

21909

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERALTI SULARINDA BULUNAN UÇUCU ORGANİKLERİN
DOLGULU KULELERDE GİDERİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çev.Müh. Ali TELLİOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Haziran 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Temmuz 1992

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.İsmail TORÖZ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Olcay TUNAY

: Doç.Dr.Hasan Ali SAN

TEMMUZ 1992

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

Son yıllarda Çevre Mühendisliği uygulamalarında, uçucu organik maddeler (VOC'lar) olarak isimlendirilen kimyasal maddelerin sulardan nasıl uzaklaştırılabileceğinin belirlenmesi büyük önem kazanmıştır. Çünkü bu maddelerin insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği yapılan bilimsel çalışmalarla belirlenmiştir.

Su kaynaklarının hızla azaldığı dünyamızda, özellikle yeraltı ve yüzeysel sularda karşılaşılan uçucu organiklerle, içme sularının dezenfeksiyonu sonucu meydana gelen Trihalometan (THMs) bileşiklerinin uygun bir metod kullanılarak sulardan uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, sularda bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesinde kullanılan yöntemler araştırılmış, bu yöntemlerden en uygunu olan, hava ile sıyırma teorisini esas alan dolgulu kuleler üzerinde durulmuş, hesap ve tasarımlar yapılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki her aşamada, değerli görüş ve düşünceleriyle bana yol gösteren, her türlü yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. İsmail TORÖZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca araştırmalarım sırasında bana her türlü imkan ve desteği sağlayarak yardımcı olan aileme, bilgisayar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Barkın YAZICIOĞLU'na ve tezimin yazımı sırasında emeği geçen Gül KAYA'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Haziran, 1992

Ali TELLİOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	11
SEMBOLLER LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	V111
TABLO LİSTESİ	1X
ÖZET	X
SUMMARY	X1
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Tanıtılması	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
BÖLÜM 2. İÇME VE YERALTI SULARINDA UCUCU ORGANİKLER	4
2.1. Uçucu Organiklerin Meydana Geliş Şekilleri...	4
2.2. Uçucu Organiklerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi	4
2.3. Arıtma Alternatifleri	7
BÖLÜM 3. HAVA İLE SIYIRMA	8
3.1. Giderme Mekanizması ve Teorisi	8
3.2. Dolgulu Kulede Hava İle Sıyırma	9
3.2.1. Tasarım Parametreleri	9
3.2.2. Kütle Transferi	10
3.2.2.1. İki-Film Teorisi	12
3.2.3. Kütle Transfer Katsayısı Modelleri	14
3.2.4. İşletme Özellikleri	18
3.2.4.1. Dolgu Malzemeleri	21
3.2.4.2. Sıvı Fazın Dağıtılması	27
3.2.4.3. Basınç Düşüşü	27
BÖLÜM 4. DOLGULU KULELERDE TASARIM ESASLARI	30
4.1. Genel	30
4.2. Tasarım Esasları	31
4.2.1. Henry Sabiti	32
4.2.2. Maddenin Sıvı Fazda Molekül Difüzyon Katsa- yısı	34
4.2.3. Maddenin Gaz Fazda Molekül Difüzyon Katsayısı	35
4.3. Tasarım Programında İzlenen Yol	37

4.3.1. Suda Giderilecek Kirletici Maddenin Seçimi .	39
4.3.2. Dolgu Malzemesinin Seçimi	39
4.3.3. Minimum Hava-Su Oranının Belirlenmesi	39
4.3.4. Sıyırma Faktörünün Seçimi	39
4.3.5. İşletme Halinde Hava-Su Oranın belirlenmesi	40
4.3.6. Basınç Düşmesi Seçimi	40
4.3.7. Kule Üzerindeki Hava ve Su Yükünün Belirlen- mesi	40
4.3.8. Kule Çapının Belirlenmesi	42
4.3.9. Kütle Transfer Katsayısının Elde Edilmesi	42
4.3.10. Transfer Birim Yüksekliğinin Belirlenmesi .	43
4.3.11. Transfer Birimlerinin Sayısının Belirlenmesi	43
4.3.12. Dolgu Yüksekliğinin Hesaplanması	43
BÖLÜM 5. TASARIM SONUÇLARI	45
5.1. Genel	45
5.2. Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
BÖLÜM 6. DOLGULU KULELERDE MALİYET HESABI	77
6.1. Genel	77
6.2. Dolgulu Kulelerde İlk Yatırım Maliyeti	77
6.3. Dolgulu Kulelerde İşletme Maliyeti	79
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
EKLER	82
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

KULLANILAN SEMBOLLER

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
J_A	A maddesinin kütle transfer hızı	kmol/sn
K_L	Sıvı fazı esas olan toplam kütle transfer katsayısı	m/sn
a_t	Dolgu malzemesinin birim hacmindeki ara yüzey alanı	m ² /m ³
C_A^*	Sistem sıcaklık ve basıncında A maddesinin denge konsantrasyonu	kmol/m ³
C_A	Kolonunun herhangi bir noktasında A maddesinin konsantrasyonu	kmol/m ³
K_G	Gaz fazı esas olan toplam kütle transfer katsayısı	m/sn
P	A maddesinin gaz fazdaki kısmı bas.	atm
P_A^*	Sistem sıcaklık ve basınçta denge halinde A maddesinin kısmi basıncı	atm
K_L	Sıvı fazı esas olan toplam kütle transfer katsayısı	m/sn
K_G	Gaz faza ait kütle transfer katsayısı	m/sn
H^*	Henry Sabiti	Boyutsuz
D_L	Maddenin sıvı fazda difüzyon katsayısı	m ² /sn
μ_L	Sıvı fazın vizkozitesi	kg/m.sn
ρ_L	Sıvı fazın yoğunluğu	kg/m ³
L_m	Sıvı faz kütleli debisi	kg/m ² .sn
D_G	Maddenin gaz fazda difüzyon katsayısı	m ² /sn
G_m	Gaz faz kütleli debisi	kg/m ² .sn
ρ_G	Gazın yoğunluğu	kg/m ³
μ_G	Gazın vizkozitesi	kg/m.sn
ϵ	İşletme porozitesi	Boyutsuz

ζ_D	Kuru haldeki porozite	Boyutsuz
ϕ_t	Toplam su tutma	Boyutsuz
N_R	Reynolds sayısı	Boyutsuz
N_F	Froude sayısı	Boyutsuz
N_W	Weber sayısı	Boyutsuz
a_w	Dolgu malzemesi ıslak alanı	m^2/m^3
T_c	Dolgu malzemesinin kritik yüzey gerilimi	kg/sn^2
T_w	Sıvının yüzey gerilimi	kg/sn^2
d_p	Dolgu malzemesinin nominal çapı	m
M_L	Sıvının moleküler ağırlığı	$kg/k.mol$
ψ	Sıvı hava arasında birleşme faktörü	Boyutsuz
T	Su sıcaklığı	$^{\circ}K$
V_c	Bileşiğin molal hacmi	$m^3/kmol$
M_A	Havanın molekül ağırlığı	$kg/kmol$
M_B	Bileşiğin molekül ağırlığı	$kg/kmol$
P_t	Kule içindeki mutlak basınç	N/m^2
Z	Çarpışma halinde moleküler parçalanma	Boyutsuz
K	Boltzman sabiti	J/K
ζ_{AB}	Moleküler çekim enerjisi	Boyutsuz
T_b	Bileşiğin kaynama noktası	$^{\circ}K$
G	Hacimsel birim gaz yükleme hızı	m^3/sn
L	Hacimsel birim sıvı yükleme hızı	m^3/sn
C_o, C	Giriş ve çıkış konsantrasyonları	Mg/L
R	Sıyırma faktörü	Boyutsuz
G'	Hava akış hızı	m^3/sn
L'	Su akış hızı	m^3/sn
C_f	Dolgu faktörü	l/m

g_c	Dönüşüm faktörü	Boyutsuz
Q	Debi	m^3 / sn
D	Kule çapı	m
EF	Emniyet faktörü	Boyutsuz
p_{drop}	Basınç düşmesi	$N/m^2 / m$
G/L	Hava-su oranı	Boyutsuz
$k_L a$	Kütle transfer katsayısı	$1/sn$
HTU	Transfer birim yüksekliği	m
NTU	Transfer birimlerinin sayısı	Boyutsuz
Z	Dolgu yüksekliği	m

ŞEKİL LİSTESİ

3.1.	Şematik dolgulu kule	19
3.2.	Dolgulu kule sistemi	21
3.3.a.	Gelişigüzel yerleştirilen dolgu malzemeleri	23
3.3.b.	Düzenli yerleştirilen dolgu malzemesi	24
3.4.	Basınç düşmesi eğrileri	28
4.1.	Difüzyon için çarpışma fonksiyonu	37
4.2.	Program akış diyagramı	38
5.1.	Sıyırma faktörü, dolgu yüksekliği ilişkisi	69
5.2.	Debi kule çapı ilişkisi	70
5.3.	Hava-su oranı dolgu yüksekliği ilişkisi	71
5.4.	Sıyırma faktörü kütle transfer katsayısı ilişkisi	72
5.5.a.	Bromoform için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	73
5.5.b.	Kloroform için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	73
5.5.c.	Trikloroetilen için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	74
5.5.d.	Metilenklorür için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	74
5.5.e.	Benzen için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	75
5.5.f.	Tetrakloroetilen için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	75
5.5.g.	Karbontetraklorür için hava-su oranı kütle transfer katsayısı ilişkisi	76

TABLO LİSTESİ

2.1.	Uçucu organiklerin içme sularında bulunmasına mücadele edilen sınır değerleri	7
3.1.	Dolgu malzemesi özellikleri	25
4.1.	Üzerinde çalışılan maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	30
4.2.	Farklı sıcaklıklarda hava ve suya ait fiziksel ve kimyasal özellikler	31
4.3.	Henry sabiti sıcaklık bağıntıları	34
4.4.	Henry sabiti sıcaklık bağıntıları	34
5.1.	Sıcaklıkla değişen, sıvı ve gaz fazı difüzyon değerleri	47
5.2.	Bromoform için hesaplanmış tasarım değerleri	48
5.3.	Trikloroetilen için hesaplanmış tasarım değerleri	51
5.4.	Benzen için hesaplanmış tasarım değerleri	54
5.5.	Metilenklorür için hesaplanmış tasarım değerleri	57
5.6.	Tetrakloroetilen için hesaplanmış tasarım değerleri	60
5.7.	Karbontetraklorür için hesaplanmış tasarım değerler	63
5.8.	Kloroform için hesaplanmış tasarım değerleri	66
6.1.	Dolgulu kulenin boyutuna göre değişen maliyet değerleri	78
6.2.	Temiz su haznesi maliyet değerleri	78
6.3.	Pompa maliyet değerleri	78
6.4.	Basınç düzmelerine bağlı olarak blower maliyet değerleri	79
6.5.	Dolgu derinliğine bağlı olarak pompa işletme maliyet değerleri	79
6.6.	Basınç düşmesine bağlı olarak blower işletme maliyet değerleri	79

ÖZET

Sularda bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesi oldukça önemli bir konudur. Zira, bu maddelerin insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri yapılan bilimsel çalışmalarla gözlenmiştir. Ülkemizde, genel olarak içme suyu ihtiyacı yeraltı ve yüzeysel sulardan karşılanmaktadır. Öyle ise, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen bu maddelerin sulardan uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, sularda bulunan ve üzerinde en fazla araştırma yapılan 7 uçucu organik madde üzerinde durulmuş, bunların bazılarının insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden bahsedilmiş ve bu maddelerin sulardan uzaklaştırılması için yöntemler araştırılmıştır. Sonuç olarak bu yöntemlerin en uygunu olan hava ile sıyırma metodunun üzerinde çalışmalar yapılmış ve bu metodun teorisinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Daha sonra çalışma prensibi hava ile sıyırma olan dolgulu kuleler gözönüne alınarak farklı giderme verimi, farklı sıcaklık farklı sıyırma faktörü ve farklı basınç düşmeleri gibi değişen koşullarda bilgisayar destekli hesap ve tasarımlar yapılmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde, uçucu organik maddelerin meydana geliş şekilleri ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde uçucu organik maddelerin sulardan giderilmesinde kullanılan hava ile sıyırma yöntemi tüm ayrıntıları ile incelenmiş ve dolgulu kuleler üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde hava ile sıyırma prensibi ile çalışan dolgulu kulelerde tasarım esasları incelenmiştir. Beşinci bölümde hesap sonuçları tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Altıncı bölümde maliyet hesapları üzerinde durulmuştur.

SUMMARY

A STUDY ABOUT REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM GROUND WATER IN PACKED TOWERS.

As it known, water is the most important factor for the living organism. In recent years, because of the industrilazition and increasing the population, the necessity of the water has been gradually increased. As a result of this, has been faced water pollution problems. However using a clean water is an natural rights for the people.

It is the fact that, " ground . . water has to be considered as an drinking water source which other water source are gradually decreasing in our world. Consequently, ground waters has begun to considered as an important natural water source in recent years.

In USA, 125.000-300.000 m³ drinking water had been obtained from :ground . . between 1950 and 1990. Today in USA, 1/4 of the fresh water are being obtained from . ground and water need of the %50 people are obtained from underground.

In Turkey, according to the DSI datums, annual drawable water potential is 11.6 billion m³. But allocated of these water is only 6.6 billion m³. Lost of the . . -ground waters are clean and suitable for use. But in recent years, the pollution of these water has increased and faced regional and local pollution problems. It has been determined more than 200 pollutant in some water resources and the contamination of drinking water by low molecular weight, volatile organic chemicals has been reported in many areas of the world. It is known that, contaminants which are found in . . ground and surface waters are volatile and harmful for the human life.

Concern over this type of drinking water contamination led the U.S. Environmental protection Agency (EPA) to propose maximum contaminant levels for eight volatile organic compounds and recommended maximim contaminant levels in drinking waters.

As a result of scientific studies, because of having a volatile and harmful properties of these compounds have

to be removed from the waters.

In this study, it has been investigated methods of removal volatile organic compounds from the water and made a design in Packed Tower which working principle is based on air stripping, that is the best method for removing volatile organic compounds from the water. Design is based on computer programme.

In the first chapter, it is given introduction of the study, aim and the contents.

In the second chapter, effect of the volatile organic compounds on human life and treatment alternatives has been investigated. Some of the volatile organic compounds are formed by reacting with chlorine of some organic in a form of humic and fulvic acid. At the same time it is known that Trihalomethanes (THMs) is formed in a disinfection process. Other sources of volatile organic compounds which contaminate the water are different production process and distribution, urbanization and agriculture activities and the last, litter leakage water.

Removal of volatile organic compounds from water is an important subject. Because existence of these organics in water which is vital for people form a great danger for human life. These organics' negative effects on human life has been proved by the scientific studies. It has been seen that some of these organics effects on a nervous system, stomach and liver. It also has been seen that some of volatile organic compounds cause cancer and effect on human body.

In a raw or finished water, some volatile compounds can be found. Main of volatile organics and often seen in waters as follows.

- Trichloroethylene
- Tetrachloroethylene
- 1,2-Dichloroethane
- 1,1,1- Trichloroethane
- Carbon tetrachloride
- Vinyl chloride
- Chloroform

Some countries have certain standards for these compounds and have an acceptable maximum volatile organic compounds concentration. For example for. Trichloroethylene, acceptable maximum concentration is 0,005 mg/L in USA

and 0,03 mg/L for the world health organisation. In Turkey, there is no standards for any volatile organic compounds. Other acceptable concentrations changing with countries can be seen table 2.1.

There are different methods in order to remove volatile organics which are found in waters. These are can be explained as follows,

- Air stripping
- Reverse osmosis
- Ozonation
- Oxidation with hydrogen peroxide
- Ultraviolet radiation
- Land Treatment

Between these methods, air-stripping is the best and found place itself in most applications. It has been observed that, by using air-stripping method can be reached high removal efficiencies.

In the third chapter, air, stripping is explained in details. Working principle of the air-stripping process is to provide water to get in touch with air in a close position. Then it can be seen that volatile organic compounds will pass to gas phase from the liquid phase.

The kinetic theory of gases states that molecules of dissolved gases can readily move between the gas and liquid phases. Consequently, if water contains a volatile contaminant in excess of its equilibrium level, the contaminant will move from the liquid phase to the gas phase until equilibrium is reached. Leaving from the equilibrium level cause mass transfer.

Equilibrium concentration of the substance depends on Henry constant. Henry's law gives idea about action tendency between gas and liquid phases, so Henry constant can be defined as an action coefficient. Henry constant is quite important while designing the packed tower so it is recommended to determine its value from experimental studies. Air-stripping can be done different ways. These, are,

- Packed Tower Aeration
- Diffused Aeration
- Tray Aeration
- Spray Aeration

In this study, Packed Towers been considered because of the best way and high removal efficiency. The design of an air stripping column can also be described mathematically, the equations have been well-developed in the literature. The equations are derived by setting up a mass balance in the air stripper.

Four basic assumptions are incorporated in these equations.

1, The influent air is free of volatile organic compound. (VOCs)

2- Plug flow conditions hold for the air water flow, the use of an inlet water distribution system helps to preserve this condition.

3- The changes that occur in the liquid and air volumes during mass transfer are negligible.

4- Henry's law holds true for these conditions.

To obtain the best stripping, it must be provided a good mixture and high superficial contact area between the phases. Packed Towers are widely used to obtain high mass transfer between the phases. Mass transfer rate from the liquid phase to the gas phase can be explained with an equation as follows,

$$J_A = K_L a (C_A^* - C_A) = K_G a (P_A - P_A^*)$$

The overall liquid mass transfer coefficient K_L demonstrates, the system in which rate acts to the equilibrium. This is called mass transfer rate. K_L determinations is based on a two-layer theory. Knowledge about two-layer theory can be seen in 3.2.2.1. in details. K_L is the function of the system's geometric and physical characters, temperature, flow rate and stripped compounds.

Mass transfer coefficient is quite important in designing packed towers, so it is recommended to calculate by pilot studies. In the lack of datums, there are methods in order to determine mass transfer rate constants. These are,

- Sherwood-Holloway Model,
- Shulman Model,
- Onda Model

Results from the onda model and pilot studies confirm each other so Onda equations has been considered in designing packed towers in this study. As it seen the equations, there are terms as diffusion coefficient in liquid and gas phase (D_L, D_G). These terms can be determined different methods. Wilke-Chang method had been used in calculations of the D_L and Hirschfelder-Bird-Spots method used in calculations of the D_G . These methods are recommended in literature in calculations of D_L and D_G .

Packed towers, used for continuous contact of liquid and gas in both countercurrent and cocurrent flow, are vertical columns which have been filled with packing or devices of large surface as in Fig.3.1. The liquid is distributed over, and trickles down through, the packed bed, exposing a large surface to contact the gas. Meanwhile gas is pumped at the bottom of the column. This pumped air goes forward through column providing uniform air loading. When Henry Law is considered, while water is going forward through packing material and contacting with air, volatile organic concentration which is found in water will decrease, nevertheless the influent air which is free of volatile organic compounds, will have a concentration of organic compounds. In order to remove contaminants in gases, active carbon adsorption is used.

In designing packed towers, there are some factors have to be considered carefully to have economic and high efficiency. These factors are packing material, pressure drop, stripping factor and temperature.

