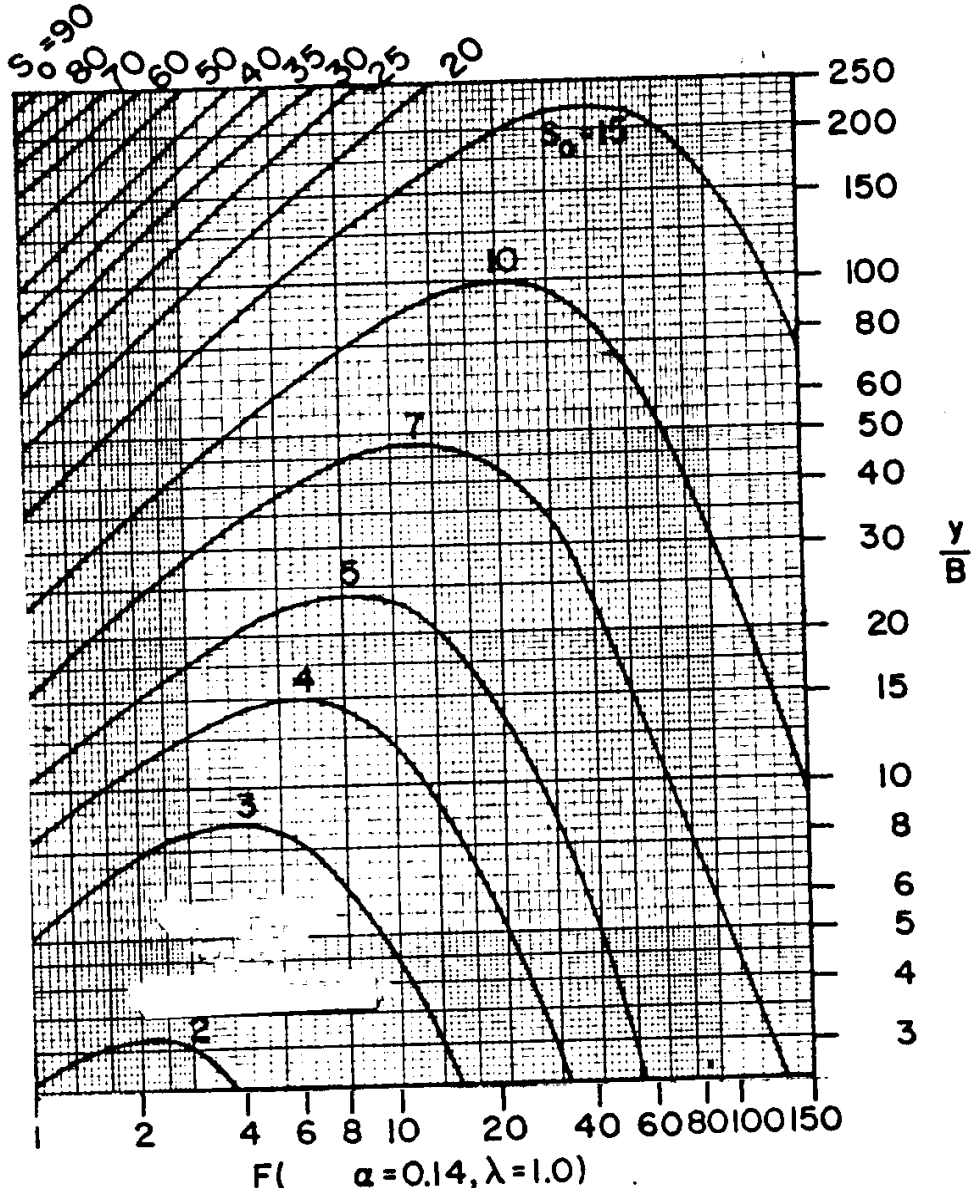
bağıntısı ile tanımlanmakta olup, çizgi kaynak formundaki girişimli jetlerin genişliğini göstermektedir. q ise birim difüzör boyu başına düşen debidir. B genişlikli yatay dairesel yarıktan yatay jet deşerjı halindeki aksenal seyrelmeler Şekil 9.6. dan hesaplanabilir.

Ortalama seyrelme de,

$$S_o = \sqrt{2} S_m \quad (9.18)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Yoğunluk tabakalaşması bulunmayan (üniform) ortama yatay dairesel jet deşarjında, her halükarda atıksu bulutu su yüzeyine çıkar. Belli bir derinlikte tutulma sözkonusu değildir.



Şekil 9.6. B Genişlikli Yarıktan Yatay Jet Deşarjı Halindeki Eksenel Seyrelmelerin Hesabı için Diagram ( Ortalama Seyrelme  $\sqrt{2S}$ 'e eşittir.)