Packing material effects efficiency, economy and life of the tower. Packings which have a great surface area is preferred in designing packed towers. Because it can be achieved high mass transfer rate in great surface area.

The two broad categories of packing are randomly dumped packing and stacked packing. Dumped packing uses small, randomly placed plastic, metal or ceramic packings to provide a high surface area and a high void volume. Dumped packing has been much more common, but stacked packings may offer some advantages. According to manufacturers, stacked packings are less susceptible to biological and mineral fouling. This is due to the higher void space and the fact that stacked packings do not have horizontal surfaces as do dumped packings. In general Rasching rings are widely used in air stripping process.

Packing materials and properties can be seen in Table.3.1

Pressure drop is a function of the gas and liquid flow rates and the size and the type of the packing. A stripper operating at a high pressure drop will require a smaller volume than a similar stripper at a lower pressure drop. This reduces capital cost for the tower, but increases the blower cost. Generally pressure drop are kept between 50-400 N/m²/m in packed towers. Otherwise can be faced some problems as flooding and loading. Pressure drop curves is shown in Fig.3.4.

The stripping factor R, is a ratio of the actual operating air-water ratio to the theoretical minimum ratio. It is quite important for the economy and efficiency of the tower. Generally it is kept between 2-5 in water systems.

In the fourth chapter it is mentioned design principles in packed tower. In this part it had been designed packed towers for removal 7 compounds which are widely found in surface and underground waters.

During the design, required physical and chemical values of compounds, has obtained from the literature. Design had been done in different temperature as 10, 20, 30°C different pressure drop and different flow rate. Other factors changes during the design are, stripping factor and removal efficiency. Meanwhile packing material is the only factor which is constant. Ceramic Rasching rings with a size of 13 mm had been used in design because of having high surface area and suitable for Onda equations. It is known that Onda equations are valid with a size of 10-50 mm for packing materials.

The procedure in designing in packed towers can be lined up as follows.

- Select compound to be stripped,
- Select packing material,
- Determine minimum air-water ratio,
- Select stripping factor, (R)
- Determine operating air-water ratio,
- Select design pressure drop,
- Determine air and water loading on tower
- Determine tower diameter, (D),
- Determine mass transfer coefficient (k_a)
- Determine height of transfer unit, (HTU)
- Determine number of transfer units, (NTU)
- Determine packing height (Z)
- Go to step 4. Iterate stripping factor and/or gas pressure drops to determine design parameters that optimize cost effectiveness.

Formulas of the values used in designing packed towers can be seen in details in chapter four.

Design results and comments according to results has given in chapter five. As said before, packed tower design had been done by computer programme. Computer programme is given appendix 1. About 30.000-35.000 values are determined from the programme exits, so it was impossible to consider all the values so the first 150 step had been considered which obtained from the programme exits. According to the programme exits, achieved results can be summarized as follows,

- When the removal efficiency increases, air-water ratio values increases.

- While removal efficiency is increasing and stripping factor is constant, it was observed that packing height increases.

- Tower diameter increases with flow rate.

- Conditions which removal efficiency constant and stripping factor increases it was observed that packing height decreases.

- When the stripping factor increases air-water ratio values increase.

- While air-water ratio is increasing, mass transfer rate decreases.

- When the temperature increase, liquid and gas diffusivity increase.

- Organic compounds which have low Henry constants has a low volatile properties so air-water ratio values are higher to remove these compounds from the water. In this condition it must be given much air to the system. Bromoform is a good example for these organics.

- Compounds like a carbon tetrachloride, tetrachloroethylene needs lower air-water ratio values because of having high Henry constants. As can be seen, compounds which have a high Henry constants value has a high volatile properties.

- When the removal efficiency constant and air-water ratio increase, it was observed packing height decrease.

In the sixth chapter, cost of air-stripping is presented. One of the main benefits of air-stripping as a

treatment technology for contaminated groundwater is its cost-effectiveness compared to other clean up methods, such as activated carbon. However, the cost of air-stripping is dependent on many factors and is therefore highly site specific. Cost can vary widely, but air stripping is very often the least costly clean up method for a particular site.

The total cost of any treatment method is a combination of the initial capital costs and operating costs. Capital costs are all costs associated with the startup of the air-stripping facility. Included costs are,

- The process equipment, such as the tower and packing material, air blowers, pumps, piping, valves and electrical equipment.

- A clearwell and holding tank.

- Ony site-related costs, such as land purchase, bulldozing, and access.

- Vapor-phase control (if required)

- Materials and construction cost for housing (lf required)

- Miscellaneous cost such as painting, plumbing and cleanup.

Operating cost are costs are basically comprised of power for the pumps and blowers and maintenance costs (labor and materials)

As a result of this study, it has been seen that air-stripping is the best way removing volatile organic compounds from water and packed towers are suitable for this process.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Tanıtılması

Bilindiği üzere su, canlı yaşamın en önemli öğelerinden birini oluşturmaktadır. Son yıllarda, nüfusun artması, endüstrileşmenin hızla ilerlemesi nedeniyle su ve su kaynaklarına olan ihtiyaç giderek çoğalmış, bunun sonucunda ise su kirlenmesi problemleriyle karşılaşmıştır. Oysa insanların temiz su kullanmaları en doğal haklarıdır.

Su kaynaklarının günümüzde azaldığı dünyamızda, yeraltı suyu önemli bir içme suyu kaynağı olarak dikkate alınması gereken bir gerçektir. Dolayısıyla, yeraltı suları son yıllarda gerek hayati, gerekse ekonomik bakımdan önemi gittikçe ortan bir doğal kaynak olarak görülmektedir.

ABD' de 1950' lerden 1990' lara gelinceye kadar her gün 125000-300.000 m³ içme suyu ihtiyacı yer altında karşılanmıştır. Bugün Amerikada kullanılan taze suların 1/4'ünü yer altı suları oluşturmakta ve halkın % 50 sinin su ihtiyacı buralardan karşılanmaktadır. Buna ek olarak, sulamada ve bazı endüstrilerin kendi ihtiyaçlarını karşılamasında kullanılan suların % 40' ını yer altı suları oluşturmaktadır [1].

Türkiye' de ise, DSİ verilerine göre çekilebilir yıllık yeraltı suyu potansiyeli 11.6 milyar m³ tür. Fakat bu suların tahsis edilen miktarı ancak 6.6 milyar m³ tür. Fiili yıllık tüketim, sulama, endüstri, içme suyu v.b alanlarda kullanılmak üzere 5.4 milyar m³ tür [2]. İlgili kuruluşlarla (İSKİ, DSİ) yapılan temasta, tüketilen 5.4 milyar m³ yeraltı suyunun ne kadarının içme suyu olarak kullanıldığı belirlenememiştir.

Çoğu yeraltı suları temiz ve kullanım için uygundur. Fakat son yıllarda bu suların kirlenmesi artmış, gerek bölgesel, gerekse yöresel kirlenme problemleri ortaya çıkmıştır. Bir çok su kaynağında, değişik konsantrasyonlarda 200' den fazla kirletici olduğu saptanmıştır. Yine aynı şekilde, bir çok ülkede, içme sularında düşük molekül ağırlığa sahip kirleticilere rastlanmıştır.

Yeraltı ve içme sularında bulunan bu kirleticilerin uçucu özelliğe sahip oldukları ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinmektedir. Bunun için Amerikada çevre koruma teşkilatı (EPA) içme sularında bulunan kirleticileri göz önüne alarak 8 uçucu organik bileşik için maksimum kirlenme seviyesi (MCLs) belirlemiş ve içme sularında başka bir çok sentetik organik kimyasallar için maksimum kirlenme seviyesi (RMCLs) önermiştir [1,3].

Bütün bu çalışmalar sonucu, bir çok suda bulunan kirletici bileşiklerin yüksek derecede uçucu özelliği olması ve bunların insan sağlığına zararlı olması özelliklerinden dolayı, bu kirleticilerin sulardan giderilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, gerek yeraltı, gerekse yüzeysel sularda bulunan ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan uçucu organik maddelerin giderilmesi ile ilgili metotlar incelenmiş, bu metodlardan en uygunu olan dolgulu kulelerde hava ile sıyırma (Air-Stripping in Packed Towers) yöntemi ile hesap ve tasarımlar yapılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada, sularda bulunan uçucu organik maddelerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri belirtilerek, bunların sudan uzaklaştırılması için gerekli metodlar araştırılmıştır. Bu metodlardan, giderme verimi yüksek olan

ve pratikte en çok kullanılan hava ile sıyırma (Air-Stripping) işlemi üzerinde durulup, bu metodun özellikleri adım adım incelenerek farklı uçucu organik maddeleri, dolgulu kulelerde hava ile sıyırma yolu ile gidermek için, değişik koşullarda bilgisayar destekli dolgulu kule dizaynı yapılmıştır.

Çalışma genel olarak 6 ana başlık altında toplanmıştır.

Birinci bölümde, çalışmanın kısa bir tanıtımı, amacı ve kapsamı belirtilmiştir. İkinci bölümde uçucu organiklerin bazılarının insan sağlığı üzerindeki etkileri ve arıtma alternatifleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde, hava ile sıyırma yönteminde giderme mekanizması teorisi, dizayn parametreleri, kütle transferi, kütle transfer katsayısı modelleri ve bu yöntemin dolgulu kulelerde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Dördüncü bölümde, dolgulu kulelerde tasarım esasları incelenmiştir. Beşinci bölümde, hesap sonuçları verilmiştir. Altınca bölümde, maliyet hesapları verilmiştir.

BÖLÜM 2. İÇME VE YER ALTI SULARINDA UÇUCU ORGANİKLER

2.1. Uçucu Organiklerin Meydana geliş Şekilleri

Uçucu organik maddelerin bazıları, doğal olarak meydana gelen humik ve fulvik asit şeklindeki organiklerin klorla reaksiyona girmelerinden oluşur. Ayrıca klorla dezenfeksiyonunda uçucu organik maddelerin (THMs) meydana geldiği bilinmektedir. Su kaynaklarını kirleten diğer uçucu maddelerin kaynakları, çeşitli imalat işleri ve dağıtımı, kentsel ve zirai faaliyetler, çöp sızıntı sularıdır [1].

2.2. Uçucu Organiklerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi

Sularda bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesi oldukça önemli bir konudur. Zira insan için hayati önem taşıyan sularda bu maddelerin varlığı insan sağlığı için önemli bir tehlike teşkil etmektedir. Bu maddelerin insanlar üzerinde kanserojen, mutojen ve hatta genetik etkileri olduğu, yapılan bilimsel araştırmalarla gözlenmiştir [1]. Sularda bulunan uçucu organik maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin önceden belirlenmesi amacı ile yapılan deneyler laboratuvar hayvanları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ham suda veya arıtılmış suda bazı uçucu organikler bulunabilir. Bunlardan en çok karşılaşılanları aşağıdaki gibi sıralanabilir [1, 4]

- Trikloroetilen
- Karbon tetroklorür
- Tetrahloroetilen
- 1,2- Dikloroetilen
- 1,1,1- Trikloroetilen
- Dikloroetilen
- Metilen klorür

- Vinil klorür
- Kloroform

Uçucu organiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri araştırıldığında bunların bazılarının, merkezi sinir sistemi depresyonuna yol açtığı, karaciğeri ve mideyi etkilediği gözlenmiştir. Bu uçucu organik maddelerin bazılarının insan sağlığı üzerindeki etkileri aşağıda açıklanmıştır [1].

KLOROFORM: Geçen bir kaç yılda, yüzeysel içme suyu kaynaklarının arıtımında en çok ilgilenilen kimyasal madde kloroform olmuştur. Kloroform yüksek derecede uçuculuğa sahip olan, renksiz ve suda az çözünen bir maddedir. Kloroform ağız yolu ile mide ve bağırsaklar tarafından içeri alınır. Karaciğere ve mideye olan zararları bilinmektedir. Erkek labaratuvar fareleri üzerinde yapılan deneylerde, kloroformun böbreğe ait epital hücre tümörlerini ve böbreklerle tümörlerini geliştirdiği gözlenmiştir. Dolayısıyla kloroformun kanserojen etkilere sahip olduğunu söyleyebiliriz. Fakat bu özelliğin insan üzerindeki etkisi henüz doğrulanmamıştır.

TRİKLOROETİLEN: Trikloroetilen (TCE) doğal olarak meydana gelmez. Dolayısıyla bu maddenin su kaynaklarındaki görüntüsü tamamen kirlenmeye bağlıdır. yeraltı suyundaki TCE' ler yavaşça parçalanarak dikloroetilen izomerlerine ayrılır. Daha sonra sınırlı bir şekilde vinil klorüre dönüşür. Bu maddelerin insan sağlığına kanserojen etkileri bilinmektedir. TCE' lerin merkezi sinir sistemi depresyonlarına yol açtığı, kalp kaslarına etki yaptığı, kalp yetmezliklerine yol açtığı gözlenmiştir. Bunların dışında mide ve karaciğere zararları bilinmektedir. Fareler üzerinde yapılan deneylerde, karaciğer ve akciğer tümörleri ürettiği gözlenmiştir.

TETRAKLOROETİLEN : Kimyasal ve toksit özelliklere sahip olan renksiz bir sıvıdır. Yıllarca kuru temizleme ve metal yüzeylerin temizlenmesi işlemlerinde kullanılmıştır. Endüstriyel dökülmelerden ve zararlı artık alanlarından dolayı yeraltı suyunu kirleten bir kirleticidir.

Tetrokloroetilen, deri ve akciğer tarafından kolayca absorbe edilir. Merkezi sinir sistemi depresyonunu ve karaciğerin bozulmasına yol açar. En önemli etkisi mide üzerindedir. Fareler üzerinde yapılan deneylerde, tümöre yol açacak bulgulara rastlanmamıştır.

KARBON TETRAKLORÜR : Karaciğerde zehirlilik etkisi görülmüştür. İnsanlar ve fareler üzerinde yapılan çalışmalarda, karaciğerde yağ birikimine yol açtığı gözlenmiştir.

BENZEN : Diğer yüksek derecede uçucu özelliğe sahip hidrokarbon bileşikleri gibi benzende, merkezi sinir sistemi depresyonlarına yol açmaktadır. Ayrıca benzenin bazı kan hastalıklarının nedeni olduğu gözlenmiştir. Diğer maddelerden farklı olarak, kromozomlar üzerinde hasara yol açtığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak, sularda bulunan uçucu organik maddelerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir. İnsan sağlığı açısından, bunların giderimine, arıtımına ait önlemler alınmalıdır.

Tablo 2.1' de çeşitli ülkelere ve topluluklara ait bazı uçucu organik maddelerin sularda bulunmasına izin verilen maximum kabul edilebilen değerleri mg/L cinsinden verilmiştir [5].

Tablo: 2.1. Uçucu Organiklerin İçme Sularında Bulunmasına
Müşade Edilen Sınır Değerleri (mg/L)

Uçucu Organik Mad. Cinsi	ABD	TÜRKİYE	Kanada	AET	WHO
Benzene	0.005	Standart Yok	Standart Yok	Standart Y	0.01
Karbon tetraklorür	0.005	" "	" "	" "	0.003
1,1-Dikloroetilen	0.007	" "	" "	" "	0.003
1,2, Dikloroetilen	0.005	" "	" "	" "	0.01
Para-Diklorobenzen	0.075	" "	" "	" "	Stand.Y.
1,1,1-Trikloroetan	0.2	" "	" "	" "	" "
Trikloroetilen	0.005	" "	" "	" "	0.03
Vinilklorür	0.002	" "	" "	" "	Stand.Y.
THM' ler	0.100	" "	0.350	0.001	0.03
					(CHCl ₃ için

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

AET : Avrupa Ekonomik Topluluğu

WHO : Dünya Sağlık Teşkilatı

THM'ler: Kloroform+Diklorobromoform + Dibromokloroform+
Bromoform

2.3. Arıtma Alternatifleri

Sularda bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [6].

- . Hava ile sıyırma ve/veya aktif karbon adsorbsiyonu
- . Biorestorasyon
- . Ters ozmoz
- . Ozonlama
- . Hidrojen peroksit ile oksidasyon
- . Ultraviyole radyasyonu
- . Arazide arıtma

Bunlar arasında en etkili olanı ve uygulamada geniş şekilde yer bulanı hava ile sıyırma ve/veya aktif karbon adsorbsiyonudur [7]. Hava ile sıyırma 3. bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Aktif karbon adsorbsiyonu ise dolgulu kuleden ayrılan, kirli gazın arıtılmasında kullanılır. Fakat bu çalışma kapsamında bu konu üzerinde durulmamıştır.

BÖLÜM 3. HAVA İLE SIYIRMA

3.1. Giderme Mekanizması ve Teorisi

Hava ile sıyırma, yer altı sularında bulunan ve insan sağlığını tehdit eden, kanserojen etkilere sahip uçucu organik maddelerin giderilmesinde kendisini ıspatlamış etkili bir metottur. Bu metotla birlikte sularda bulunan trihalometanlarında (THMs) giderildiği gözlenmiştir.

Bu sistemin çalışma prensibi kısaca, hava ile suyun çok yakın bir şekilde birbirlerine temas etmesini sağlayarak, uçucu maddelerin sıvı fazdan, gaz fazına geçmesine imkan sağlamasıdır.

Hava ile sıyırmada temel prensip aşağıdaki gibi açıklanabilir. Kinetik gaz teorisine göre çözülmüş gaz molekülleri, gaz ve sıvı fazları arasında serbestçe hareket ederler. denge konumunda, aynı sayıda molekül birim alanda ve birim zamanda her iki yöne doğru hareket eder. denge konumundan ayrılış, kütle transferinin oluşmasını sağlar.

Maddenin denge konsantrasyonu, Hery Kanunu sabitine bağlıdır. Henry Kanunu, dengede herhangi bir madde için sıvı ve gaz fazları arasında ayrılma eğilimleri hakkında bilgi verir. Bu yüzden Herny Katsayısı ayrılma katsayısı olarak tanımlanabilir [6].

Henry Kanunu matematiksel olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir [4,6,8]

$$P_a = H.X_a \quad (3.1)$$

P_a : Kirleticinin buhar basıncı (atm)
 H : Henry kanunu sabiti (atm)
 X_a : Su içindeki kirleticinin mol fraksiyonu (mol/mol)

Henry kanunu sabiti, hava ile sıyırma metodunda önemli yer teşkil etmektedir. Farklı madde ve sıcaklıklar için Henry Kanunu sabiti hesaplama metodları ileriki bölümde verilmiştir.

Hava ile sıyırma metodu değişik yollar ile yapılabilir [6].

Bunlar arasında,

- . Dolgulu kule metodu
- . Difüzörlü havalandırma metodu
- . Çok kademeli tablalı havalandırma
- . Püskürtmeli havalandırma

sayılabilir.

Bu çalışmada, bunlardan en çok kullanılan ve bilimsel çalışmalarla etkinliği kanıtlanmış, Dolgulu Kule Metodu üzerinde durulmuştur [7].

3.2. Dolgulu Kulede Hava İle Sıyırma

3.2.1. Tasarım Parametreleri

Hava ile sıyırma kolonu tasarımı matematiksel bir sistematik içinde açıklanabilir.

Literatürde tasarıma yönelik denklemler geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Denklemler hava ile sıyırma metodu kütle dengesinden elde edilmiştir. Bu denklemler 4 ana koşulu kapsar [6].

Bunlar,

- İçeriye verilen hava uçucu organik madde içermez.
- Piston akım koşulları su ve hava akışını kontrol altında tutar.
- Kütle transferi sırasında sıvı ve hava hacimlerinde meydana gelen değişimler ihmal edilebilir.
- Henry Kanunu bu koşullar için geçerlidir.

Tasarıma yönelik denklemleri çözmek için iki değişkenin elde edilmesi gereklidir. Bunlar, arıtılacak atık suyun debisi ve elde edilmesi istenen giderme verimi yüzdesidir.

Ayrıca tasarım için gerekli olan diğer parametreler,

- . Henry sabiti
- . Kütle transfer katsayısı
- . Sıyırma faktörü
- . Basınç düşmeleri
- . Hava/su oranı
- . Dolgu malzemesinin çeşidi

Tasarıma yönelik denklemler ve hesaplamalar 4. bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.2.Kütle Transferi

Gaz sıyırma işleminin etkili bir şekilde meydana gelebilmesi için iki faz arasında yüksek bir yüzeysel temas alanının olması ve iyi bir karışımın sağlanması gerekmektedir. Fazlar arasında yüksek oranda bir kütle transferi sağlamak için dolgulu kuleler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı fazdan gaz faza transfer için, kararlı durumda dolgu malzemesinin birim hacminde meydana gelen kütle transfer hızı aşağıdaki bağıntıyla tanımlanabilir [4,6,9].

$$J_A = K_L a (C_A^* - C_A) = K_G a (P_A - P_A^*) \quad (3.2)$$

Burada,

- J_A : A maddenin kütle transfer hızı, (kmol/sn)
 K_L : Sıvı fazı esas olan toplam kütle transfer katsayısı, (m/sn)
 a : Kütle transferinin meydana geldiği dolgu malzemesinin birim hacmindeki ara yüzey alanı, (m²/m³)
 C_A^* : Sistem sıcaklık ve basıncında A maddesinin denge konsantrasyonu, (kmol/m³)
 K_G : Gaz fazı esas alan toplam kütle transfer katsayısı, (m/sn)
 P_A : A maddesinin gaz fazdaki kısmi basıncı (atm)
 P_A^* : sistem sıcaklık ve basınçta denge halinde A maddesinin kısmi basıncı (atm)

Sıvı fazı esas olan toplam kütle katsayısı K_L , sistemin dengeye doğru hangi oranda hareket ettiğini gösterir. Buna kütle transfer oranı adı verilir.

Kütle transferinin meydana geldiği dolgu malzemesinin birim hacmindeki ara yüzey alanı a ise, su ile havanın karşı karşıya geldiği uygun toplam yüzey alanının ölçüsüdür. Bu değer dolgu malzemesinin çeşidine bağlıdır.

K_L ise, sistemin geometrik ve fiziksel karakterinin, sıyrılan bileşiğin, sıcaklığın ve debinin bir fonksiyonudur. K_L , her iki fazda kütle transferine karşı difüzyondan ileri gelen dirençleri kapsar ve bölgesel gaz ve sıvı faz kütle transfer katsayılarına (k_G ve k_L) bağlı olarak

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_G \cdot H^*} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir [4,10,11]. Bu ifadeye, İKİ DİRENÇ veya İKİ FİLM teorisi adı verilmektedir.

Burada,

- K_L : Sıvı faz esas alan toplam kütle transfer katsayısı (m/sn)
 k_L : Sıvı faza ait kütle transfer katsayısı (m/sn)
 k_G : Gaz faza ait kütle transfer katsayısı (m /sn)
 k_G : Gaz faza ait kütle transfer katsayısı (m /sn)
 H^* : Henry sabiti (boyutsuz)

İki film teorisi, aşağıda ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

3.2.2.1. İki-Film Teorisi

İki film veya iki direnç teorisi, kütle transferine karşı meydana gelen toplam direncin, sıvı ve gaz faz dirençlerinin toplamından oluştuğu varsayımına dayanmaktadır.

$$\text{Buna göre, } R_T = \frac{1}{K_L a} = R_L + R_G \quad (3.4)$$

şeklinde verilir [9].

Burada R_T toplam direnç, R_L sıvı fazda meydana gelen direnç R_G gaz fazda meydana gelen dirençtir. Dirençler hız sabitleri ve Henry Kanuna göre yazılacak olursa,

$$\frac{1}{K_L a} = \frac{1}{k_L a} + \frac{1}{k_G a H^*} \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir [9].

Burada a : Dolgu malzemesi yüzey alanı (m^2/m^3) diğerleri denklem (3.3)' de verildiği gibidir.

Sıvı fazdan hesaplanan toplam direnç oranı aşağıdaki şekilde verilebilir [12].

$$\frac{R_L}{R_T} = \frac{R_L}{R_L + R_G} = \left(1 + \frac{R_L}{k_G H^*} \right)^{-1} \quad (3.6)$$

Benzer biçimde gaz fazın toplam kütle transfer katsayısı K_G de, bölgesel kütle transfer katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir [11].

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H^*}{k_L} \quad (3.7)$$

Burada,

K_G : Gaz fazı esas olan toplam kütle transfer katsayısı (m/sn)

Henry sabiti (H), bir madde çözücü sistemin ve sıcaklığın bir özelliği olup basınç ve hidrodinamik şartlardan bağımsızdır. Henry sabiti, atm-m³/mol veya atm biriminde de ifade edilebilir. Fakat boyutsuz şekli en basit ve kütle transfer hesaplamaları için en uygun olanıdır.

Bileşiğin Henry sabiti çok büyük olduğu zaman (750 atm) yani çözünürlülüğü az olan bir madde ile karşılaşıldığı zaman, toplam transfer katsayıları K_L ve K_G sıvı faz direncine bağlıdır. Bu durumda k_G terimi ihmal edilebilir. Bu durumda,

$$K_L = k_L \quad \text{ve} \quad K_G = \frac{k_L}{H^*}$$

şeklinde olacaktır [4].

(3.2) eşitliğinde görüldüğü üzere, dolgunun birim hacimdeki kütle transfer hızı, K_L değerinin veya gaz-sıvı ara yüzey alanının (a) artmasıyla artar. Sıvı faz direnci ile kontrol edildiği zaman, K_L değeri gaz fazın akım hızında meydana gelecek değişimlerden fazla etkilenmez. Dolayısıyla kütle transfer verimi, sıvı yükleme oranının...

arttırılması ile veya a değeri yüksek bir malzeme seçmek sureti ile geliştirebiliriz.

Henry sabitinin küçük olduğu, yani suda bulunan maddenin uçuculuğunun düşük olduğu durumda ise K_L ve K_G katsayıları, gaz fazdaki kütle transfer dirençleri tarafından kontrol edilecektir. Bu durumda,

$$K_L = k_G H^*$$

yazılabilir [4]. Bu şartlarda transfer hızı hava debisi oranını arttırarak geliştirebiliriz. Ayrıca hava-su ara yüzey alanının artmasıyla k_G' de artacaktır.

3.2.3. Kütle Transfer Katsayısı Modelleri

Kütle transfer katsayısı sabitleri, bazen deneysel araştırmalar sonucu, bazen ise literatürden elde edilebilir. Kule dizaynında bu değerlerin önemli şekilde yer teşkil etmesinden dolayı, $k_L a$ değerinin pilot çalışmalardan elde edilmesi tavsiye olunur.. Verilerin az olduğu ortamda, bu katsayıların elde edilmesine yönelik 3 metod mevcuttur. [6,9]

Bu üç metod aşağıdaki gibi açıklanabilir.

1) Sherwood Hollowoy Modeli

- Sıvı faz kütleli (L_m) 0.27-43 kg/m².sn
- Gaz faz kütleli debi (G_m) 0.04-1.8 kg/m².sn
- Sistem-sıvı-faz direnç kontrolü

$$\frac{k_L a}{D_L} = 10.746 \alpha \left(\frac{0.3048 L_m}{\mu_L} \right)^{1-n} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{0.5} \quad (3.8)$$

Burada,

k_L : Sıvı faz kütle transfer katsayısı (m/s)

a : Dolgu malzemesinin birim hacminin yüzey alanı
(m²/m³)

D_L : Maddenin sıvı fazda moleküler difüzyon katsayısı
(m²/sn)

μ_L : Sıvı fazın vizkozitesi (kg/m.sn)

ρ_L : Sıvı fazın yoğunluğu (kg/m³)

α ve n : Dolgu malzemesi için ampirik sabitler

L_m : Sıvı faz kütleli debisi (kg/m².sn)

2) Shulman Modeli

- k_L , k_G ve a hesabı ayrı ayrı yapılıyor.
- Sıvı-faz ve gaz-faz dirençleri geçerlidir.

Sıvı-faz kütle transfer katsayısı korelosyonu,

$$\frac{k_L \cdot d_s}{D_L} = 25.1 \left(\frac{d_s \cdot L_m}{\mu_L} \right)^{0.45} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{0.5} \quad 0.27 < L_m < 43 \quad (3.9)$$

Gaz-faz kütle transfer katsayısı korelosyonu, [13]

$$\frac{k_G \cdot d_s}{D_G} = 1.195 (1 - \epsilon)^{0.36} \left(\frac{d_s G_m}{\mu_G} \right)^{0.64} \left(\frac{\mu_G}{D_G \rho_G} \right)^{0.33} \quad 0.14 < G_m < 1.4 \quad (3.10)$$

Arayüzey temas alanı, [13]

$$a = d \left[\frac{808 G_m}{\rho_G^{0.5}} \right]^q L_m^h \quad 0.68 < L_m < 6.1 \quad (3.11)$$

$$\xi = \xi_D - \phi_t \quad (3.12)$$

$$\phi_t = [(2.09 \times 10^{-6}) (737.5 L_m)^B] / d_s^2 \quad (3.13)$$

$$B = 1.508 \times d_s^{0.376} \quad (3.14)$$

Burada,

G_m : Gaz faz kütleli debisi ($\text{kg/m}^2/\text{sn}$)

k_G : Gaz fazda kütle transfer katsayısı (m/sn)

D_G : Maddenin gaz fazda moleküler difüzyon katsayısı (m^2/sn)

ρ_G : Gazın yoğunluğu (kg/m^3)

μ_G : Gazın vizkozitesi ($\text{kg}/\text{m}.\text{sn}$)

d : Arayüzey alanı için ampirik parametre

h : Arayüzey alanı için ampirik parametre

q : Arayüzey alanı için ampirik parametre

ξ : İşletme porozitesi (boşluk hacmi/toplam hacim, boyutsuz)

ξ_D : Dolgu malzemesinin kuru haldeki porozitesi, (boyutsuz)

ϕ_t : Toplam su tutma (dolgu yatağında sıvı hacmi/ toplam hacim, boyutsuz)

B : Sabit

d_s : Dolgu malzemesi ile aynı yüzey alanına sahip bir küre çapı. (m) L_m aralığı 1. modeldeki gibidir. G_m aralığı 0.14-1.4 $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ sn}$ (k_G , için)

3) Onda Modeli

Bu modelde k_L ve k_G ve a hesaplamaları ayrı ayrı yapılmakta ve spesifik arayüzey alanı yerine spesifik ıslak dolgu alanı a_w kullanılmaktadır [6,9,10,13].

$$\frac{a_w}{a_t} = 1 - \exp \left[-1.45 \left(\frac{T_c}{T_w} \right)^{0.75} \left(\frac{L_m}{a_t \mu_L} \right)^{0.1} \left(\frac{L_m^2 a_t}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \left(\frac{L_m^2}{\rho_L T_w a_t} \right)^{0.2} \right] \quad (3.15)$$

Bu eşitlikte,

$$\frac{L_m}{a_t \mu_L} = N_R \quad (\text{Reynolds sayısı})$$

$$\frac{L_m^2 a_t}{\rho_L^2 g} = N_F \quad (\text{Froude sayısı})$$

$$\frac{L_m^2}{\rho_L T_w a_t} = N_W \quad (\text{Weber sayısı})$$

olarak adlandırabiliriz.

(3.15) denkleminde,

- a_w : Dolgu malzemesinin ıslak alanı, (m^2/m^3)
- a_t : Dolgu malzemesinin toplam alanı (m^2/m^3)
- T_c : Dolgu malzemesinin kritik yüzey gerilimi (kg/sn^2)
- ρ_L : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)
- μ_L : Sıvının vizkozitesi ($kg/m.sn$)
- T_w : Sıvının yüzey gerilimi (kg/sn^2)
- g : Yerçekimi ivmesi ($9.81 m/sn^2$)
- L_m : Sıvı gaz kütleli debisi ($kg/m^2.sn$)

Debi arttıkça a_w değeri a_t ' ye yaklaşır.

Sıvı-faz kütle transfer katsayısı k_L korelasyonu

$$k_L \left(\frac{\rho_L}{\mu_L g} \right)^{1/3} = 0.0051 \left(\frac{L_m}{a_w \mu_L} \right)^{2/3} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{-0.5} (a_t d_p)^{0.4}$$

$$0.8 < L_m < 43$$

(3.16)

Burada,

- k_L : Sıvı faz kütle transfer katsayısı, (m/sn)
 D_L : Maddenin sıvı faz içinde difüzyon katsayısı (m²/sn)
 d_p : Dolgu malzemesinin nominal çapı (m)

Gaz faz kütle transfer katsayısı k_G korelasyonu,

$$\frac{k_G}{a_t D_G} = m \left(\frac{G_m}{a_t \mu_G} \right)^{0.7} \left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{1/3} (a_t d_p)^{-2} \quad 0.014 < G_m < 1.7$$

(3.17)

$d_p > 15$ mm için $m = 5.23$

$d_p < 15$ mm için $m = 2.0$

k_G : Gaz fazda kütle transfer katsayısı, (m/sn)

D_G : Maddenin gaz fazda difüzyon, katsayısı (m²/sn)

G_m : Gaz fazın kütledebisi, (kg/m².sn)

ρ_G : Gazın yoğunluğu (kg/m³)

μ_G : Gazın vizkozitesi (kg/m.s)

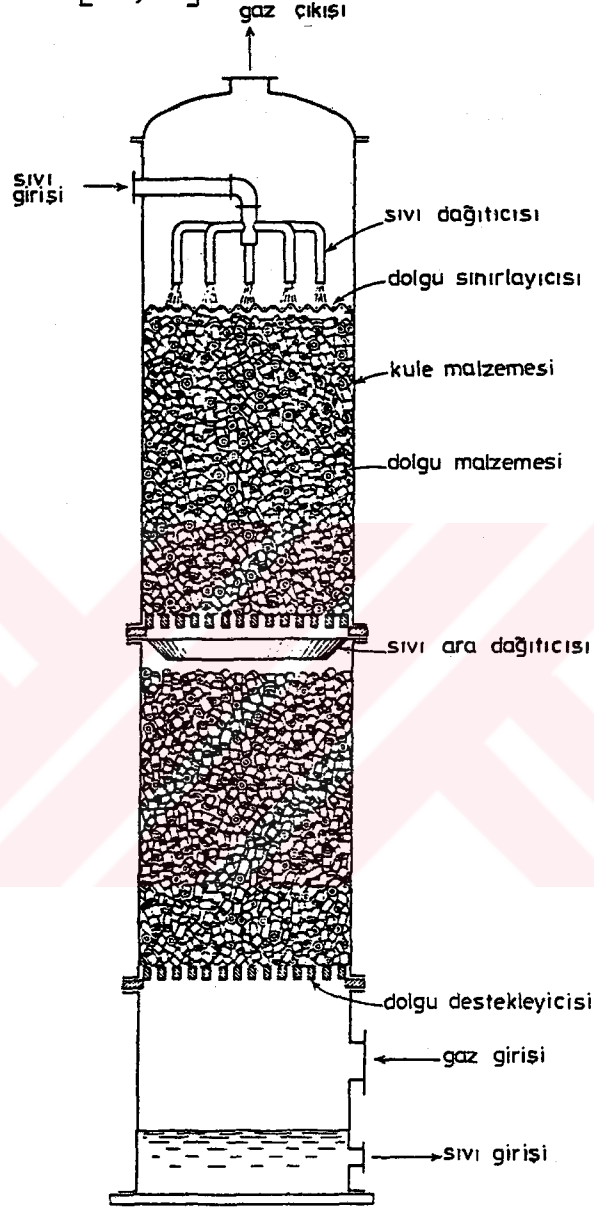
Sonuç olarak, bu üç yaklaşım arasında, onda denklemlerinden elde edilen sonuçlarla, pilot çalışmalardan elde edilen sonuçlar birbirini doğrulamıştır. Yine yapılan çalışmalar onda denklemlerinin k_L a hesabında en uygun metod olduğu gözlenmiştir [9.10].

Bu çalışmada ise, kütle transfer katsayılarının hesaplanmasında en uygun görülen onda denklemleri göz önüne alınmış ve tasarım hesapları bu denklemler üzerinde kurulmuştur. Bu denklemlerde geçen D_G , D_L değerleri ile ilgili hesaplamalar 4. bölümde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

3.2.4. İşletme Özellikleri

Dolgulu kuleler genellikle silindirik yapılar içerisine yerleştirilen dolgu malzemesi ile gaz sıvı sistemleri

için uygun temas ortamını sağlamada kullanılan unit operasyon araçlarıdır. Bu proseslerin en yaygın kullanımı gaz absorpsiyonunda olmasına rağmen sıvı ekstraksiyonu distilasyon, nemlendirme, ısı iletimi uygulamalarında görmek mümkündür [14,15]



Şekil: 3.1. Şematik Dolgulu Kule

Sıyrılacak kirletici maddeyi içeren su, temiz hava ile karşılaştırıldığında, kirletici moleküller Henry Kanunu'nun sıvı, gaz dengesine göre havaya doğru geçecektir. Dolgulu Kulede, su kolonun üzerinde bir pompa ile aşağı doğru verilir ve kolon boyunca ünüform sıvı yükünü sağlayacak şekilde

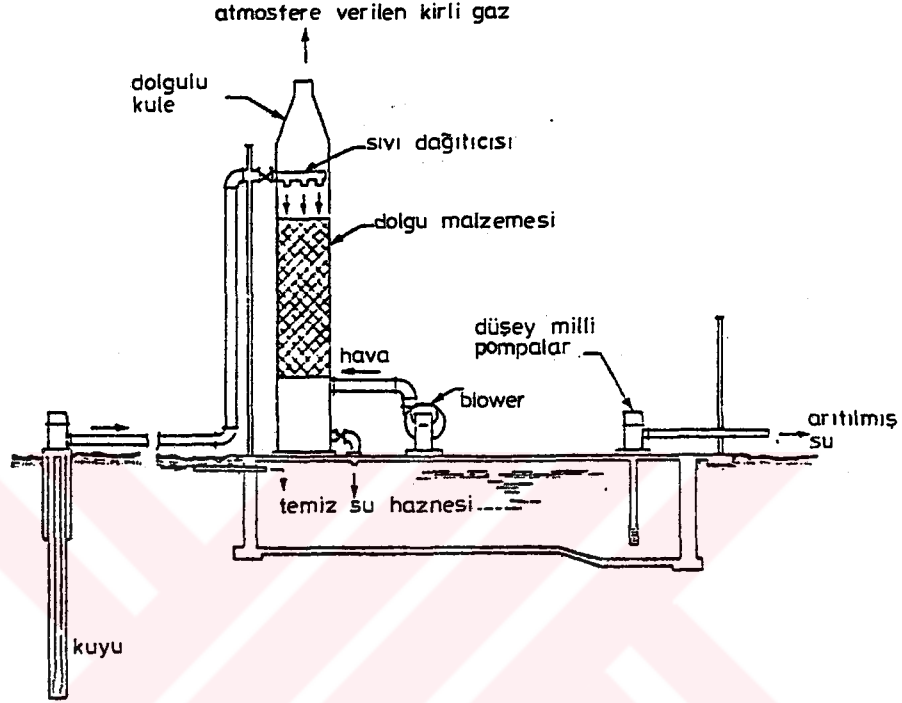
kolonun altında yukarıya doğru temiz hava basılır. Basılan bu hava üniform hava yükünü Henry Kanunu göz önüne alındığında suyun dolgu malzemesi arasından ilerlemesi ve hava ile temasta olması durumunda, başlangıçta suda bulunan ve konsantrasyonu C_0 olan uçucu organik maddelerin yeni konsantrasyonu C olacak, buna karşılık içinde hiç bir kirletici uçucu organik madde ihtiva etmeyen havanın içinde bulunan uçucu organik madde konsantrasyonu kolon çıkışında belirli bir değere ulaşacaktır.