#### Akıntı Yolu İle Seyrelme

Roberts (1977)  $3.7 < \frac{b}{h} < 30$  ve  $F < 0.1$  için akıntı yolu ile olan ilk seyrelmenin aşağıdaki denklemlerle hesaplanabileceğini göstermiştir.

$$S_m = 0.27 \frac{U \cdot h}{q} \cdot F^{-1/3} \quad (9.19)$$

$$\frac{S_m}{S_o} = 0.27 F^{-1/3} \quad (9.20)$$

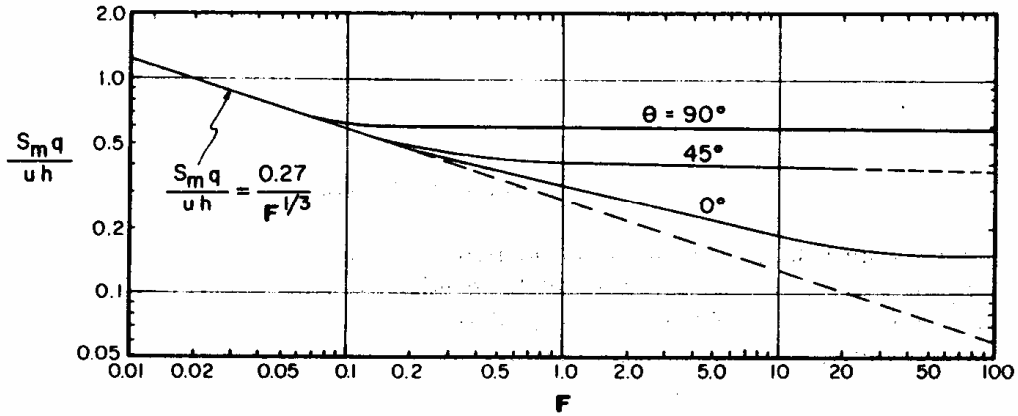
$$F = \frac{U^3}{g' \cdot q} \quad (9.21)$$

Burada,

- $S_o$  : ortalama ilk seyrelmeyi
- $U$  : akıntı hızını
- $b$  : akıntıya dik difüzör boyunu
- $h$  : su derinliğini
- $q$  : birim difüzör boyu başına debiyi
- $F$  : Akıntı Froude sayısını

göstermektedir.

$F > 0.1$  için akıntı yönü ile difüzör eksenini arasındaki  $\theta$  açısına bağlı olarak,  $S_m/S_o$  oranları Şekil 9.6 dan hesaplanabilmektedir.



Şekil 9.7. Çizgi Kaynaktan Jet Deşarjı Halinde Akıntı Yolu İle Seyrelme

Akıntı yolu ile olan ilk seyrelme daha basit olarak, süreklilik denklemi yardımı ile

$$Q_o \cdot S_o = U \cdot b \cdot h^* \quad (9.22)$$

ifadesinden de hesaplanabilir. Burada,

- $Q_o$  : difüzörden deşarj edilen toplam atıksu debisini
- $h^*$  : atıksu tarlası kalınlığını



göstermekte olup, diğer büyüklükler önceden tanımlandığı gibidir. Atıksu tarlası kalınlığı, yüzeyde tarla halinde  $h^* \approx h/5$ , batmış tarla söz konusu olduğunda ise  $h^* \approx y_{\max}/2$  alınabilir. Akıntının difüzör eksenine paralel olarak gelmesi özel durumunda, etkili difüzör boyu  $b \approx h/3$  alınabilir.

### 9.6.2 İkinci Seyrelme ( $S_2$ ) Hesabı

Denize deşarj edilen atıksular su yüzeyine veya tutulma seviyesine çıktıktan sonra akıntılara tabi olarak sürüklenirler. Bu esnada denizdeki mevcut türbülansın etkisiyle, deniz suyu ile atıksu tarlası arasında ilave karışımlar ve seyrelmeler meydana gelir. Deşarj noktasından (difüzörden) koruma bölgesine kadar olan taşınma esnasında meydana gelen seyrelmeye, türbülanslı difüzyon yoluyla seyrelme veya ikinci seyrelme denir.

Türbülanslı bir ortamda birim alandan geçen madde akısı, Fick kanununa göre,

$$Q_A = \varepsilon \frac{\partial c}{\partial x} \quad (9.23)$$

ifadesi ile verilir.

Burada,

$\varepsilon$  : Türbülanslı difüzyon katsayısıdır.

Yatay olarak hareket eden atıksu tarlasında korunamayan türden bir kirleticinin konsantrasyonu  $c$  ise, türbülanslı bir ortamda seyrelme,

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(U \cdot C) + \frac{\partial}{\partial y}(V \cdot C) + \frac{\partial}{\partial z}(W \cdot C) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_z \cdot \frac{\partial c}{\partial z}) - k C = 0 \quad (9.24)$$

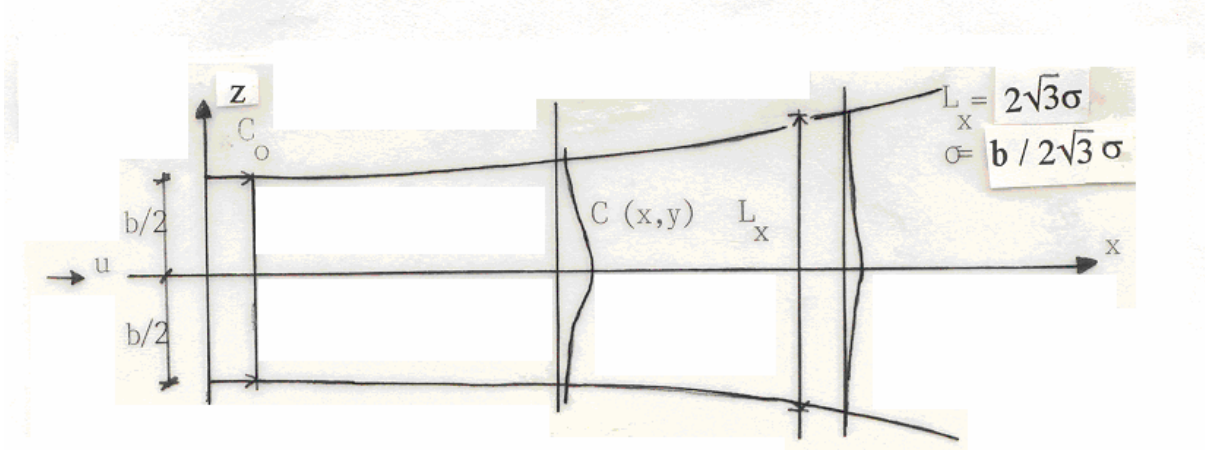
Burada,

$U, V, W$  : Sırası ile x, y ve z eksen doğrultularındaki zamansal ortalama hızları.