Hava ile sıyırma sonucu, organik kimyasalların sudan havaya geçmesi dolayısıyla, bir çok faktöre bağlı olarak bazı sağlık sorunları da göz önüne alınmalıdır. Bu faktörler, hava ile sıyırma olayının yapıldığı ve insan yaşamının bulunduğu çevre, arıtma tesisindeki işçilerin korunma durumları, yöresel hava kalitesi, meteorolojik koşullar, günlük işlem görülen suyun miktarı ve kirlenme ölçüsüdür.

Sıyırıcıdan çıkan gaz içindeki kirleticiyi gidermek için aktif karbon kullanılır. Aktif karbon uçucu organik maddelerin sudan havaya geçme miktarını azaltır. Bu teknik, yöresel koşullara göre, kabul edilemeyecek ölçüde kirlenme seviyelerine çıkıldığı durumlarda kullanılır. Fakat önemli derecede maliyeti arttırdığı bir gerçektir [1].

Sistem çoğunlukla zıt akım prensibine göre çalışır. Sıvı faz kulenin tepesinden genellikle bir sıvı dağıtıcı sistemi yoluyla kesit alanına üniform dağılım olacak şekilde verilir. Yerçekimi etkisiyle dolgu malzemesi yüzeyinde bir film oluşturarak aşağı doğru akan sıvı-faz, mekanik yolla kulenin altından basılan gaz ile temas ettirilir. Her iki fazında kanallaşması, yığılması veya dengesiz salınımına girmesi temas sisteminin etkinliğini azaltacağı için istenmez. Kule yüksekliği, çapı dolgu malzemesinin türü, kullanılan sıvının özelliklerine bağlı olarak, sıvı belli bir süre sonra kanallaşma eğilimi gösterebilir. Bu durumda kule içerisinde ara dağıtıcı elemanlar kullanarak sıvı

dağılımı daha düzgün hale getirebilir. Dolgulu kule boyunca kütle iletimi olaylarına giren sıvı, kulenin altından uygun bir yolla alınır [15].



Şekil:3.2. Dolgulu Kule sistemi

3.2.4.1. Dolgu Malzemeleri

Dolgulu kulenin işlevini yapmasında en etken hususlardan birisi dolgu malzemesidir.

Dolgu malzemesi 3 sınıfa ayrılabilir [8, 15]

- Kırılmış katılar
- Şekillendirilmiş dolgu malzemeleri
- Izgaralar

Önceleri dolgu malzemesi olarak toz veya kok kullanırken, kimya endüstrisinde gelişme içerisinde amaca uygun şekillerde ve uygun malzemelerden dolgu malzemeleri üretilmiştir.

Dolgu malzemesinin seçimi, kulenin verimini, ekonomisini ve ömrünü doğrudan etkiler.

En fazla bilinen dolgu malzemeleri arasında, Rasching halkaları, Berl Eyeri, İntalax eyeri, Tellerete ve Pall halkaları sayılabilir. Türkiye' de ise Kimya sanayinde plastik veya seramik olmak üzere Rasching halkaları en yaygın kullanım alanı olanıdır. Herhangi bir kulede bulunan dolgu malzemesinin özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır [15].

— Dolgu malzemesinin sıvı-gaz, sıvı-katı arasında etkin temas yüzeyi sağlaması gerekir. Birim dolgu hacmindeki yüzey alanı a olarak tanımlanırsa, bu oranın yüksek olması gerekir. Ancak burada mikroskopik anlamda yüzey kastedilmektedir. Çünkü dış yüzeyden uzaklardaki gözeneklere fazla ulaşamayacağı için süngerimsi yapılar yüksek temas yüzeyi sağlamayabilir. Nitekim literatürde verilen özgül yüzey değerleri gerçekleşen sıvı-gaz temas yüzeyinden genellikle daha yüksektir.

— İşletme için uygun akışkan-akış özelliğine sahip olmalıdır. Bunda kastedilen boşlukların oranı , yeterince yüksek olmalıdır. Bu sayede yüksek miktarlarda akışkan nisbeten küçük bir kule kesit alanından yükleme ve taşıma olmaksızın ve düşük basınç düşüşü ile olabilmelidir. Mümkün ise gaz basınç düşüşü yalnızca yüzey sürtünme kayıplarından kaynaklanmalıdır.

— Proses içerisindeki akışkanlara karşı dayanıklı olmalıdır.

— İşletme sırasında olabilecek zorlamaları karşılayacak dayanıklılıkta olmalıdır.

— Dolgu malzemesi tarafından tutulan sıvının miktarının az olması gerekir. Fazla sıvı tutulması kapasite ve verimi etkilediği gibi bakım için durma hallerinde önemli sorunlar yansıtabilmektedir.

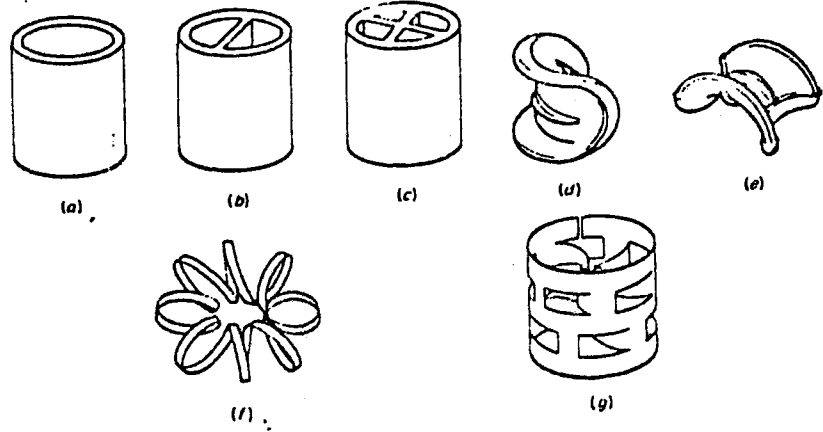
- Birim hacim ağırlığı az olmalıdır. Bu husus sadece kule tarafından taşınacak tüm ağırlığa tesir etmekle kalmaz, aynı zamanda kulenin projelendirilmesinde tesir eder. Kule içerisine gelişigüzel atılan dolgu malzemeleri kule duvarına basınç yapar ve birim hacmin ağırlığında fazla olursa, kule yapım fiyatına tesir edebilir.

- Serbest kesit alanı büyük olmalıdır. Bu husus önemlidir. Çünkü kule içerisinde meydana gelen basınç düşüşüne ve dolayısıyla gaz sirkülasyonu için gerekli pompa gücüne tesir eder. Bundan başka serbest kesit alanının küçük olması, gaz akım hızının bu serbest kısımlarda artmasına ve belirli bir limitin üzerinde sıvı fazın kule dışına atılmasına sebep olur.

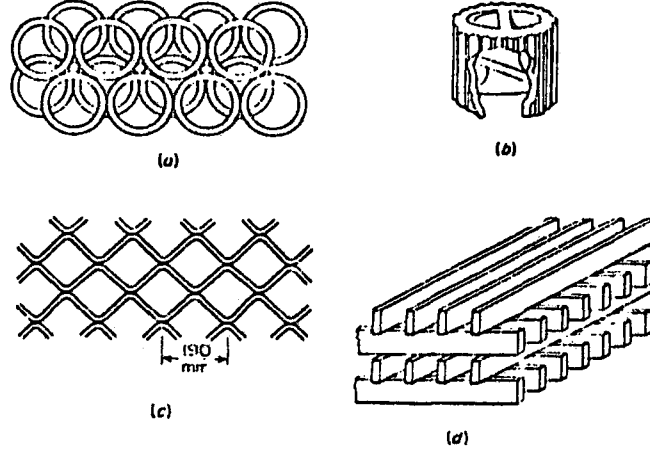
- Serbest hacim büyük olmalıdır.

- Ucuz ve kolay temin edilebilir olmalıdır.

Şekil 3.3' te Endüstriyel uygulamada ve su arıtmada kullanılan dolgu malzemeleri verilmiştir [14].



Şekil:3.3.a. Gelişigüzel Yerleştirilen Dolgu Malzemeleri
 a) Rasching Halkaları b) Lessing Halkaları
 c) Parça Halkaları d) Berl Eyeri e) Intalox
 eyeri f) Tellerette, g) Pall Halkaları



Şekil:3.3.b. Düzenli Yerleştirilen Dolgu Malzemesi

- a) Rasching Halkaları b) Spiral Halkaları
 c) Metal Latalar d) Tahta Izgaralar

Dolgu malzemelerinin özellikleride Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo: 3.1. Dolgu Malzemesi Özellikleri

Dolgu	Dolgu Boyutu (m)										
	0.006	0.0095	0.013	0.016	0.019	0.025	0.032	0.038	0.050	0.076	0.089
	Rasching Halkaları										
Seramik Cf (1/m) a _t (m ² /m ³)	1600 787	1000 508	580 364	380 328	255 262	155 190	125 148	95 125	65 92	37 62	
Metal (0.8mm Kalınlık Cf (1/m) a _t (m ² /m ³)											
Metal (1.6 mm Kalınlık Cf (1/m) a _t (m ² /m ³)	700 774	390	300 420	170	155 274	115 206					
	Metal için kritik yüzey gerilmesi Tc=0.075 kg/sn ²										
			410 387	290	220 236	137 186	110 162	83 135	57 103	32 68	
	Pall Halkaları										
Plastik Cf (1/m) a _t (m ² /m ³)				97 341		52 206		40 128	25 102	16 85	
	Plastik için kritik yüzey gerilmesi Tc=0.033 kg/sn ²										
Metal Cf (1/m) a _t (m ² /m ³)				70 341		48 206		28 128	20 102	16	

Tablo: 3.1b Dolgu Malzemesi Özellikleri

Dolgu	Dolgu Boyutu									
	0.006	0.0095	0.013	0.016	0.019	0.025	0.032	0.038	0.050	0.076 0.089
	Berl Eyeri									
Seramik Cf (1/m) a_t (m ² /m ³)	900 899	240 466	170 269	110 249	65 144	45 105				
	INTALOX EYERİ									
Seramik Cf (1/m) a_t (m ² /m ³)	725 984	330 623	145 335	98 256	52 195	40 118	22			
Plastik Cf(1/m) a_t (m ² /m ³)				33 207		21 108	16 89			
	SUPER İNTALOX									
Seramik Cf(1/m) a_t (m ² /m ³)				60 253		30 105				
Plastik Cf(1/m) a_t (m ² /m ³)				33 207		21 108	16 89			
	TELLERETTES									
Plastik Cf(1/m) a_t (m ² /m ³)				40 180		20 112				

Tabloda Cf: Dolgu faktörünü, a_t : Dolgu malzemesi yüzey alanını göstermektedir.

3.2.4.2. Sıvı Fazın Dağıtılması

Dolgulu kulede temas etkinliğini azaltan en önemli nedenlerden biri kanallaşma olayıdır. Kule tesisinden aşağı doğru akan sıvı tabii olarak en az dirence doğru yönelme eğiliminde olduğu için duvarlara doğru yoğunlaşacaktır. Çünkü dolgu malzemesi duvarlarda kolon içerisinde olduğu kadar uyumlu oturma gösteremeyecektir. Nitekim Resching halkaları üzerinde boyar madde kullanarak yapılan deneylerde dolgu malzemelerinin ıslanma özellikleri saptanmıştır. Aynı deneylerde kolon duvarlarında ıslanmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Kanallaşma yalnızca duvar boyunca değil, dolgu içerisinde oluşabilecek düşük direnç yollarında gerçekleşmektedir.

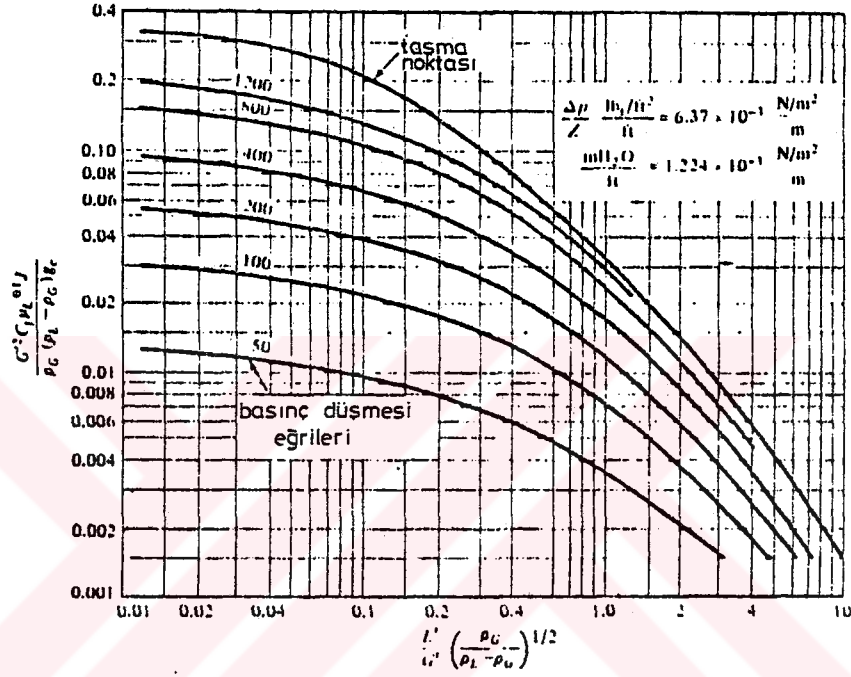
Yapılan çalışmalarda rastgele doldurulan bir dolgulu yatakta kanallaşma eğiliminin istiflenmiş dolgulu yataktan daha az olduğunu gözlenmiştir. Duvarlardaki kanallaşma olayının çapın ve dolgu yüksekliğinin büyümesi ile daha da artacağı açıktır. Kanallaşmanın yaratacağı temas etkinliğini saptamak için dolgu yüksekliği ve çap oranının 7 olması durumunda sıvı dağıtıcı plaka sistemi kullanmak, duvarlardaki kanallaşmayı azaltacaktır. Sıvı dağıtıcıların yerleştirilmesi konusunda çapı 1,2 m'den büyük kuleler için 0.09 m^2 kule kesit alanı için en aşağı 5 noktadan sıvı beslenmesinin gerektiği belirtilmektedir. Ancak dağıtıcı plaka yerleştirilmesine esas olarak belirlenecek kıstaslara dolgu malzeme türünde ilave etmek gereklidir [15].

3.2.4.3. Basınç Düşüşü

Dolgulu kulelerde işletme masraflarının en önemlisi gaz pompalama giderleridir. Bu nedenle kulenin iyi kontrolü için basınç düşüşünü bilmek gerekir. Böylece uygun fan seçimi yapabilme olanağı doğar. Bu amaca yönelik olarak, tasarım aşamasında basınç düşüşünün teorik olarak hesaplanması beklenir.

Genelde dolgulu kulelerde, basınç düşmeleri 50 ve 400 N/m²/m arasında tutulmaktadır.

Şekil 3.4' te tasarımda kullanılacak basınç düşmeleri eğrileri görülmektedir [14]



Şekil:3.4. Basınç Düşmesi Eğrileri

Dolgulu kulelerde basınç düşmeleri tavsiye edilen aralıklarda olmazsa çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Dolgulu kulenin herhangi bir noktasında gaz zaman zaman fişkırmalar şeklinde kuleden geçer. Bu noktaya TAŞMA noktası adı verilir. Bu noktada gaz ile sıvı arasındaki sürtünme, sıvı fazı yukarıya doğru iterek, kulenin tüm kesit alanını kaplayan devamlı bir sıvı faz meydana getirecek büyüklüktedir. Taşma noktası kullanılan dolgu malzemesinin tipinede bağlıdır.

Basınç düşüşü dolgu üniteleri büyüdükçe veya dolgu yatağı açıklık kazandıkça azalır. Taşma noktası dolgu malzemesinin taşıyabileceği maksimum yüklenmeyi temsil etmekte olup, oldukça belirli bir noktadır ve bütün kule hesaplamaları için göz önüne alınması gereklidir.

Taşma noktası aynı zamanda sıvı vizkozitesindende etkilenmekte ve sıvı vizkozitesi artınca basınç düşüşü azalmaktadır. Dolgulu kulede göz ardı edilemeyecek diğer husus, YÜKLEME noktasıdır. Bu noktada gaz akım hızı, dolgu malzemesi tarafından tutulan sıvı miktarında artmanın başlamasına sebep olacak kadar yüksektir.

Yükleme noktası, taşma noktasında olduğu kadar kesinlikle tayin edilemez. Taşma noktası üzerindeki çalışma, pratik bir anlam taşımaz, yükleme ve taşma noktaları arasında çalışma ise dengesiz olmaya elverişlidir [8].

BÖLÜM 4. DOLGULU KULELERDE TASARIM ESASLARI

4.1. Genel

Bu bölümde hava ile sıyırma metodu kullanılarak, yeraltı suyunda en çok karşılaşılan 7 uçucu organik maddenin giderimi için dolgulu kule tasarımları yapılmıştır. Bu tasarım sırasında, bir dolgulu kule tasarımında izlenilmesi gereken yollar adım adım incelenmiştir. Tasarım esnasında, giderilmesi istenen uçucu organik maddelerin tasarıma esas olacak fiziksel ve kimyasal değerleri literatürden temin edilerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bu çalışma kirlenmiş yeraltı sularında en çok karşılaşılan ve üzerinde en fazla araştırma yapılan maddeler üzerinde durulmuştur. Ayrıca bu maddeler seçilirken uçuculuk özellikleride göz önüne alınmıştır. Araştırma konusu olan maddeler ve bunlara ait özellikler aşağıda Tablo 4.1' de verilmiştir [1,16,17].

Tablo:4.1. Üzerinde Çalışılan Maddelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu organik Madde adı	Formülü	Moleküler Ağır.. kg/kmol	Çözünürl. 20-25° C mg /L	Buhar bas. 20 C mm Hg	Kaynama Nk. K°	Molal Hacim m ³ /kmol
Trikloroetilen	C ₂ HCl ₃	131.40	1100	60	360.2	0.1071
Tetrakloroet	C ₂ Cl ₄	168.85	140		393.8	0.128
Benzen	C ₆ H ₆	78.11	1780	96.2	353.1	0.096
Kloroform	CHCl ₃	119.39	8000	246	354	0.0923
Karbontetra klorür	CCl ₄	153.84	800	91	349.8	0.1132
Bromoform	CHBr ₃	252.77	3033		423.5	0.0995
Metilen Klor	CH ₂ Cl ₂	84.94	13200	349	313	0.0714

Tasarım, her madde için 10, 20, 30°C gibi farklı sıcaklıklarda, farklı basınç düşmeleri altında ve farklı debilerde yapılmıştır. Yine tasarım sırasında, sabit dolgu malzemesi kullanılmış ve değişen sıyırma faktörleri ve giderme verimi göz önüne alınmıştır.

Tasarımda kullanılan ve sıcaklık değiştikçe fiziksel ve kimyasal özellikleri değişen hava ve suya ait değerler Tablo 4.2' de verilmiştir. [16,18,19].

Tablo:4.2. Farklı Sıcaklıklarda Hava ve Suyu Ait Fiziksel ve kimyasal Özellikler

Özellik	Su			Hava		
	10°C	20°C	30°C	10°C	20°C	30°C
Vizkozite (kg/m.sn)	0.001307	0.001002	0.0007975	0.0000175	0.0000182	0.0000184
Yoğunluk (kg/m ³)	999.73	998.23	995.67	1.2472	1.2074	1.1649
Yüzey gerilimi (kg/sn ²)	0.07422	0.07275	0.07118			

4.2. Tasarım Esasları

Dolgulu hava kulelerinin tasarımında izlenilmesi gereken yollar aşağıdaki gibi sıralanabilir [6].

- Sıyrılacak bileşiğin seçimi
- Dolgu malzemesinin seçimi
- Minimum hava su oranının belirlenmesi
- Sıyırma faktörünün seçimi
- İşletme sırasında hava-su oranının belirlenmesi
- Tasarımda kullanılan basınç düşmesinin seçimi
- Kule üzerinde hava ve su yüklemesinin belirlenmesi
- Kule çapının belirlenmesi, D
- Kütle transfer katsayısının belirlenmesi $K_L a$
- Transfer birim yüksekliğinin belirlenmesi, HTU

- Transfer birimlerinin sayısının belirlenmesi, NTU
- Dolgu yüksekliğinin belirlenmesi, Z

Bütün bu adımların izlenilmesinde, üzerinde çalışılan maddelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak bazı değerlere ihtiyaç vardır. Bunlar, maddenin Herry Sabiti (H), sıvı faz içindeki difüzyon değeri (D_L), gaz fazı içindeki difüzyon değeri (D_G), sayılabilir. Bunlar 3. bölümde görüldüğü üzere onda denklemlerinin kullanılmasında gerekli olan değerlerdir. Bu değerlerin hesaplama şekilleri aşağıda verilmiştir.

4.2.1. HENRY SABİTİ

Henry kanunu sabitleri, dolgulu kolonların tasarımında veya kütle transfer katsayılarının belirlenmesinde gereklidir. Bir çok madde için çalışılan sıcaklıklarda H sabitleri literatürde bulunmayabilir. Bu yüzden bir çok araştırmacı H değerlerinin deneysel olarak bulunmasını tavsiye etmiştir.

H değerlerinin deneysel ölçülmesi için bir çok metod ileri sürülmüştür. Genel ölçüm metodu, kapalı bir sistemde, incelenen kimyasal maddeyi bir çözelti içinde havayla temas haline getirmek ve sistemin dengeye ulaşmasında sonra fazlarda bulunan madde konsantrasyonlarını ölçmekten ibarettir. Bir çok araştırmacı yaptığı çalışmalarda bu metodların bir çoğunu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gaz-sıvı denge bağıntıları başlıca basınç, sıcaklık ve fazların özelliğine bağlıdır. Bununla beraber, dolgulu kulede havayla sıyırma işleminde etkili olan çevresel şartlardan dolayı basınç sabit kabul edilerek etkisi ihmal edilebilir [11].

Henry sabitinin hesaplanmasında en önemli parametre sıcaklıktır. Bir çok araştırmacı, deneysel olarak bulunan verileri değerlendirerek H ile sıcaklık arasındaki bağıntıyı,

$$\text{Log}H = - \Delta H^{\circ} / RT + K \quad (4.1)$$

veya

$$\text{Log} H = A - B/T \quad (4.2)$$

şeklinde ifade etmiştir [1,6].

Burada,

ΔH° : Entalpi değişimi (kcal/kmol)

R : Gaz sabiti (1,987 kcal/kmol, $^{\circ}\text{K}$)

T : Sıcaklık, ($^{\circ}\text{K}$)

K : Sabit

A,B : Sabit değerler

H değerinin birimi hesap yöntemine göre değişir.

(4.1) denkleminde H, atmosfer biriminde, (4.2) denkleminde ise boyutsuz olarak hesaplanır.

Bir çok araştırmacının yaptığı çalışma sonucunda buldukları A ve B değerlerinde yararlanarak, farklı sıcaklıklar için H değerleri bulunabilir. Bu çalışmada tasarıma esas olarak çeşitli maddelere ait H değerlerinin hesabında literatürde tavsiye edilen metodlar göz önüne alınmıştır, ve H değeri tasarımında boyutsuz olarak kullanılmıştır [10].

Buna göre Tablo 4.3' de, üzerinde araştırma yapılan maddelerin sıcaklığa bağlı olarak boyutsuz Henny sabitleri değerleri verilmiştir [10].

Tablo:4.3. Henry Sabiti Sıcaklık Bağlılıkları ($\log H = A-B/T$; $T, ^\circ K$)

Ucucu Organik Madde	A	B	H* (boyutsuz)			Tavsiye Edilen Metod
			10°C	20°C	30°C	
Trikloroetilen	6.329	2000	0.183	0.318	0.535	Gossett et al (EPICS)
Tetrokloroetilen	6.840	2082	0.304	0.542	0.930	" " " "
Benzen	4.646	1577	0.118	0.183	0.276	Leighton ve Calo
Kloroform	6.311	2117	0.068	0.122	0.211	Nicholson et al
Karbontetralorür			0.559	0.950	1.559	
Bromoform	6.181	2322	0.0094	0.018	0.033	Nicholson et al
Metilenklorür	4.703	1679	0.059	0.094	0.145	Gossett et al

Tablo4.4' de ise, bazı ucucu organik maddelerin, sıcaklığa bağlı olarak bulunan Henrysabiti değerleri atmosfer olarak verilmiştir [4].

Tablo:4.4. Henry Sabiti Sıcaklık Bağlılıkları ($\log H = -\Delta H^\circ/RT + K$; $T, ^\circ K$)

Kimyasal Madde	ΔH°	K	H (atmosfer)		
			10°	20°	30°
Trikloroetilen	3410	8.59	336	540	844
Tetrakloroetilen	4290	10.38	564	1026	1797
Benzen	3680	8.68	137	229	370
Kloroform	4000	9.10	97	170	286
Karbontetralorür	4050	10.06	720	1270	2154
Bromoform				35	
Metilenklorür					

4.2.2. Maddenin Sıvı Fazda Moleküler Difüzyon Katsayısı

Maddenin sıvı fazda moleküler difüzyon katsayısı D_L 'nin yaklaşık hesabı için literatürde çeşitli metodlar mevcuttur [17]. Literatürden elde edilen verilere göre, bu metodlardan Wilke-Chang metodunun en çok kullanılan bir metod olduğu görülmüştür [10]. Çok sayıda kimyasal madde kullanılarak yapılan deneylerde bu metodunun ortalama mutlak hata değerinin %8.8 olduğu belirtilmiştir [17].

Bu metod aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$D_L = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\psi M_L)^{0.5} T}{\mu_L \cdot v_c^{0.6}} \quad (4.3)$$

Burada,

D_L : Maddenin sıvı fazda moleküler difüzyon katsayısı
(m^2/sn)

ψ : Sıvı hava arasında birleşme faktörü. Su hava sistemleri için dolgulu kulelerde 2.26 alınır
(boyutsuz)

M_L : Sıvının molekül ağırlığı (Su için 18.2 kg/k.mol)

T : Su sıcaklığı ($^{\circ}K$)

μ_L : Sıcaklığa bağlı olarak sıvı vizkozitesi (kg/m.sn)

v_c : Normal kaynama noktasında bileşiğin molal hacmi
($m^3/kmol$)

Burada v_c değeri literatürden veya aşağıdaki eşitlik yolu ile bulunabilir [2,4].

$$v_c = \frac{(\text{Karbonun atomik hacmi})(\text{Karbon atomları say}) + (\text{Hidrojen atom.Hac})(\text{Hidrojen atm.Say})}{1000}$$

Wilke,Chang metodu ile hesaplanan, çeşitli maddeleri ait D_L değerleri, literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir [12, 19].

4.2.3. Maddenin Gaz Fazda Moleküler Difrüzyon Katsayısı

Maddenin gaz fazla moleküler difüzyon katsayısı, D_G nin hesaplanmasında kullanılan farklı yöntemlere literatürde rastlanmaktadır [17]. Bu yöntemler arasında tavsiye edileni, Wilke-Lee modifikasyonu olan Hirschfelder-Bird-Spots yöntemidir.

Bu yöntem aşağıdaki gibi açıklanabilir [14].

$$D_G = \frac{1 \times 10^{-4} (1.084 - 0.249 \sqrt{1/M_A + 1/M_B}) T^{3/2} \sqrt{1/M_A + 1/M_B}}{P_t \cdot Z^2 \cdot f(kT/\epsilon_{AB})} \quad (4.5)$$

Burada,

D_G : Maddenin gaz fazda molekül difüzyon katsayısı, (m^2/sn)

M_A : Havanın molekül ağırlığı (28.95 kg/kmol)

M_B : Sıyrılması istenen bileşiğin molekül ağırlığı (kg/kmol)

T : Suyun sıcaklığı ($^{\circ}K$)

P_t : Kule içindeki mutlak basınç, (101,3 N/m²)

Z : Çarpışma halinde molekül parçalanma

K : Boltz man sabiti, (1.3805×10^{-23} J/K)

$f(kT/\epsilon_{AB})$: Çarpışma fonksiyonu

ϵ_{AB} : Molekül çekim enerjisi

(4.5. denklemindeki Z değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$Z = \frac{(Z_A + 1.18 V_C^{0.33})}{2} \quad (4.6)$$

Burada,

Z_A : Havanın molekül yarıçapı, (0,3711 boyutsuz)

$f(kT/\epsilon_{AB})$ ' nin hesabı için Şekil 4.1 kullanılır [14].

Burada yapılacak ilk iş, önce kT/ϵ değerini hesaplamaktır.

Bu değer,

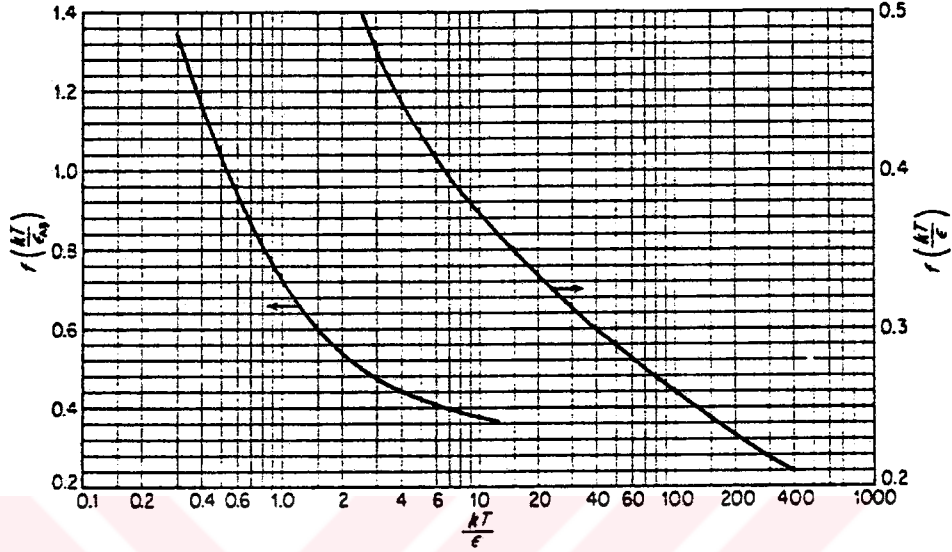
$$\frac{\epsilon}{k} = 1.21 T_b \quad (4.7)$$

$$\frac{\epsilon_{AB}}{k} = \sqrt{\frac{\epsilon}{k} (78.6)} \quad (4.7)$$

olmak üzere

$$\frac{kT}{\xi} = \frac{T}{\xi_{AB}/k} \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil:4.1. Difüzyon İçin Çarpışma Fonksiyonu

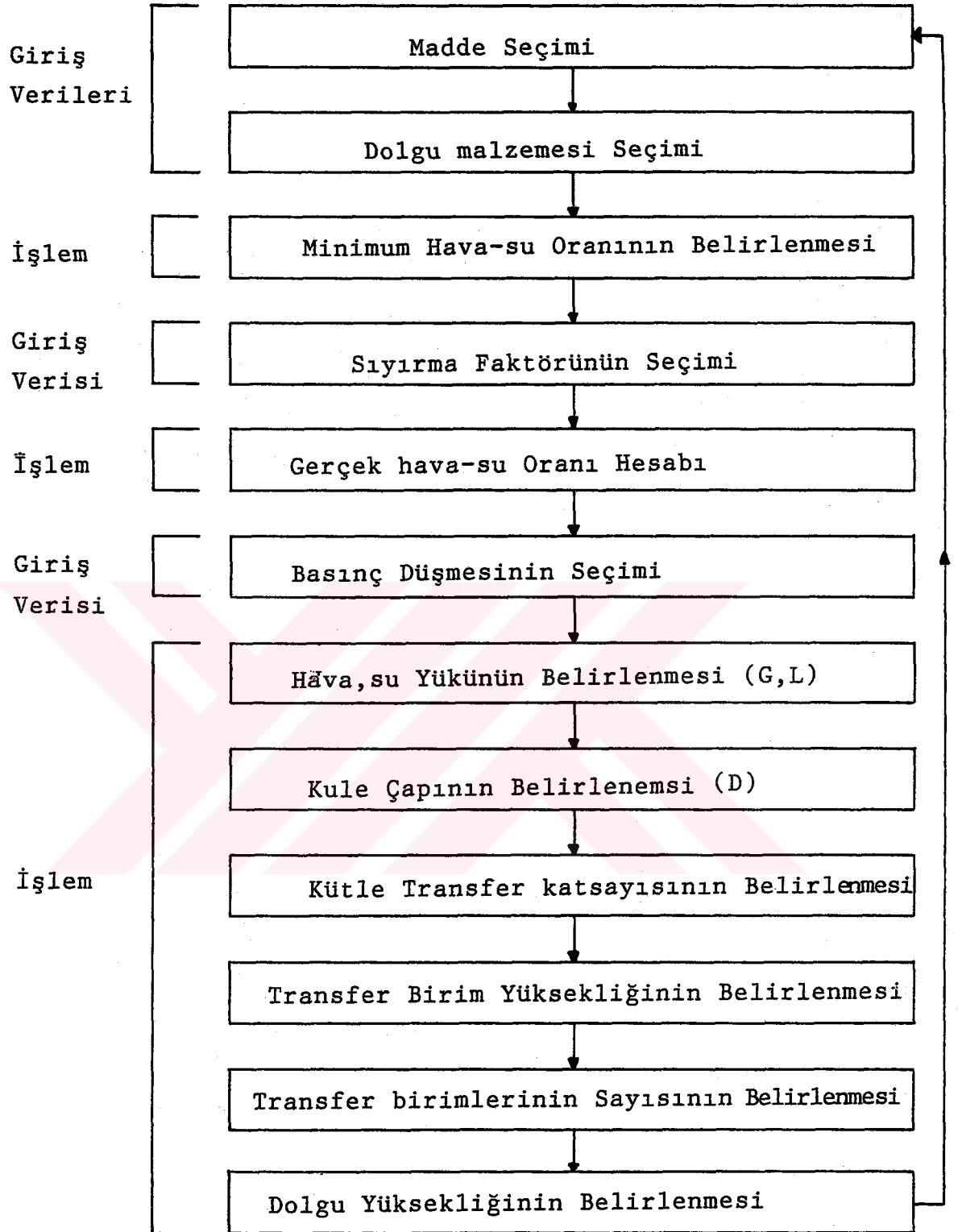
Burada,

T_b : Bileşiğin normal kaynama noktasıdır ($^{\circ}K$)
 $\frac{kT}{\xi}$ değeri bulunduğundan sonra, Şekil 4.1 kullanılarak esas ulaşılması istenen $f(kT/\xi_{AB})$ değeri bulunur.

Şekil 4.1' de verilen çarpışma fonksiyonu eğrisi, bilgisayar programı içinde verilmektedir.

4.3. Tasarım Programında İzlenilen Yol

Bu çalışmada kullanılan programın akım diyagramı Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil:4.2. Program Akış Diyagramı

4.3.1. Sudan Giderilecek Kirletici Maddenin Seçimi

Bu madde belirlenir ve tasarımda kullanılacak kirletici maddenin fiziksel ve kimyasal değerleri literatürden bulunur.

4.3.2. Dolgu Malzemesinin Seçimi

Dolgulu kulede giderme verimi, kule içinde kullanılan dolgu malzemesinin çeşidine göre değişmektedir. Dolgu malzeme çeşitleri ve özellikleri, 3. bölümde Şekil 3.3 ve Tablo 3.1' de verilmiştir.

4.3.3. Minimum Hava-Su Oranının Belirlenmesi

Bu oran aşağıdaki gibi ifade edilebilir [6]

$$\left(\frac{G}{L}\right)_{\min} = \left(\frac{C_o - C}{C_o}\right) \times \left(\frac{1}{H^*}\right) \quad (4.10)$$

Burada,

$$\left(\frac{G}{L}\right)_{\min}: \text{Minimum Hava-Su oranı}$$

G : Hacimsel birim gaz yükleme hızı (m^3/sn)

L : Hacimsel birim sıvı yükleme hızı (m^3/sn)

H*: Henry Sabiti (Boyutsuz)

C_o, C : Giriş ve çıkış konsantrasyonları ($\mu\text{g/L}$)

4.3.4. Sıyırma Faktörünün Seçimi

Sıyırma faktörü R ile gösterilir. İşletme halindeki hava su oranının teorik haldeki minimum hava-su oranına olan oranını verir. Sıyırma faktörü gerek maliyet, gerekse verim açısından oldukça önemli bir parametredir.

Su-hava sistemlerinde 2-5 arası değerleri tavsiye edilen değerlerdir [6,11].

4.3.5. İşletme Halinde Hava-Su Oranının Belirlenmesi

$$R = \frac{\left(\frac{G}{L}\right)_{\text{gerçek işletme}}}{\left(\frac{G}{L}\right)_{\text{min}}} \quad (4.11)$$

şeklinde ise,

$$\left(\frac{G}{L}\right)_{\text{gerçek}} = R \cdot \left(\frac{G}{L}\right)_{\text{min}} \quad (4.12)$$

şeklinde verilir [6].

4.3.6. Basınç Düşmesi Seçimi

Kule içinde bulunan dolgu malzemesi içindeki ilerleyen havanın genel haldeki basınç düşme eğrileri, 3. bölümde Şekil 3.4' de verilmektedir.