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  : Türbülans difüzyonu katsayılarını

$k$  : Kirleticinin giderilme hızı sabitini

göstermektedir.



Şekil 9.8. İkinci Seyrelmenin Şematik Gösterimi

Bu difüzyon denklemi aşağıdaki kabuller altında çözülmüştür.

- (1)  $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot f(L)$  veya  $L = f(x)$
- (2) Düşey karışım ihmal edilebilir ( $\varepsilon_z = 0$ )
- (3) Akıntı yönündeki boyuna karışım ihmal edilebilir. ( $\varepsilon_x = 0$ )
- (4) Akım kararlıdır ( $\partial c / \partial t = 0$ )
- (5) Koliform mikroorganizma konsantrasyonu giderimi 1. derece reaksiyona (-kc) uymaktadır.

Bu durumda (9.24) denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial x}(U C) - \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) + k C = 0 \quad (9.25)$$

şeklini alır. Bu diferensiyel denklemin çözümü için aşağıdaki sınır şartları esas alınmıştır.

$$x = 0 \text{ için } -\frac{b}{2} < y < \frac{b}{2} \quad C = C_0$$

$$|y| > \frac{b}{2} \quad C = 0$$

Söz konusu dispersiyon denklemin genel çözümü,

$$C = \varphi(x,y) \cdot e^{-kx/u} \quad (9.26)$$

dir. Korunamayan maddelerin zamanla azalmasını ifade eden  $e^{-kx/u}$  terimi ihmal edilerek  $C = \varphi(x,y)$  özel çözümü elde edilebilir. Denklem (5.66),  $C = \varphi(x,y)$  ve  $KC = 0$  için yeniden düzenlenirse,

$$\varepsilon \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = U \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (9.27)$$

olur. Türbülans difüzyonu katsayısının,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 f(x)$$

olduğu gözönünde tutulursa (9.27) ifadesi için,

$$\varepsilon_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{U}{f(x)} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (9.28)$$

elde edilir. Bu son denklem için Brooks (1960) tarafından aşağıdaki çözümler verilmiştir.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad \text{için} \quad L/b = (1 + 2\beta \frac{x}{b})^{1/2} \quad (9.29)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot L/b \quad \text{için} \quad L/b = 1 + \beta \frac{x}{b} \quad (9.30)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (L/b)^{4/3} \quad \text{için} \quad L/b = (1 + 2/3 \beta \frac{x}{b})^{3/2} \quad (9.31)$$

Burada,

- $\varepsilon_0$  :  $x = 0$  noktasındaki türbülans difüzyonu katsayısını
- $L$  :  $x$ 'in belli bir değeri için atıksu tarlası genişliğini
- $b$  :  $x = 0$  noktasındaki atıksu tarlası genişliğini
- $\beta$  :  $12 \varepsilon_0 / u \cdot b$  ile verilen boyutsuz bir sabiti

göstermektedir. Yapılan çok sayıda deneysel çalışma sonunda başlangıçtaki türbülans difüzyonu katsayısının,

$$\varepsilon_0 = \eta L^{4/3} \quad (9.32)$$

denklemeyle ifade edilebileceği ve Eddy difüzyonu katsayısı ( $\eta$ )'nin de ortalama bir değer olarak,  $\eta = 0.01$  alınabileceği gösterilmiştir (Arcevia, 1982).

Atıksu tarlasının  $x$  eksenini boyunca uğrayacağı ikinci seyrelme için Brooks çözümleri aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad \text{için} \quad S_2 = \text{erf} \{ 3 / (4 \cdot \beta \cdot x / b) \}^{-1/2} \quad (9.33)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot L/b \quad \text{için } S_2 = \text{erf} \left\{ \frac{3/2}{[(1+\beta x/b)^2 - 1]} \right\}^{-1/2} \quad (9.34)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (L/b)^{4/3} \quad \text{için } S_2 = \text{erf} \left\{ \frac{3/2}{(1+2/3 \beta x/b)^3 - 1} \right\}^{-1/2} \quad (9.35)$$

Burada erf (.), standart hata fonksiyonunu göstermekte olup değeri Tablo 9.6 'dan alınabilir.

Atıksu tarlasının x eksenini boyunca yatay hareketi sırasında konsantrasyon dağılımı normal olup,

$$C(x,y) = C_{\max} \cdot \exp \left( -\frac{1}{2} \cdot \frac{y^2}{\sigma^2} \right) \quad (9.36)$$

denklemini ile ifade edilebilir (Şekil 9.9). x eksenini üzerindeki aksel konsantrasyon da,

$$C(x,0) = C_{\max} = C_0 / S_2 \quad (9.37)$$

olacaktır. Burada  $C_0$ ,  $S_1$  seyrelmesi sonundaki kirletici konsantrasyonunu göstermektedir.

$C(x,y)$  dağılımının standart sapması,  $\sigma$ ,

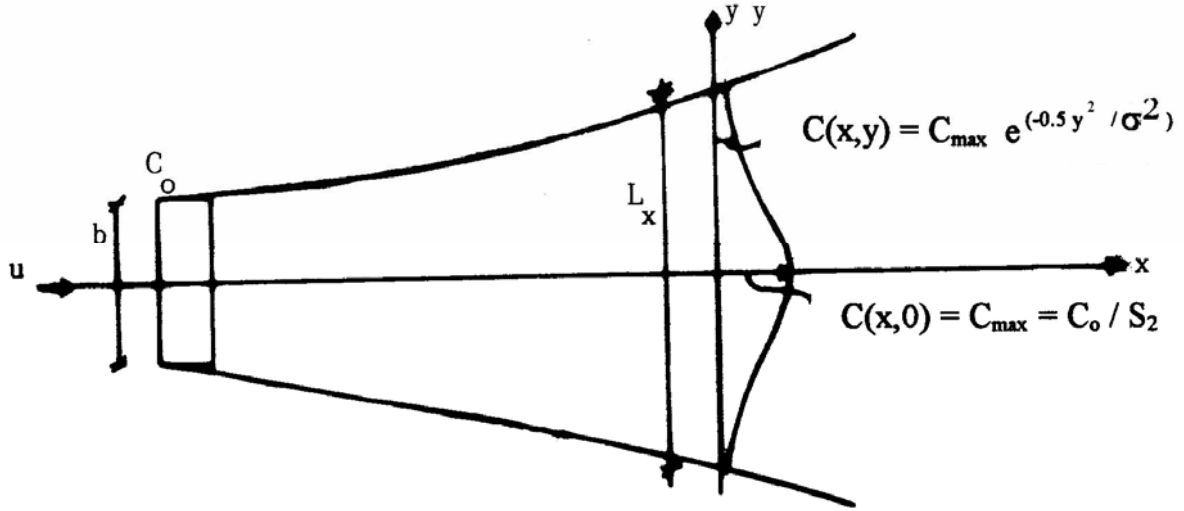
$$\sigma = \frac{L}{2\sqrt{3}} \quad (9.38)$$

alınabilir. Atıksu tarlası sınırı civarındaki konsantrasyon,

Tablo 9.6. Standart Hata Fonksiyonu Değerleri

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

x	erf x	x	erf x	x	erf x	x	erf x
0.00	0.00000 00000	0.50	0.52049 98778	1.00	0.84270 07929	1.50	0.96610 51465
0.01	0.01128 34156	0.51	0.52924 36198	1.01	0.84681 04962	1.51	0.96727 67481
0.02	0.02256 45747	0.52	0.53789 86305	1.02	0.85083 80177	1.52	0.96841 34969
0.03	0.03384 12223	0.53	0.54646 40969	1.03	0.85478 42115	1.53	0.96951 62091
0.04	0.04511 11061	0.54	0.55493 92505	1.04	0.85864 99465	1.54	0.97058 56899
0.05	0.05637 19778	0.55	0.56332 33663	1.05	0.86243 61061	1.55	0.97162 27333
0.06	0.06762 15944	0.56	0.57161 57638	1.06	0.86614 35866	1.56	0.97262 81220
0.07	0.07885 77198	0.57	0.57981 58062	1.07	0.86977 32972	1.57	0.97360 26275
0.08	0.09007 81258	0.58	0.58792 29004	1.08	0.87332 61584	1.58	0.97454 70093
0.09	0.10128 05939	0.59	0.59593 64972	1.09	0.87680 31019	1.59	0.97546 20158
0.10	0.11246 29160	0.60	0.60385 60908	1.10	0.88020 50696	1.60	0.97634 83833
0.11	0.12362 28962	0.61	0.61168 12189	1.11	0.88353 38124	1.61	0.97720 68366
0.12	0.13475 83518	0.62	0.61941 14619	1.12	0.88678 78902	1.62	0.97803 88884
0.13	0.14586 71148	0.63	0.62704 64433	1.13	0.88997 06704	1.63	0.97884 28397
0.14	0.15694 70331	0.64	0.63458 58291	1.14	0.89308 23276	1.64	0.97962 17795
0.15	0.16799 59714	0.65	0.64202 93274	1.15	0.89612 38429	1.65	0.98037 55850
0.16	0.17901 18132	0.66	0.64937 66880	1.16	0.89909 62029	1.66	0.98110 49213
0.17	0.18999 24612	0.67	0.65662 77023	1.17	0.90200 03990	1.67	0.98181 04416
0.18	0.20093 58390	0.68	0.66378 22027	1.18	0.90483 74269	1.68	0.98249 27870
0.19	0.21183 98922	0.69	0.67084 00622	1.19	0.90760 82860	1.69	0.98315 25869
0.20	0.22270 25892	0.70	0.67780 11938	1.20	0.91031 39782	1.70	0.98379 04586
0.21	0.23352 19230	0.71	0.68466 55502	1.21	0.91295 55080	1.71	0.98440 70075
0.22	0.24429 59116	0.72	0.69143 31231	1.22	0.91553 38810	1.72	0.98500 28274
0.23	0.25502 25996	0.73	0.69810 39429	1.23	0.91805 01041	1.73	0.98557 84998
0.24	0.26570 00590	0.74	0.70467 80779	1.24	0.92050 51843	1.74	0.98613 45950
0.25	0.27632 63902	0.75	0.71115 56337	1.25	0.92290 01283	1.75	0.98667 16712
0.26	0.28689 97232	0.76	0.71753 67528	1.26	0.92523 59418	1.76	0.98719 82752
0.27	0.29741 82185	0.77	0.72382 16140	1.27	0.92751 36293	1.77	0.98769 09422
0.28	0.30788 00680	0.78	0.73001 04313	1.28	0.92973 41930	1.78	0.98817 41959
0.29	0.31828 34959	0.79	0.73610 34538	1.29	0.93189 86327	1.79	0.98864 05487
0.30	0.32862 67595	0.80	0.74210 09647	1.30	0.93400 79449	1.80	0.98909 05016
0.31	0.33890 81503	0.81	0.74800 32806	1.31	0.93606 31228	1.81	0.98952 45446
0.32	0.34912 59948	0.82	0.75381 07509	1.32	0.93806 51551	1.82	0.98994 31565
0.33	0.35927 86550	0.83	0.75952 37569	1.33	0.94001 50262	1.83	0.99034 68051
0.34	0.36936 45293	0.84	0.76514 27115	1.34	0.94191 37153	1.84	0.99073 59476
0.35	0.37938 20536	0.85	0.77066 80576	1.35	0.94376 21961	1.85	0.99111 10301
0.36	0.38932 97011	0.86	0.77610 02683	1.36	0.94556 14366	1.86	0.99147 24883
0.37	0.39920 59840	0.87	0.78143 98455	1.37	0.94731 23980	1.87	0.99182 07476
0.38	0.40900 94534	0.88	0.78668 73192	1.38	0.94901 60353	1.88	0.99215 62228
0.39	0.41873 87001	0.89	0.79184 32468	1.39	0.95067 32958	1.89	0.99247 93184
0.40	0.42839 23550	0.90	0.79690 82124	1.40	0.95228 51198	1.90	0.99279 04292
0.41	0.43796 90902	0.91	0.80188 28258	1.41	0.95385 24394	1.91	0.99308 99398
0.42	0.44746 76184	0.92	0.80676 77215	1.42	0.95537 61786	1.92	0.99337 82251
0.43	0.45688 66945	0.93	0.81156 35586	1.43	0.95685 72531	1.93	0.99365 56502
0.44	0.46622 51153	0.94	0.81627 10190	1.44	0.95829 65696	1.94	0.99392 25709
0.45	0.47548 17198	0.95	0.82089 88073	1.45	0.95969 50256	1.95	0.99417 93336
0.46	0.48465 53900	0.96	0.82542 36496	1.46	0.96105 35095	1.96	0.99442 62755
0.47	0.49374 50509	0.97	0.82987 02930	1.47	0.96237 28999	1.97	0.99466 37246
0.48	0.50274 96707	0.98	0.83423 15043	1.48	0.96365 40654	1.98	0.99489 20004
0.49	0.51166 82612	0.99	0.83850 80696	1.49	0.96489 78648	1.99	0.99511 14132
0.50	0.52049 98778	1.00	0.84270 07929	1.50	0.96610 51465	2.00	0.99532 22650