Basınç düşmeleri kule çapını etkilemekte, dolayısıyla inşaat maliyetlerine etki etmektedir. Büyük çaplı kulelerde düşük basınç düşmelerine rastlanır [6]

4.3.7. Kule Üzerindeki Hava ve Su Yükünün Belirlenmesi

Burada yapılması gereken ilk iş Şekil 3.4' teki x ve y eksenini değerlerinin bulunmasıdır.

Bunun için,

$$\frac{G'}{L'} = \text{Hava-Su oranı} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \quad (4.13)$$

denklemini göz önüne alınır. Burada,

- ρ_G : Gazın yoğunluğu (kg/m^3)
- ρ_L : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)
- G' : Hava akış hızı (m^3/sn)
- L' : Su akış hızı (m^3/sn)

şeklindedir [6].

Burada bulunan G'/L' değeri aşağıdaki (4.14) denkleminde yerine konarak Şekil 3.4' teki X eksen değeri bulunabilir.

$$X_{\text{ekseni değeri}} = \left(\frac{L'}{G'} \right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{1/2} \quad (4.14)$$

X eksen değeri bulunduktan sonra, Şekil 3.4 göz önüne alınarak, seçilen basınç düşmesi ve x eksen değeri kullanılarak y eksen Şekil 3.4' de bulunur.

Şekil 3.4' teki basınç düşmesi eğrileri 2° de bir fonksiyon olarak bilgisayar programında yer almaktadır.

y eksen değeri (4.15) eşitliğinde görülmektedir [6]

$$y_{\text{ekseni}} = \frac{(G_m^2 C_f N_L^{0.1} J)}{(\rho_G (\rho_L - \rho_G) g_c)} \quad (4.15)$$

Burada,

G_m : Gaz fazı kütleli debisi ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{sn}$)

C_f : Dolgu faktörü (1/m)

J : Fazın çeşidine göre hesaplanan bir katsayıdır.

Hava-su sistemlerinde 1' e eşittir.

ρ_G : Gazın yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_L : Sıvının yoğunluğu (kg/m^3)

g_c : Metrik birimler için 1' de eşit olan dönüşüm faktörü (youytsuz)

G değeri denklem (4.5)' ten kolayca hesaplanabilir. G değeri havanın yoğunluğuna bölündüğü takdirde $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{sn}$ şeklinde ifade edilir. Sıvı faz kütleli debisi L_m ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{sn}$)

$$\left(\frac{G}{L} \right) = \text{Hava-su oranı} \quad (4.16)$$

eşitliğinden G ve Hava-su oranı değerleri yerine konularak bulunur.

4.3.8. Kule Çapının Belirlenmesi

$$\text{Kule çapı } D = \left[\frac{4 Q}{\pi L} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

eşitliği ile verilir [6].

Burada,

D : Kule çapı (m)

Q : Debi (m³/sn)

L : Hacimsel birim su yükleme hızı (m³/m².sn)

şeklindedir.

Emniyet faktörü göz önüne alınarak kule çapı 1,2 değeri ile çarpılır.

4.3.9. Kütle Transfer Katsayısının Elde Edilmesi

Kütle transfer katsayılarının elde edilmesi için, 3. 2.3.'te gösterilen onda denklemleri göz önüne alınmıştır. Kütle transfer katsayısı,

$$k_L a = a_w \left[\frac{1}{k_L} + \frac{\int_G}{(28.95)(k_G \cdot H^*)} \right]^{-1} / EF \quad (4.18)$$

şeklinde verilir [6].

Bunda,

$k_L a$: Kütle transfer katsayısı (1/sn)

a_w : Dolgu malzemesi ıslak alanı (m²/m³)

k_L : Sıvı fazı kütle transfer katsayısı (m/sn)

k_G : Gaz fazı kütle transfer katsayısı (m/sn)

$\int_G$: Gaz yoğunluğu (kg/m³)

H^* : Henry sabiti (boyutsuz)

EF : Emniyet faktörü (1,2) şeklindedir.

4.3.10. Transfer Birim Yüksekliğinin Belirlenmesi

Bu değer,

$$HTU = \frac{L}{k_L a} \quad (4.19)$$

eşitliği ile verilir [6].

Burada,

L : Hacimsel birim sıvı yükleme hızı ($m^3/m^2.sn$)

$k_L a$: Kütle transfer katsayısı ($1/sn$)

HTU: Transfer birim yüksekliği (m)

4.3.11. Transfer Birimlerinin Sayısının Belirlenmesi

Transfer Birim Sayısı

$$NTU = \left(\frac{R}{R-1} \right) \ln \left[\frac{(C_0/C)(R-1)+1}{R} \right] \quad (4.20)$$

şeklinde verilir [6]

Burada,

R : Sıyırma faktörü

C_0 : Giriş konsantrasyonu (mg/L)

C : Çıkış konsantrasyonu (mg/L)

NTU : Transfer birim sayısı

4.3.12. Dolgu Yüksekliğinin Hesaplanması

Dolgu yüksekliği,

$$Z = (NTU) \times (HTU) \quad (4.21)$$

şeklinde verilir [6].

Burada,

Z : Dolgu yüksekliği (m) şeklindedir.

Bu şalışmada yapılan program , yukarıdakidenklemleri adım adım kapsamaktadır.



BÖLÜM 5. TASARIM SONUÇLARI

5.1. Genel

Sularda bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesi için kullanılan dolgulu kulelerin tasarım sonuçları bu bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölümde anlatıldığı üzere, tasarımın değişen koşullarda yapılmasından dolayı, bilgisayar programının işletilmesi sonucunda 30.000-35.000 adet arasında değer elde edilmektedir. Bu değerlerin hepsinin incelenmesinin mümkün olmayışı nedeni ile, bilgisayar çıkış verilerinde ilk 150 adım incelenmiş ve buna göre değerler seçilmiştir.

Tasarımda tek bir dolgu malzemesi, 13 mm boyutunda seramik Rasching Halkası kullanılmıştır. tek bir dolgu malzemesinin incelenmesinin nedeni, bilgisayar çıkış verilerinin az miktarda olmasının istenilmesinden dolayıdır. Dolgu malzemesinin 13 mm boyutunda ve Rasching Halkası olmasının nedeni ise, Rasching halkalarının en çok kullanılan olması ve 13 mm' de maksimum yüzey alanı sağlamasıdır. Zira büyük yüzey alanına sahip olan dolgu malzemelerinde, daha düşük miktarda dolgu yüksekliğinde, yüksek verimlere ulaşılır.

Tasarım sonuçları 7 ayrı madde için farklı sıcaklıklarda, tablolar halinde aşağıda verilmiş, (Tablo 5.1-8) 20°C sıcaklık için ayrıca çeşitli grafikler çizilmiştir. (Şekil 5.1-5)Tasarıma esas olan bilgisayar program yazılımı Ek-1 de verilmiştir.

5.2. Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Program çıkışlarından elde edilen değerlere göre varılan

sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sıvı ve Gaz fazı difüzyon değerleri sıcaklıkla artmaktadır.
- Verim arttıkça, hava-su oranı değerleri artmaktadır.
- Sıyırma faktörünün sabit kalması, verimin artması durumunda, dolgu yüksekliğinin arttığı gözlenmiştir.
- Kule apı, debinin artması ile büyümektedir.
- Hava su oranının artması ile, kütle transfer katsayı-sının azaldığı gözlenmiştir.
- Verim değişmediği, sıyırma faktörünün arttığı durumlarda, dolgu yüksekliğinin düştüğü gözlenmiştir.
- Verimin değişmediği, Hava-su oranının arttığı durumlarda dolgu yüksekliğinin düştüğü grlmştir.
- Sıcaklığın artması halinde, kütle transfer katsayı-sının arttığı gözlenmiştir.
- Sıyırma faktörü artığında, Hava-su oranı değeride artmaktadır. Elde edilen sonuçlar, literatürde yapılan teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında uygunluk gözlenmektedir [9,13,20,21].

Yine tasarım çıkışlarının değerlendirilmesinden elde edilen diğer bir sonuç, Henry sabiti küçük, yani uçuculuğu az olan maddelerin hava-su oranı değerlerinin oldukça yüksek bulunmasıdır. Burada, uçuculuğu düşük olan maddelerin sulardan giderilmesinde daha yüksek miktarda hava verilmesi gerektiği görülmektedir. Bromoform bu maddelere örnek verilebilir.

Karbontetraklorür, tetrakloroetilen gibi uçuculuğu yüksek olan maddelerin sulardan giderilmesinde düşük miktarda hava-su oranları yeterli olmaktadır. Bu durum tablolardan kolayca görülebilir.

Tablo: 5.1. Sıcaklıkla Değişen, Sıvı ve Gaz. Fazı Difüzyon Değerleri

Madde Adı	Sıcaklık °C	D_G (m ² /sn)	D_L (m ² /sn)
Metilenklorür	10	$1.139 \cdot 10^{-5}$	$7.937 \cdot 10^{-10}$
Metilenklorür	20	$1.208 \cdot 10^{-5}$	$1.071 \cdot 10^{-9}$
Metilenklorür	30	$1.273 \cdot 10^{-5}$	$1.392 \cdot 10^{-9}$
Kloroform	10	$9.716 \cdot 10^{-6}$	$6.804 \cdot 10^{-10}$
Kloroform	20	$1.039 \cdot 10^{-5}$	$9.188 \cdot 10^{-10}$
Kloroform	30	$1.104 \cdot 10^{-5}$	$1.193 \cdot 10^{-9}$
Tetrakloroetilen	10	$8.044 \cdot 10^{-6}$	$5.592 \cdot 10^{-10}$
Tetrakloroetilen	20	$8.651 \cdot 10^{-6}$	$7.551 \cdot 10^{-10}$
Tetrakloroetilen	30	$9.253 \cdot 10^{-6}$	$9.812 \cdot 10^{-10}$
Benzen	10	$1.003 \cdot 10^{-5}$	$6.645 \cdot 10^{-10}$
Benzen	20	$1.072 \cdot 10^{-5}$	$8.974 \cdot 10^{-10}$
Benzen	30	$1.140 \cdot 10^{-5}$	$1.166 \cdot 10^{-9}$
Karbontetraklorür	10	$8.799 \cdot 10^{-6}$	$6.019 \cdot 10^{-10}$
Karbontetraklorür	20	$9.407 \cdot 10^{-6}$	$8.129 \cdot 10^{-10}$
Karbontetraklorür	30	$9.992 \cdot 10^{-6}$	$1.056 \cdot 10^{-9}$
Bromoform	10	$8.480 \cdot 10^{-6}$	$6.504 \cdot 10^{-10}$
Bromoform	20	$9.146 \cdot 10^{-6}$	$8.784 \cdot 10^{-10}$
Bromoform	30	$9.814 \cdot 10^{-6}$	$1.141 \cdot 10^{-9}$
Trikloroetilen	10	$9.045 \cdot 10^{-6}$	$6.223 \cdot 10^{-10}$
Trikloroetilen	20	$9.685 \cdot 10^{-6}$	$8.404 \cdot 10^{-10}$
Trikloroetilen	30	$1.030 \cdot 10^{-5}$	$1.092 \cdot 10^{-9}$

Tablo: 5.2. Bromoform İçin Hesaplanmış Tasarım Değerleri

Sıcaklık:10°C

VERİLENLER					SONUÇLAR			
R	Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.02	50	134.95	1.104.10 ⁻³	5.363	0.936	
2	50	0.05	50	134.95	1.104.10 ⁻³	8.479	0.936	
2	50	0.19	70	140.00	9.309.10 ⁻⁴	19.237	1.564	
2	50	0.17	90	152.99	8.631.10 ⁻⁴	19.720	3.167	
2	50	0.12	95	155.00	8.414.10 ⁻⁴	16.947	4.283	
2	50	0.07	99	156.00	8.236.10 ⁻⁴	13.183	7.036	
2	50	0.10	99	156.99	8.236.10 ⁻⁴	15.757	7.036	
3	100	0.09	50	225.99	1.355.10 ⁻³	10.810	0.798	
3	100	0.04	70	234.00	1.133.10 ⁻³	8.365	1.302	
3	100	0.02	90	266.99	1.077.10 ⁻³	6.285	2.515	
3	100	0.05	90	266.99	1.077.10 ⁻³	9.937	2.515	
3	100	0.16	95	268.10	1.041.10 ⁻³	18.258	3.317	
3	100	0.11	99	268.32	1.013.10 ⁻³	15.454	5.258	
3	100	0.14	99	268.32	1.013.10 ⁻³	17.434	5.258	
4	200	0.113	50	253.99	1.253.10 ⁻³	14.137	0.710	
4	200	0.16	50	253.99	1.253.10 ⁻³	15.684	0.710	
4	200	0.08	70	313.00	1.266.10 ⁻³	11.821	1.173	
4	200	0.06	90	314.99	1.026.10 ⁻⁴	11.577	2.184	
4	200	0.18	99	318.33	9.651.10 ⁻⁴	20.996	4.470	
5	400	0.17	50	303.99	1.267.10 ⁻³	16.520	0.662	
5	400	0.20	50	303.99	1.267.10 ⁻³	17.918	0.662	
5	400	0.15	70	367.00	1.199.10 ⁻³	16.651	1.089	
5	400	0.13	90	370.99	1.015.10 ⁻³	17.544	2.006	
5	400	0.05	95	371.99	9.804.10 ⁻⁴	11.165	2.612	
5	400	0.08	95	371.99	9.804.10 ⁻⁴	14.123	2.612	
5	400	0.03	99	373.89	9.529.10 ⁻⁴	8.831	4.058	

Tablo: 5.2. Devamı

Sıcaklık: 20° C

VERİLER				SONUÇLAR			
R. Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G./I.Hacim. Boyutsuz	Kla(1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.04	50	57.99	2.366.10 ⁻³	5.952	0.709
2	50	0.07	50	57.99	2.366.10 ⁻³	7.873	0.709
2	50	0.18	70	66.99	2.203.10 ⁻³	13.886	1.201
2	50	0.16	90	139.00	1.956.10 ⁻³	14.552	2.415
2	50	0.11	95	141.12	1.893.10 ⁻³	12.396	3.260
2	50	0.06	99	142.18	1.853.10 ⁻³	9.317	5.364
2	50	0.09	99	142.18	1.853.10 ⁻³	11.411	5.364
3	100	0.08	50	101.99	3.066.10 ⁻³	7.725	0.614
3	100	0.06	70	103.50	2.509.10 ⁻³	7.885	0.992
3	100	0.09	70	103.50	2.509.10 ⁻³	9.658	0.992
3	100	0.20	90	114.401	2.336.10 ⁻³	15.493	1.909
3	100	0.15	95	117.00	2.279.10 ⁻³	13.698	2.523
3	100	0.13	99	117.93	2.230.10 ⁻³	12.982	4.001
4	200	0.15	50	115.99	2.854.10 ⁻³	11.484	0.545
4	200	0.10	70	126.49	2.480.10 ⁻³	10.626	0.883
4	200	0.13	70	126.49	2.480.10 ⁻³	12.115	0.883
4	200	0.05	90	261.00	2.157.10 ⁻³	8.390	1.648
4	200	0.03	95	261.47	2.088.10 ⁻³	6.664	2.155
4	200	0.06	95	261.47	2.088.10 ⁻³	9.424	2.155
4	200	0.17	99	262.00	2.035.10 ⁻³	16.180	3.372
5	400	0.03	50	136.00	2.833.10 ⁻³	5.308	0.506
5	400	0.119	50	136.00	2.833.10 ⁻³	13.357	0.506
5	400	0.14	70	155.00	2.548.10 ⁻³	12.679	0.825
5	400	0.09	90	312.99	2.167.10 ⁻³	11.488	1.517
5	400	0.07	95	314.17	2.091.10 ⁻³	10.406	1.974
5	400	0.02	99	318.09	2.034.10 ⁻³	5.675	3.067

Tablo: 5.2. Devamı

Sıcaklık: 30 °C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R. Boyt.	P _{drop} N /m ² /m	q (m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim. Boyutsuz	KL a(1/sn)	D (m)	Z (m)
2	50	0.03	50	32.66	4.713.10 ⁻³	4.105	5.561
2	50	0.09	50	32.66	4.713.10 ⁻³	7.109	0.561
2	50	0.20	70	36.66	4.276.10 ⁻³	11.851	0.944
2	50	0.15	90	58.99	3.873.10 ⁻³	11.320	1.890
2	50	0.10	95	59.99	3.795.10 ⁻³	9.425	2.559
2	50	0.13	45	59.99	3.79510. ⁻³	10.746	2.559
2	50	0.08	99	60.99	3.782.10 ⁻³	8.486	4.225
3	100	0.07	50	39.99	5.685.10 ⁻³	6.003	0.480
3	100	0.05	70	67.33	5.570.10 ⁻³	5.391	0.797
3	100	0.08	70	67.33	5.570.10 ⁻³	6.820	0.797
3	100	0.19	90	69.66	4.404.10 ⁻³	11.689	1.518
3	100	0.17	95	71.21	4.772.10 ⁻³	11.301	2.006
3	100	0.12	99	72.07	4.646.10 ⁻³	9.698	3.176
3	100	0.15	99	72.07	4.646.10 ⁻³	10.843	3.176
4	200	0.14	50	56.74	6.323.10 ⁻³	8.315	0.438
4	200	0.09	70	78.33	5.292.10 ⁻³	7.720	0.705
4	200	0.04	90	118.99	4.538.10 ⁻³	5.800	1.312
4	200	0.07	90	118.99	4.538.10 ⁻³	7.673	1.312
4	200	0.02	95	121.66	4.384.10 ⁻³	4.211	1.714
4	200	0.16	99	122.45	4.264.10 ⁻³	12.162	2.680
5	400	0.18	50	68.74	6.470.10 ⁻³	9.556	0.410
5	400	0.13	70	92.66	5.272.10 ⁻³	9.529	0.655
5	400	0.16	70	92.66	5.272.10 ⁻³	10.472	0.655
5	400	0.11	90	139.50	4.476.10 ⁻³	9.919	1.205
5	400	0.14	90	139.50	4.476.10 ⁻³	11.190	1.205
5	400	0.06	95	142.08	4.307.10 ⁻³	7.538	1.565
5	400	0.04	99	144.54	4.202.10 ⁻³	5.952	2.477

Tablo: 5.3. Trikloretillen İçin Hesaplanmış Tasarı Değerleri

Sıcaklık: 10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim. boyutsuz	KL a(1/sn)	D (m)	z (m)
2	50	0.14	90	10.83	5.946.10 ⁻³	6.298	3.712
2	50	0.17	90	10.83	5.946.10 ⁻³	6.940	3.712
2	50	0.20	90	10.83	5.946.10 ⁻³	7.528	3.712
2	50	0.12	95	10.94	5.802.10 ⁻³	5.831	5.120
2	50	0.15	95	10.94	5.802.10 ⁻³	6.519	5.120
2	50	0.07	99	11.16	5.707.10 ⁻³	4.593	8.366
2	50	0.13	99	11.16	5.707.10 ⁻³	6.259	8.366
3	100	0.09	50	8.18	9.028.10 ⁻³	3.826	0.957
3	100	0.12	50	8.18	9.028.10 ⁻³	4.417	0.957
3	100	0.04	70	10.55	7.518.10 ⁻³	2.913	1.618
3	100	0.07	70	10.55	7.518.10 ⁻³	3.584	1.618
3	100	0.02	90	14.28	6.268.10 ⁻³	2.345	3.107
3	100	0.16	95	15.02	6.131.10 ⁻³	6.819	4.019
3	100	0.11	99	16.82	6.028.10 ⁻³	5.652	6.607
4	200	0.13	50	11.32	7.905.10 ⁻³	5.074	0.871
4	200	0.08	70	15.28	6.583.10 ⁻³	4.545	1.455
4	200	0.06	90	18.32	5.494.10 ⁻³	4.465	2.742
4	200	0.04	95	22.19	5.324.10 ⁻³	3.726	3.605
4	200	0.20	95	22.19	5.324.10 ⁻³	8.332	3.605
4	200	0.02	99	22.40	5.166.10 ⁻³	2.690	5.653
4	200	0.18	99	22.40	5.166.10 ⁻³	8.071	5.653
5	400	0.04	50	13.99	7.179.10 ⁻³	3.032	0.816
5	400	0.20	50	13.99	7.179.10 ⁻³	6.780	0.816
5	400	0.15	70	19.33	5.917.10 ⁻³	6.722	1.354
5	400	0.10	90	23.80	4.939.10 ⁻³	6.216	2.528
5	400	0.13	90	23.80	4.939.10 ⁻³	7.087	2.528
5	400	0.08	95	26.32	4.718.10 ⁻³	5.660	3.314
5	400	0.03	99	29.75	4.689.10 ⁻³	3.527	5.169