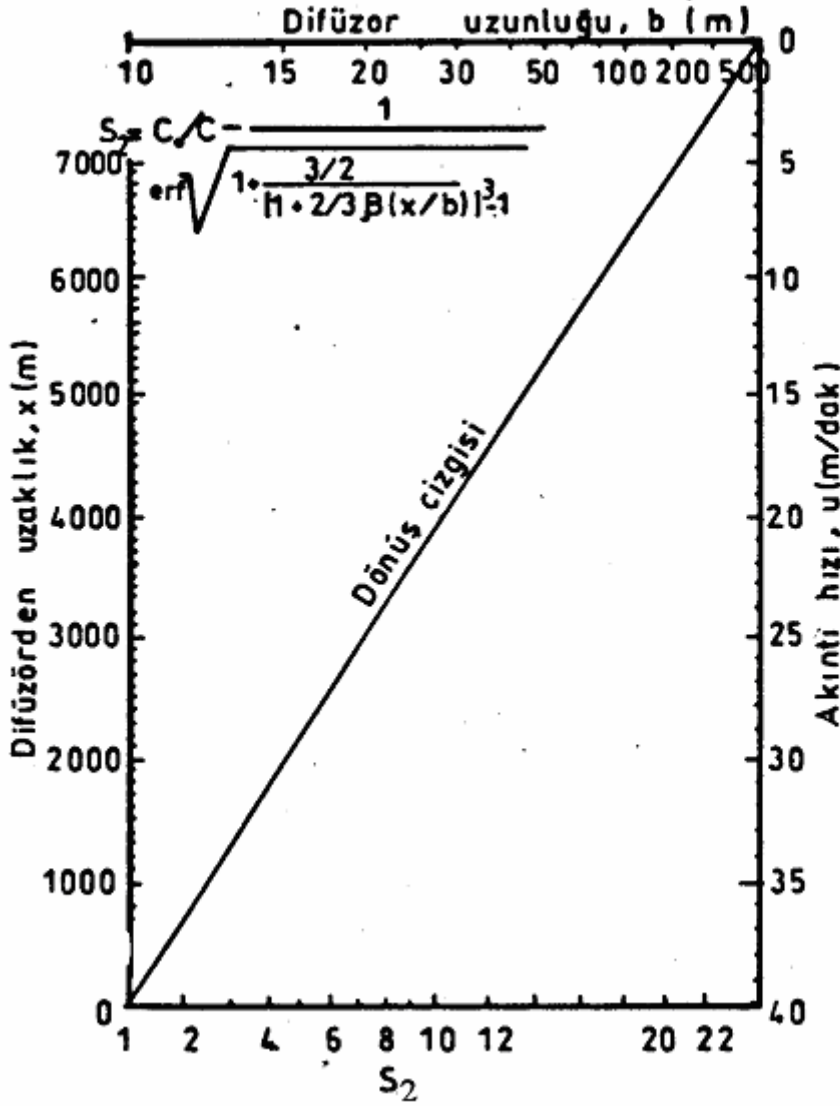


Şekil 9.9. Yatay Yönde Yayılan Atıksu Tarlasındaki Konsantrasyon Dağılımı

$$C(x, -) = e^{-3/2} \cdot \frac{L}{2} \cdot C_{\max} \quad (9.39)$$

dir. Dolayısı ile  $C_{\max}/C(x, -)$  oranı 4.5 dir.

İkinci seyrelmenin  $x, b$  ve  $u$  akıntı hızının fonksiyonu olarak hesabına imkan veren abaklarda geliştirilmiştir (Şekil 9.10). Özel bir hal olarak akıntının difüzör eksenine paralel yönde etkili olması durumunda, başlangıçtaki ( $x=0$ ) atıksu tarlası genişliği  $b=h/3$  alınabilir. Denklem (9.26) de bakterilerin zamanla yok olmasını ifade eden ikinci terimin yol açtığı ilave seyrelmenin üçüncü seyrelme hesabı Bölüm 9.6.3. de ayrıca verilmiştir.



Şekil 9.10. İkinci Seyrelme (S<sub>2</sub>) Hesabı İçin Abak

### 9.6.3 Üçüncü Seyrelme (S<sub>3</sub>) Hesabı

Denize deşarj edilen atıksu içerisindeki korunamayan türden maddelerin, atıksu tarlasının yatay hareketi esnasında güneş ışınlarının radyasyon tesiri, tuzluluk ve çökelen maddelere tutunma gibi etkiler sonucu seyreltilirler. Mikroorganizmaların su ortamındaki yok olma olayı, genel olarak aşağıdaki 1.derece reaksiyonu ile ifade edilir.

$$\frac{dC}{dt} = -k C \quad (9.40)$$

Bu diferensiyel denklemin çözümü sonunda,

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} = C_0 \cdot 10^{-kt} \quad (9.41)$$

ifadesi elde edilir.

Burada  $k$  ile gösterilen, bakteri azalma hızı katsayısı  $T_{90}$  parametresinin fonksiyonudur.  $T_{90}$ , mikroorganizmaların %90'nının yok olması için geçen süredir.  $T_{90}$  sonunda  $C_t = 0.1 C_0$  olacağından,  $k$  için,

$$k = 1/T_{90} \quad (9.42)$$

eşitliği yazılabilir.

$T_{90}$  değeri mevsimlik değişim gösterir. Bu sebeple yaz, kış ve bahar mevsimleri için ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilmesi gerekebilir.

Türkiye'nin çeşitli yerlerinde değişik zamanlarda ölçülen  $T_{90}$  değerleri Tablo 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.2. Türkiye'nin Muhtelif Denizlerinde Tesbit Edilen  $T_{90}$  Değerleri

Yer	Yıl	$T_{90}$ (Saat)
İstanbul	1968	0.8-1.7 (1.1)
Bodrum	1977	1.0
Erdek	1977	1.1
Ayvalık	1977	0.5-0.8
İskenderun	-	1.1
Karadeniz	1988	2.0-2.5
Ege Denizi	-	1.0-1.5

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği :

Ege Denizi ve Akdeniz	1.5
Karadeniz	2.0

Denklem (9.41) e göre  $t$  taşınma müddeti sonundaki mikroorganizma konsantrasyonu,

$$C_t = C_0 \cdot 10^{-t/T_{90}} \quad (9.43)$$

olduğundan, üçüncü seyrelme,  $S_3$ ,

$$S_3 = \frac{C_0}{C_t} = 10^{t/T_{90}} \quad (9.44)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada  $t$  taşınma müddeti,  $x$  taşınma mesafesi ve  $u$  akıntı hızına bağlı olarak,

$$t = x / u \quad (9.45)$$

ifadesiyle verilir.



Yukarıdaki üç ayrı seyrelme sonucu meydana gelen toplam seyrelme ( $S_T$ ),

$$S_T = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (9.46)$$

olarak hesaplanır. Deşarj edilen atık suyun başlangıçtaki koliform konsantrasyonu  $C_0$  ise, koruma bölgesi sınırındaki koliform konsantrasyonu ( $C$ ),

$$C = C_0 / S_T \quad (9.47)$$

olur. Bu şekilde bulunan  $C$  konsantrasyonu, koruma bölgesi sınırı için öngörülen standardı aşmayacak şekilde deşarj hattı uzunluğu belirlenir.

## UYGULAMALAR

### Problem (9.1)

*Bir atıksu deniz deşarjı sisteminde 1., 2. ve 3. seyrelmeleri ( $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$ ) sırası ile 100, 10 ve 1000 dolaylarında olacağı tahmin edilmektedir. Bu atıksu içerisindeki başlangıç konsantrasyonu 10 mg/l olan  $C_0$  ve  $10^8/100$  ml olan koliform mikroorganizmaların,*

a) Difüzörün tam üzerinde ve deniz yüzeyinde

b) Koruma bölgesi sınırındaki konsantrasyonlarını hesaplayınız. Alıcı ortamın yoğunluğunun üniform (derinlik boyunca sabit) olduğu kabul edilecektir.