Tablo:5.3. Devamı

Sıcaklık : 20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn) N/m ² /m	Verim%	G/LHacim. boyutsuz	KL _a (1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.11	95	5.89	1.184.10 ⁻²	4.543	3.879
3	100	0.03	70	7.00	1.502.10 ⁻²	2.053	1.223
3	100	0.06	70	7.00	1.502.10 ⁻²	2.903	1.223
3	100	0.04	90	7.75	1.383.10 ⁻²	2.515	2.446
3	100	0.2	90	7.75	1.383.10 ⁻²	5.625	2.446
3	100	0.02	95	9.40	1.290.10 ⁻²	1.870	3.189
3	100	0.15	95	9.40	1.290.10 ⁻²	5.121	3.189
3	100	0.18	95	9.40	1.290.10 ⁻²	5.610	3.189
3	100	0.13	99	4.54	1.192.10 ⁻²	4.768	5.128
3	100	0.16	99	4.54	1.192.10 ⁻²	5.289	5.128
4	200	0.12	50	6.12	1.771.10 ⁻²	3.662	0.691
4	200	0.15	50	6.12	1.771.10 ⁻²	4.094	0.691
4	200	0.10	70	9.26	1.366.10 ⁻²	4.029	1.115
4	200	0.13	70	9.26	1.366.10 ⁻²	4.564	1.115
4	200	0.5	90	10.49	1.211.10 ⁻²	3.104	2.145
4	200	0.11	90	10.49	1.211.10 ⁻²	4.604	2.145
4	200	0.03	95	11.77	1.149.10 ⁻²	2.495	2.793
4	200	0.06	95	11.77	1.149.10 ⁻²	3.528	2.793
4	200	0.17	99	11.90	1.084.10 ⁻²	5.939	4.429
5	400	0.03	50	8.23	1.544.10 ⁻²	2.028	0.636
5	400	0.19	50	8.23	1.544.10 ⁻²	5.104	0.636
5	400	0.14	70	11.10	1.270.10 ⁻²	5.038	1.048
5	400	0.17	70	11.10	1.270.10 ⁻²	5.551	1.048
5	400	0.09	90	14.37	1.094.10 ⁻²	4.485	1.972
5	400	0.12	90	14.37	1.094.10 ⁻²	5.179	1.972
5	400	0.07	95	14.49	1.047.10 ⁻²	4.077	2.566
5	400	0.10	95	14.49	1.047.10 ⁻²	4.873	2.566
5		0b08	99	16.71	1.005.10 ⁻²	4.484	3.976

Tablo 5.3. Devamı

Sıcaklık : 30 °C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q (m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim. boyutsuz	KL a(1/sn)	D (m)	Z (m)
3	100	0.12	99	5.87	2.422.10 ⁻²	3.758	4.058
3	100	0.15	99	5.87	2.422.10 ⁻²	4.201	4.058
3	100	0.18	99	5.87	2.422.10 ⁻²	4.602	4.058
4	200	0.09	70	4.95	2.971.10 ⁻²	2.824	0.939
4	200	0.12	70	4.95	2.971.10 ⁻²	3.261	0.939
4	200	0.15	70	4.95	2.971.10 ⁻²	3.645	0.939
4	200	0.04	90	7.21	2.313.10 ⁻²	2.250	1.711
4	200	0.07	90	7.21	2.313.10 ⁻²	2.976	1.711
4	200	0.10	90	7.21	2.313.10 ⁻²	3.557	1.711
4	200	0.02	95	8.79	2.213.10 ⁻²	1.591	2.276
4	200	0.05	95	8.79	2.213.10 ⁻²	2.515	2.276
4	200	0.03	99	9.23	2.098.10 ⁻²	1.948	3.611
4	200	0.16	99	9.23	2.098.10 ⁻²	4.499	3.611
4	200	0.19	99	9.23	2.098.10 ⁻²	4.903	3.611

Tablo: 5.4. Benzen için Hesaplanmış Tasarım Değerleri

Sıcaklık: 10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R. Boyut	Pdrop N/m ² /m	q (m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim. Boyutsuz	KL _a (1/sn)	D (m)	Z (m)
2	50	0.02	50	8.57	6.353.10 ⁻³	2.214	0.955
2	50	0.05	50	8.57	6.353.10 ⁻³	3.500	0.955
2	50	0.19	70	11.50	5.391.10 ⁻³	7.786	1.648
2	50	0.14	90	14.79	4.872.10 ⁻³	7.221	3.446
2	50	0.17	90	14.79	4.872.10 ⁻³	7.957	3.446
2	50	0.12	95	14.99	4.722.10 ⁻³	6.844	4.680
2	50	0.07	99	18.99	4.580.10 ⁻³	5.346	7.693
3	100	0.09	50	12.24	6.733.10 ⁻³	4.684	0.856
3	100	0.07	70	17.16	5.568.10 ⁻³	4.743	1.442
3	100	0.02	90	21.19	4.786.10 ⁻³	2.823	2.806
3	100	0.16	95	26.49	4.659.10 ⁻³	8.138	3.730
3	100	0.19	95	26.49	4.659.10 ⁻³	8.868	3.730
3	100	0.11	99	26.74	4.539.10 ⁻³	6.872	5.936
3	100	0.14	99	26.74	4.539.10 ⁻³	7.753	5.936
4	200	0.13	50	18.00	6.045.10 ⁻³	6.118	0.786
4	200	0.11	70	22.40	4.870.10 ⁻³	6.561	1.297
4	200	0.06	90	28.80	4.700.10 ⁻³	4.864	2.578
4	200	0.09	90	28.80	4.700.10 ⁻³	5.957	2.578
4	200	0.20	95	32.00	4.585.10 ⁻³	8.574	3.476
4	200	0.18	99	34.73	4.312.10 ⁻³	8.369	5.427
5	400	0.17	50	19.49	5.524.10 ⁻³	7.486	0.740
5	400	0.20	50	19.49	5.524.10 ⁻³	8.119	0.740
5	400	0.15	70	30.19	5.225.10 ⁻³	7.398	1.266
5	400	0.10	90	35.60	5.018.10 ⁻³	6.251	2.460
5	400	0.05	95	44.75	4.850.10 ⁻³	4.525	3.215
5	400	0.08	95	44.75	4.850.10 ⁻³	5.724	3.215
5	400	0.03	99	45.00	4.695.10 ⁻³	3.584	5.000

Tablo: 5.4. Devamı

Sıcaklık: 20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyut.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KL _a (1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.16	90	9.42	8.827.10 ⁻³	6.653	2.561
2	50	0.19	90	9.42	8.827.10 ⁻³	7.250	2.561
2	50	0.11	95	9.81	8.643.10 ⁻³	5.516	3.532
2	50	0.06	99	11.49	9.490.10 ⁻³	4.201	5.761
2	50	0.09	99	11.49	8.490.10 ⁻³	5.145	5.761
3	100	0.08	50	7.75	1.540.10 ⁻²	3.557	0.662
3	100	0.11	50	7.75	1.340.10 ⁻²	4.171	0.662
3	100	0.03	70	10.88	1.122.10 ⁻²	2.489	1.113
3	100	0.06	70	10.88	1.122.10 ⁻²	3.520	1.113
3	100	0.20	90	14.71	9.411.10 ⁻³	7.314	2.126
3	100	0.15	95	17.32	9.060.10 ⁻³	6.510	2.810
3	100	0.13	99	19.77	8.800.10 ⁻³	6.061	4.518
4	200	0.12	50	10.49	1.185.10 ⁻²	4.808	0.599
4	200	0.15	50	10.49	1.185.10 ⁻²	5.376	0.599
4	200	0.10	70	15.71	9.889.10 ⁻³	5.011	0.996
4	200	0.13	70	15.71	9.889.10 ⁻³	5.714	0.996
4	200	0.05	90	19.00	8.290.10 ⁻³	4.019	1.869
4	200	0.08	90	19.00	8.290.10 ⁻³	5.084	1.869
4	200	0.03	95	22.79	8.039.10 ⁻³	3.182	2.456
4	200	0.20	99	23.00	7.804.10 ⁻³	8.388	3.848
5	400	0.19	50	14.37	1.077.10 ⁻²	6.517	0.559
5	400	0.14	70	19.83	8.924.10 ⁻³	6.403	0.924
5	400	0.12	90	24.40	7.477.10 ⁻³	1.712	1.718
5	400	0.15	90	24.40	7.477.10 ⁻³	7.505	1.728
5	400	0.07	95	24.60	7.286.10 ⁻³	5.220	2.251
5	400	0.02	99	25.49	7.106.10 ⁻³	2.839	3.510
5	400	0.05	99	25.49	7.106.10 ⁻³	4.489	3.510

Tablo: 5.4. Devamı

Sıcaklık: 30°C

VERİLEENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q (m ³ /sn)	Veril%	G/L Hacim Boyutsuz	KL a(1/sn)	D (m)	z (m)
3	100	0.05	70	7.91	1.937.10 ⁻²	2.778	0.863
3	100	0.08	70	7.91	1.937.10 ⁻²	3.513	0.863
3	100	0.06	90	9.80	1.706.10 ⁻²	3.343	1.683
3	100	0.19	90	9.80	1.706.10 ⁻²	5.949	1.683
3	100	0.17	95	10.44	1.650.10 ⁻²	5.628	2.261
3	100	0.20	95	10.44	1.650.10 ⁻²	6.104	2.262
3	100	0.12	99	11.11	1.618.10 ⁻²	4.918	3.546
3	100	0.15	99	11.11	1.618.10 ⁻²	5.499	3,546
4	200	0.14	50	7.21	2.230.10 ⁻²	4.209	0.484
4	200	0.17	50	7.21	2.230.10 ⁻²	4.638	0.484
4	200	0.09	70	9.63	1.805.10 ⁻²	3.950	0.790
4	200	0.12	70	9.63	1.805.10 ⁻²	4.561	0.790
4	200	0.04	90	13.75	1.549.10 ⁻²	2.944	1.491
4	200	0.07	90	13.75	1.549.10 ⁻²	3.895	1.491
4	200	0.02	95	13.87	1.483.10 ⁻²	2.149	1.946
4	200	0.05	95	13.87	1.483.10 ⁻²	3.398	1.946
4	200	0.16	99	14.90	1.314.10 ⁻²	6.078	3.086
5	400	0.02	50	9.25	2.018.10 ⁻²	1.723	0.449
5	400	0.18	50	9.25	2.018.10 ⁻²	5.169	0.449
5	400	0.16	70	12.99	1.621.10 ⁻²	5.718	0.728
5	400	0.19	70	12.99	1.621.10 ⁻²	6.232	0.728
5	400	0.11	90	17b14	1.428.10 ⁻²	5.193	1.377
5	400	0.06	95	17.28	1.376.10 ⁻²	3.939	1.794
5	400	0.09	95	17.28	1.376.10 ⁻²	4.824	1.794
5	400	0.04	99	17.71	1.327.10 ⁻²	3.299	2.783
5	400	0.07	99	17.71	1.327.10 ⁻²	4.364	2.783

Tablo 5.5. Metilenklorür için Hesaplanmış Tasarım Değerleri

Sıcaklık: 10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R. Boyt.	P _{drop} N/m ² /m	q (m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KL a ¹ /sn) Boyutsuz	D (m)	Z(m)
2	50	0.02	50	18.99	4.433.10 ⁻³	2.858	0.821
2	50	0.05	50	18.99	4.433.10 ⁻³	4.518	0.821
2	50	0.03	70	27.32	3.735.10 ⁻³	4.009	1.417
2	50	0.19	70	27.32	3.732.10 ⁻³	10.088	1.417
2	50	0.14	90	33.32	3.689.10 ⁻³	8.906	2.992
2	50	0.12	95	33.91	3.550.10 ⁻³	8.462	4.072
2	50	0.07	99	35.15	3.432.10 ⁻³	6.628	6.680
3	100	0.09	50	26.74	4.498.10 ⁻³	6.216	0.727
3	100	0.04	70	36.99	4.552.10 ⁻³	4.224	1.271
3	100	0.02	90	51.00	3.926.10 ⁻³	3.326	2.466
3	100	0.05	90	51.00	3.926.10 ⁻³	5.258	2.466
3	100	0.16	95	52.06	3.827.10 ⁻³	9.580	3.277
3	100	0.19	95	52.06	3.827.10 ⁻³	10.440	3.277
3	100	0.14	99	51.32	3.734.10 ⁻³	9.121	5.213
4	200	0.13	50	31.99	5.051.10 ⁻³	7.112	0.696
4	200	0.16	50	31.99	5.051.10 ⁻³	7.890	0.696
4	200	0.08	70	41.49	4.130.10 ⁻³	6.452	1.150
4	200	0.06	90	53.74	4.118.10 ⁻³	5.585	2.278
4	200	0.09	90	53.74	4.118.10 ⁻³	6.840	2.278
4	200	0.2	95	72.32	4.109.10 ⁻³	10.404	2.995
4	200	0.18	99	72.66	3.996.10 ⁻³	10.067	4.696
5	400	0.17	50	45.00	4.779.10 ⁻³	8.532	0.658
5	400	0.2	50	45.00	4.779.10 ⁻³	9.254	0.658
5	400	0.15	70	63.49	4.541.10 ⁻³	7.993	1.147
5	400	0.13	90	86.65	4.194.10 ⁻³	8.374	2.146
5	400	0.05	95	86.99	4.016.10 ⁻³	5.335	2.793
5	400	0.08	95	86.99	4.016.10 ⁻³	6.748	2.793
5	400	0.03	99	89.60	3.916.10 ⁻³	4.205	4.355

Tablo:5.5. Devamı

Sıcaklık:20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D (m)	Z(m)
2	50	0.04	50	11.49	8.157.10 ⁻³	3.430	0.619
2	50	0.07	50	11.49	8.157.10 ⁻³	4.538	0.619
2	50	0.18	70	15.19	7.221.10 ⁻³	8.085	1.081
2	50	0.16	90	20.00	6.475.10 ⁻³	8.323	2.230
2	50	0.19	90	20.00	6.475.10 ⁻³	9.070	2.230
2	50	0.11	95	20.24	6.312.10 ⁻³	7.040	3.032
2	50	0.06	99	20.49	6.158.10 ⁻³	5.300	4.990
3	100	0.08	50	17.32	8.933.10 ⁻³	4.755	0.556
3	100	0.11	50	17.32	8.933.10 ⁻³	5.575	0.556
3	100	0.03	70	21.59	7.453.10 ⁻³	3.343	0.929
3	100	0.20	90	26.19	7.172.10 ⁻³	9.015	1.836
3	100	0.15	95	33.49	7.151.10 ⁻³	7.839	2.455
3	100	0.18	95	33.49	7.151.10 ⁻³	8.587	2.455
3	100	0.18	99	35.00	7.063.10 ⁻³	8.193	3.904
4	200	0.12	50	22.79	8.024.10 ⁻³	6.364	0.505
4	200	0.10	70	29.00	7.583.10 ⁻³	6.171	0.856
4	200	0.08	90	41.49	7.192.10 ⁻³	5.787	1.663
4	200	0.11	90	41.49	7.192.10 ⁻³	6.786	1.663
4	200	0.03	95	41.74	6.963.10 ⁻³	3.627	2.182
4	200	0.06	95	41.74	6.963.10 ⁻³	5.129	2.182
4	200	0.17	99	42.00	6.754.10 ⁻³	8.824	3.415
5	400	0.03	50	24.60	7.165.10 ⁻³	3.477	0.466
5	400	0.19	50	24.60	7.165.10 ⁻³	8.750	0.466
5	400	0.14	70	36.60	7.908.10 ⁻³	7.202	0.824
5	400	0.09	90	46.74	6.695.10 ⁻³	6.502	1.534
5	400	0.07	95	47.25	6.441.10 ⁻³	5.893	1.998
5	400	0.10	95	47.25	6.441.10 ⁻³	7.043	1.998
5	400	0.05	99	49.20	6.284.10 ⁻³	5.067	3.114

Tablo: 5.5. Devamı

Sıcaklık 30°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.04	70	9.72	1.238.10 ⁻²	3.291	0.845
2	50	0.2	70	9.72	1.238.10 ⁻²	7.359	0.845
2	50	0.15	90	12.00	1.157.10 ⁻²	6.761	1.772
2	50	0.18	90	12.00	1.157.10 ⁻²	7.406	1.772
2	50	0.10	95	12.32	1.121.10 ⁻²	5.670	2.392
2	50	0.13	95	12.32	1.121.10 ⁻²	6.465	2.392
2	50	0.08	99	15.19	1.087.10 ⁻²	5.202	3.910
3	100	0.07	50	9.80	1.673.10 ⁻³	3.611	0.450
3	100	0.10	50	9.80	1.673.10 ⁻²	4.316	0.450
3	100	0.05	70	14.85	1.403.10 ⁻²	3.509	0.746
3	100	0.08	70	14.85	1.403.10 ⁻²	4.439	0.746
3	100	0.19	90	18.16	1.183.10 ⁻²	7.792	1.416
3	100	0.17	95	21.99	1.148.10 ⁻²	7.537	1.875
3	100	0.12	99	23.23	1.096.10 ⁻²	6.332	3.015
4	200	0.14	50	13.87	1.477.10 ⁻²	5.685	0.401
4	200	0.09	70	19.33	1.240.10 ⁻²	5.206	0.662
4	200	0.12	70	19.33	1.240.10 ⁻²	6.011	0.662
4	200	0.04	90	23.80	1.050.10 ⁻²	3.923	1.238
4	200	0.02	95	24.00	1.025.10 ⁻²	2.824	1.630
4	200	0.16	99	30.00	1.001.10 ⁻²	8.126	2.557
4	200	0.19	99	30.00	1.001.10 ⁻²	8.855	2.557
5	400	0.02	50	17.28	1.382.10 ⁻²	2.274.	0.376
5	400	0.18	50	17.28	1.382.10 ⁻²	6.823	0.376
5	400	0.13	70	25.00	1.121.10 ⁻²	6.770	0.610
5	400	0.11	90	32.00	1.096.10 ⁻²	6.258	1.180
5	400	0.14	90	32.00	1.096.10 ⁻²	7.060	1.188
5	400	0.04	99	32.66	1.000.10 ⁻²	3.652	2.491
5	400	0.07	99	32.66	1.000.10 ⁻²	4.832	2.491