**Çm**

$$a) C_{Li} = \frac{C_0}{S_1} = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ mg/l}$$

$$C_{koli} = \frac{C_0}{S_1} = 10^8 / 100 = 10^6 \text{ mg/l}$$

$$b) C_{Li} = \frac{C_0}{S_1 \cdot S_2} = \frac{10}{100 \cdot 10} = 0.01 \text{ mg/l (korunan madde)}$$

$$C_{koli} = \frac{C_0}{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3} = \frac{10^8}{100 \times 10 \times 1000} = 100/100 \text{ ml}$$

### Problem (9.2)

İç çapı  $\phi 1000$  mm lik bir atıksu deşarj hattı ile ortalama debisi  $1.57 \text{ m}^3/\text{sn}$  olan bir şehrin atıksularının  $-25$  m derinlikten,  $\rho_a = 1.02 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu bir alıcı ortama deşarjı planlanmaktadır. Evsel atıksuyun yoğunluğunu  $\rho_o = 0.999 \text{ gr/cm}^3$  alarak,

- $D = 1000$  mm lik tek bir delikten deşarj hali için minimum ve ortalama ilk seyrelmeleri,
- $S_m = 30$  olması için gerekli deşarj derinliğini,
- $y = 25$  m de  $S_m = 30$  olması için atıksuyun delikten çıkış hızını,
- üzerinde  $D = 440$  mm çaplı  $n = 3$  adet delik bulunan bir difüzör olması halinde ilk seyrelmeyi hesaplayınız.

### Çm

$$\text{a) } U_o = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 1.57}{\pi \times 1^2} = 2 \text{ m/sn}$$

$$F = \frac{U_o}{\sqrt{g' D}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{1.02 - 0.99}{1.02} \cdot 9.81 \cdot 1}} = \frac{2}{\sqrt{0.20 \cdot 1}} = 4.47$$

$$F' = 1.07 \times 4.47 = 4.79$$

$$\frac{y}{D} = \frac{25 - 0.5}{1} = 24.5 \quad \left. \vphantom{\frac{y}{D}} \right\} \text{ Şekil 9.4 ten : } S_m = 13, S_0 = 2 \times 13 = 26$$

$$\text{b) } \frac{y - 0.5}{D} = 50 \quad \left. \vphantom{\frac{y - 0.5}{D}} \right\} \text{ için Şekil 9.4 ten } S_m = 30 \text{ bulunur.}$$
$$F' = 4.79$$

Bu durumda,  $y = 50 \times 1 + 0.5 = 5.05$  m olmalıdır. Dolayısı ile deşarj hattı boyu uzatılmalıdır.

$$\text{c) } \frac{y - 0.5}{D} = 24.5 \quad \left. \vphantom{\frac{y - 0.5}{D}} \right\} \text{ Şekil 9.4 ten } F' = 95 \text{ bulunur.}$$
$$S_m = 30$$

$$F = \frac{F'}{1.07} = 88.8 = \frac{U_o}{\sqrt{g' \cdot D}} = \frac{U_o}{0.45} \rightarrow U_o = 39.77 \text{ m/sn}$$

bulunur ki böyle bir hız pratik olarak sağlanamaz.

d)  $D_1 = 440$  mm,  $n = 3$  delik

$$Q_1 = \frac{Q}{3} = \frac{1.57}{3} = 0.52 \text{ m}^3/\text{sn}, U_o = \frac{u \cdot 0.52}{\pi \cdot 0.44^2} = 3.5 \text{ m/s}$$

$$F = 11.74 \longrightarrow F' = 1.07 \times 11.74 = 12.56$$

$$\begin{array}{l} y \quad 24.5 \\ D_1 \quad 0.44 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} y \\ D_1 \end{array}} \right\} \text{şekil 5.6 den } S_m = 30 ; S_0 = 60$$

Delik sayısının artırılması (difüzör teşkili) seyrelmeyi artırır ve daha ekonomik çözüm verir. Difüzör boyu (b), difüzör hariç deşarj hattı uzunluğu (L), deniz tabanı eğimi (m), derinlik (y) ve ilk seyrelme ( $S_1$ ) arasında,

$$dS_1/db$$

$$\text{---} = r = 2/3 \text{ (y/(m.b))}$$

$$dS_1/dL$$

eşitliği yazılabilir. Şayet,

$r > 1$  ise difüzör boyunun uzatılması,

$r < 1$  ise derinliğin (boru hatı boyunun) artırılması daha ekonomik çözüm verir.

$r = 1$  halinde bu iki durumdan biri veya ikisi birlikte tercih edilebilir.

### Problem (9.3)

Aşağıdaki verileri kullanarak bir kasabanın evsel atıksularını denize deşarj edecek deşarj hattını boyutlandırınız.

Proje nüfusu	: 30.000 kişi
Birim atıksu debisi	: 200 l/N.gün
Deşarj derinliği	: -25 m (sahilden 650 m uzakta)
Piknoklin derinliği	: -10 m

Akıntı Hızları,

$$u_1 = 0.06 \text{ m/sn (Piknoklin seviyesinde, difüzöre dik doğrultuda)}$$

$$u_2 = 0.04 \text{ m/sn (Piknoklin seviyesinde sahil yönünde)}$$

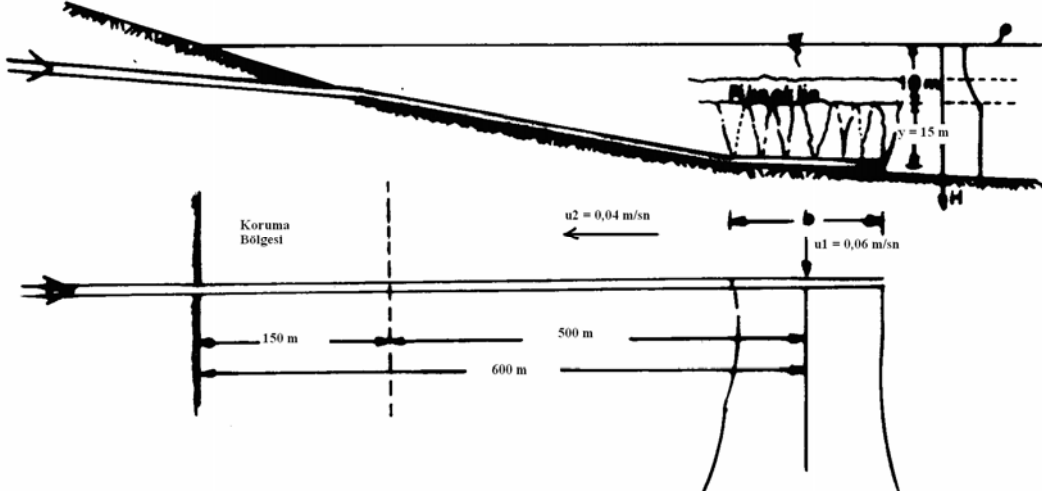
$$T_{90} = 1.1 \text{ saat}$$

Koruma bölgesi genişliği : 150 m

Ham atık suyun başlangıçındaki koliform konsantrasyonu ( $C_0$ ) =  $10^6$ /100 ml.

## Örn

Problemin verileri aşağıdaki şekil üzerinde gösterilmiştir.



Ortalama atık su debisi  $Q_{24} = 30.000 \times 200 \times 10^{-3} = 6000 \text{ m}^3/\text{gün}$

$$Q = 0.0694 \text{ m}^3/\text{s}$$

Deşarj borusu enkesit alanı :  $A = Q / V = 0.0694 \text{ m}^3/\text{s} / 1.0 = 0.0694 \text{ m}^2$

$$\text{Boru apı: } D = \left( \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot l} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \times 0.0694}{\pi \times 1.0} \right)^{1/2}$$

$$D = 300 \text{ mm} , \quad V = 0.98 \text{ m/sn}$$

Difüzör uzunluęu için  $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$  debi bařına 2-3 (2) m difüzör uzunluęu dűřünülererek, toplam difüzör boyu,

$$b = (6000/1000) \times 2 = 12 \text{ m}$$

elde edilir.

### *İlk Seyrelme Hesabı*

a) Difüzör eksenine dik doğrultuda,

$$Q \cdot S_1 = u_1 \cdot b \cdot h^*$$

$$S_1 = \frac{0.06 \times 12 \times (25-10) \cdot 0.5}{0.0694 \text{ m}^3/\text{sn}} = 78$$

b) Boru eksenine paralel doğrultuda,

etkili difüzör boyu,  $b = h/3$  alınarak,

$$S_1 = \frac{0.04 \times 8 \times (25-10)0.5}{0.0694} = 35$$

Akıntı doğrultusu ile difüzör,  $\alpha$  gibi bir açı yapıyorsa, hesaplarda akıntı doğrultusuna dik difüzör boyu gözönünde tutulur.

### ***İkinci Seyrelme Hesabı***

$$\varepsilon_0 = 0.01 (800)^{4/3} = 74.1$$

$$\beta = 12 \times 74.1 / (4 \times 800) = 0.278$$

$$S_2 = \frac{1}{\text{erf}\left(\frac{3/2}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b}\right)^3 - 1}\right)^{1/2}} = 1/\text{erf}(0.0273)$$

$$\text{erf}(0.0273) = 0.05 \quad (\text{Tablo 9.6})$$

olduğundan,

$$S_2 = 1/0.05 = 20$$

dir. İkinci seyrelme şekil 5.16 ten de bulunabilir.

### ***Üçüncü Seyrelme Hesabı***

$$t = \frac{x}{u} = \frac{500}{0.04} = 12500 \text{ sn} = 3.47 \text{ saat}$$

$$S_3 = 10^{t/T90} = 10^{(3.47/1.1)} = 1427 \text{ bulunur. Toplam seyrelme}$$

$$S_T = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 35 \times 20 \times 1427 = 998900$$

Koruma bölgesi sınırındaki koliform mikroorganizma konsantrasyonu,

$$C = \frac{C_0}{S_T} = \frac{10^6}{998900} \cong 1/100 \text{ ml.} < 1000/100 \text{ ml.}$$

dir. Bu netice, toplam uzunluğu 650 m ve ucunda 12 m'lik difüzör kısmı bulunan bir deşarj hattının, koliform standartlarını sağlayacak derecede bir seyrelme temin ettiğini gösterir.

## **KAYNAKLAR**

- (1) İ., Öztürk, 2002. Atıksu ön arıtma ve deniz deşarjı sistemleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- (2) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill International Editions.
- (3) WPCF Manual of Practice No.8. 1991. Wastewater Treatment Plant Design, ASCE, NY.
- (4) Murphy K.L., and Wilson R.W. 1981. Evaluation of biological nitrification – Denitrification at Penticton, Environment Canada, British Columbia.
- (5) Proceedings of NATO/CCMS workshop on advanced wastewater treatment. 1974. Ontario, Canada.