Tablo:5.6. Tetrakloroetilen için Hesaplanmış Tasarım değerleri

Sıcaklık: 10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
3	100	0.04	70	6.83	9.749.10 ⁻³	2.404	1.832
3	100	0.07	70	6.83	9.749.10 ⁻³	3.181	1.832
3	100	0.02	90	9.19	8.356.10 ⁻³	1.896	3.566
3	100	0.05	90	9.19	8.356.10 ⁻³	2.997	3.566
3	100	0.16	95	9.78	8.013.10 ⁻³	5.362	4.792
3	100	0.11	99	10.44	7.580.10 ⁻³	4.645	7.514
4	200	0.13	50	6.85	1.035.10 ⁻²	4.168	0.989
4	200	0.16	50	6.85	1.035.10 ⁻²	4.624	0.989
4	200	0.08	70	8.99	8.845.10 ⁻³	3.654	1.675
4	200	0.11	70	8.99	8.845.10 ⁻³	4.285	1.675
4	200	0.06	90	11.44	7.421.10 ⁻³	3.577	3.165
4	200	0.2	95	12.99	7.063.10 ⁻³	6.757	4.132
4	200	0.18	99	13.69	7.001.10 ⁻³	6.410	6.553
5	400	0.17	50	7.99	1.000.10 ⁻²	4.897	0.954
5	400	0.20	50	7.99	1.000.10 ⁻²	5.311	0.954
5	400	0.15	70	12.21	7.768.10 ⁻³	5.490	1.546
5	400	0.18	70	12.21	7.768.10 ⁻³	6.014	1.546
5	400	0.10	90	14.12	6.744.10 ⁻³	4.941	2.929
5	400	0.13	90	14.12	6.744.10 ⁻³	5.634	2.929
5	400	0.05	95	16.28	6.469.10 ⁻³	3.595	3.818
5	400	0.11	95	16.28	6.469.10 ⁻³	5.332	3.818
5	400	0.03	99	17.30	6.271.10 ⁻³	2.785	6.012

Tablo:5.6. Devamı

Sıcaklık:20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
4	200	0.10	70	5.00	$2.028 \cdot 10^{-2}$	3.022	1.335
4	200	0.13	70	5.00	$2.028 \cdot 10^{-2}$	3.445	1.335
4	200	0.05	90	7.06	$1.577 \cdot 10^{-2}$	2.548	2.444
4	200	0.08	90	7.06	$1.577 \cdot 10^{-2}$	3.223	2.444
4	200	0.11	90	7.06	$1.577 \cdot 10^{-2}$	3.779	2.444
4	200	0.03	95	7.19	$1.441 \cdot 10^{-2}$	1.974	3.252
4	200	0.06	95	7.19	$1.441 \cdot 10^{-2}$	2.791	3.252
4	200	0.17	99	7.37	$1.400 \cdot 10^{-2}$	4.698	5.158
4	200	0.20	99	7.37	$1.400 \cdot 10^{-2}$	5.096	5.158
5	400	0.19	50	5.08	$2.132 \cdot 10^{-2}$	4.030	0.739
5	400	0.14	70	5.83	$1.850 \cdot 10^{-2}$	3.822	1.250
5	400	0.17	70	5.83	$1.850 \cdot 10^{-2}$	4.212	1.250
5	400	0.09	90	8.23	$1.522 \cdot 10^{-2}$	3.513	2.311
5	400	0.12	90	8.23	$1.522 \cdot 10^{-2}$	4.057	2.311
5	400	0.15	90	8.23	$1.522 \cdot 10^{-2}$	4.535	2.311
5	400	0.07	95	9.00	$1.412 \cdot 10^{-2}$	3.264	2.970
5	400	0.10	95	9.00	$1.412 \cdot 10^{-2}$	3.402	2.970
5	400	0.02	99	9.48	$1.384 \cdot 10^{-2}$	1.745	4.676
5	400	0.05	99	9.48	$1.384 \cdot 10^{-2}$	2.759	4.676

Tablo: 5.6. Devamı.

Sıcaklık :30°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
3	100	0.07	50	2.00	9.063.10 ⁻²	1.121	0.863
3	100	0.10	50	2.00	9.063.10 ⁻²	1.340	0.863
3	100	0.05	70	2.54	7.192.10 ⁻²	0.948	1.585
3	100	0.19	90	2.87	5.264.10 ⁻²	2.817	2.555
3	100	0.17	95	3	5.017.10 ⁻²	2.664	3.434
4	200	0.14	50	2.28	9.179.10 ⁻²	1.572	0.844
4	200	0.12	70	2.97	5.172.10 ⁻²	2.192	1.194
4	200	0.15	70	2.97	5.172.10 ⁻²	2.451	1.194
4	200	0.04	90	3.99	3.647.10 ⁻²	1.167	2.10
4	200	0.07	90	3.99	3.647.10 ⁻²	2.139	2.10
4	200	0.02	95	4.21	3.422.10 ⁻²	1.143	2.794
4	200	0.05	95	4.21	3.422.10 ⁻²	1.808	2.794
4	200	0.16	99	4.56	3.301.10 ⁻²	3.234	4.432
5	400	0.18	50	2.97	5.320.10 ⁻²	2.634	0.657
5	400	0.13	70	3.96	3.803.10 ⁻²	2.834	1.027
5	400	0.16	70	3.96	3.803.10 ⁻²	3.144	1.027
5	400	0.11	90	5.04	3.080.10 ⁻²	3.021	1.887
5	400	0.14	90	5.04	3.080.10 ⁻²	3.408	1.887
5	400	0.06	95	5.25	2.941.10 ⁻²	2.231	2.498
5	400	0.04	99	5.61	2.809.10 ⁻²	1.822	3.933
5	400	0.07	99	5.61	2.809.10 ⁻²	2.410	3.933

Tablo:5.7: Karbon Tetraklorür için Hesaplanmış tasarım Değerleri

Sıcaklık 10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	$\bar{P}_{drop}$ N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
4	200	0.08	70	5.10	$1.437 \cdot 10^{-2}$	2.748	1.823
4	200	0.11	70	5.10	$1.437 \cdot 10^{-2}$	3.222	1.823
4	200	0.14	70	5.10	$1.437 \cdot 10^{-2}$	3.635	1.823
4	200	0.06	90	6.00	$1.244 \cdot 10^{-2}$	2.629	3.494
4	200	0.09	90	6.00	$1.244 \cdot 10^{-2}$	3.219	3.494
4	200	0.04	95	6.85	$1.117 \cdot 10^{-2}$	2.312	4.494
4	200	0.07	95	6.85	$1.117 \cdot 10^{-2}$	3.058	4.464
4	200	0.20	95	6.85	$1.117 \cdot 10^{-2}$	5.170	4.464
4	200	0.18	99	7.63	$1.086 \cdot 10^{-2}$	4.904	7.079
5	400	0.15	70	6.00	$1.310 \cdot 10^{-2}$	4.016	1.712
5	400	0.18	70	6.00	$1.310 \cdot 10^{-2}$	4.400	1.712
5	400	0.10	90	7.99	$1.076 \cdot 10^{-2}$	3.756	3.177
5	400	0.13	90	7.99	$1.076 \cdot 10^{-2}$	4.282	3.177
5	400	0.16	90	7.99	$1.076 \cdot 10^{-2}$	4.750	3.177
5	400	0.05	95	8.38	$1.001 \cdot 10^{-2}$	2.656	4.206
5	400	0.08	95	8.38	$1.001 \cdot 10^{-2}$	3.359	4.206
5	400	0.11	95	8.38	$1.001 \cdot 10^{-2}$	3.939	4.206
5	400	0.03	99	8.74	$9.975 \cdot 10^{-3}$	2.167	6.438
5	400	0.06	99	8.74	$9.975 \cdot 10^{-3}$	3.065	6.438

Tablo:5.7. Devamı

Sıcaklık: 20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa (1/sn)	D(m)	Z(m)
4	200	0.12	50	2.01	6.829.10 ⁻²	1.488	1.086
4	200	0.15	50	2.01	6.829.10 ⁻²	1.663	1.086
4	200	0.10	70	3.00	3.834.10 ⁻²	2.042	1.547
4	200	0.13	70	3.00	3.834.10 ⁻²	2.328	1.547
4	200	0.05	90	4.00	2.704.10 ⁻²	1.840	2.735
4	200	0.08	90	4.00	2.704.10 ⁻²	2.027	2.735
4	200	0.03	95	4.14	2.613.10 ⁻²	1.435	3.639
4	200	0.2	99	4.66	2.532.10 ⁻²	3.679	5.772
5	400	0.03	50	2.98	3.947.10 ⁻²	1.097	0.851
5	400	0.19	50	2.98	3.947.10 ⁻²	2.760	0.851
5	400	0.14	70	3.96	2.822.10 ⁻²	2.992	1.338
5	400	0.17	70	3.96	2.822.10 ⁻²	3.297	1.338
5	400	0.09	90	5.10	2.287.10 ⁻²	2.774	2.467
5	400	0.07	95	5.39	2.154.10 ⁻²	2.446	3.266
5	400	0.02	99	5.98	2.103.10 ⁻²	1.308	5.141
5	400	0.05	99	5.98	2.103.10 ⁻²	2.067	5.141
5	400	0.08	99	5.98	2.103.10 ⁻²	2.615	5.141

Tablo:5.7. Devamı

Sıcaklık :30°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt.	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
3	100	0.03	90	1.99	9.744.10 ⁻²	0.734	3.058
3	100	0.19	90	1.99	9.744.10 ⁻²	1.847	3.058
3	100	0.17	95	2.15	9.655.10 ⁻²	1.748	4.110
3	100	0.12	99	2.31	9.427.10 ⁻²	1.468	6.609
4	200	0.09	70	1.99	9.867.10 ⁻²	1.260	1.420
4	200	0.12	70	1.99	9.867.10 ⁻²	1.455	1.420
4	200	0.04	90	2.32	9.718.10 ⁻²	0.849	2.857
4	200	0.02	95	2.56	9.601.10 ⁻²	0.594	3.826
4	200	0.16	99	2.97	5.531.10 ⁻²	2.532	4.769
5	400	0.02	50	1.98	9.988.10 ⁻²	0.589	0.777
5	400	0.18	50	1.98	9.988.10 ⁻²	1.767	0.777
5	400	0.13	70	2.30	7.813.10 ⁻²	1.502	1.393
5	400	0.11	90	2.97	5.688.10 ⁻²	2.059	2.200
5	400	0.06	95	3,15	5.590.10 ⁻²	1.521	2.912
5	400	0.09	95	3.15	5.590.10 ⁻²	1.863	2.912
5	400	0.04	99	3.47	5.474.10 ⁻²	1.242	4.584
5	400	0.07	99	3.47	5.474.10 ⁻²	1.643	4.584

Tablo:5.8. Kloroform için Hesaplanmış Tasarım değerleri

Sıcaklık:10°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa (1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.02	50	14.79	4.450.10 ⁻³	2.729	0.897
2	50	0.05	50	14.79	4.450.10 ⁻³	4.315	0.897
2	50	0.03	70	19.99	3.791.10 ⁻³	3.798	1.555
2	50	0.19	70	19.99	3.791.10 ⁻³	9.558	1.555
2	50	0.14	90	27.66	3.380.10 ⁻³	8.952	3.231
2	50	0.12	95	28.00	3.242.10 ⁻³	8.551	4.367
2	50	0.07	99	30.66	3.134.10 ⁻³	6.351	7.330
3	100	0.09	50	20.99	4.587.10 ⁻³	5.872	0.799
3	100	0.12	50	20.99	4.587.10 ⁻³	6.780	0.799
3	100	0.04	70	33.75	4.409.10 ⁻³	4.111	1.386
3	100	0.07	70	33.75	4.409.10 ⁻³	5.438	1.386
3	100	0.02	90	37.49	4.015.10 ⁻³	3.130	2.722
3	100	0.19	95	37.74	3.897.10 ⁻³	9.854	3.612
3	100	0.17	99	50.66	3.789.10 ⁻³	9.511	5.737
4	200	0.13	50	27.80	4.732.10 ⁻³	7.060	0.754
4	200	0.08	70	40.75	4.223.10 ⁻³	6.073	1.270
4	200	0.06	90	56.00	3.599.10 ⁻³	5.892	2.404
4	200	0.09	90	56.00	3.599.10 ⁻³	7.216	2.404
4	200	0.04	95	56.32	3.477.10 ⁻³	4.929	3.154
4	200	0.20	95	56.32	3.477.10 ⁻³	11.021	3.154
4	200	0.02	99	58.00	3,314.10 ⁻³	3.159	5.192
5	400	0.17	50	35.60	4.870.10 ⁻³	8.051	0.725
5	400	0.20	50	35.60	4.870.10 ⁻³	8.732	0.725
5	400	0.15	70	45.75	3.967.10 ⁻³	8.749	1.192
5	400	0.18	70	45.75	3.967.10 ⁻³	9.584	1.192
5	400	0.10	90	64.24	4.312.10 ⁻³	6.859	2.377
5	400	0.05	95	65.40	4.149.10 ⁻³	4.982	3.100
5	400	0.06	99	67.16	4.03 .10 ⁻³	5.565	4.828

Tablo: 5.8. Devamı

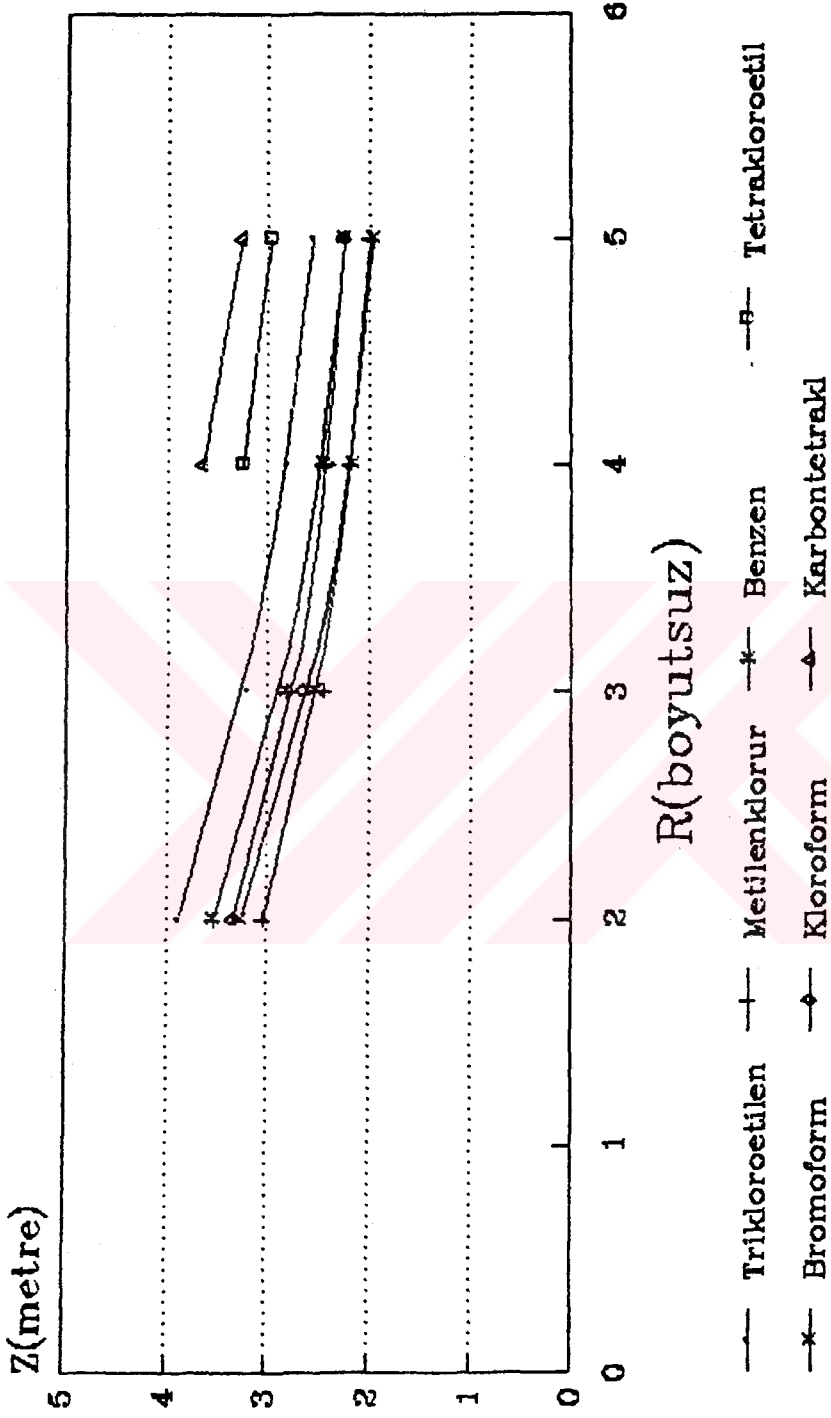
Sıcaklık: 20°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KLa(1/sn)	D(m)	Z(m)
2	50	0.04	50	7.61	8.970.10 ⁻³	3.093	0.693
2	50	0.02	70	11.49	7.966.10 ⁻³	2.425	1.210
2	50	0.18	70	11.49	7.966.10 ⁻³	7.276	1.210
2	50	0.16	90	15.19	7.005.10 ⁻³	7.623	2.458
2	50	0.11	95	15.40	6.800.10 ⁻³	6.470	3.333
2	50	0.14	95	15.40	6.800.10 ⁻³	7.299	3.333
2	50	0.06	99	15.88	6.743.10 ⁻³	4.778	5.560
3	100	0.08	50	12.37	1.010.10 ⁻²	4.214	0.626
3	100	0.11	50	12.37	1.010.10 ⁻²	4.941	0.626
3	100	0.03	70	17.49	8.340.10 ⁻³	2.988	1.040
3	100	0.06	70	17.49	8.340.10 ⁻³	4.226	1.040
3	100	0.20	90	21.59	7.165.10 ⁻³	8.632	2.005
3	100	0.15	95	21.79	6.974.10 ⁻³	7.624	2.662
3	100	0.13	99	22.90	6.883.10 ⁻³	7.233	4.231
4	200	0.12	50	15.85	9.071.10 ⁻³	5.645	0.568
4	200	0.10	70	23.00	7.296.10 ⁻³	6.051	0.926
4	200	0.13	70	23.00	7.296.10 ⁻³	6.899	0.926
4	200	0.05	90	29.00	7.244.10 ⁻³	4.363	1.815
4	200	0.08	90	29.00	7.244.10 ⁻³	5.519	1.815
4	200	0.03	95	29.39	7.185.10 ⁻³	3.403	2.402
4	200	0.20	99	30.00	7.166.10 ⁻³	8.855	3.787
5	400	0.03	50	20.00	8.287.10 ⁻³	3.033	0.530
5	400	0.19	50	20.00	8.287.10 ⁻³	7.633	0.530
5	400	0.14	70	30.19	7.686.10 ⁻³	7.021	0.892
5	400	0.17	70	30.19	7.686.10 ⁻³	7.737	0.892
5	400	0.09	90	36.60	7.525.10 ⁻³	5.774	1.730
5	400	0.07	95	36.80	7.290.10 ⁻³	5.218	2.258
5	400	0.05	99	37.00	7.036.10 ⁻³	4.512	3.509

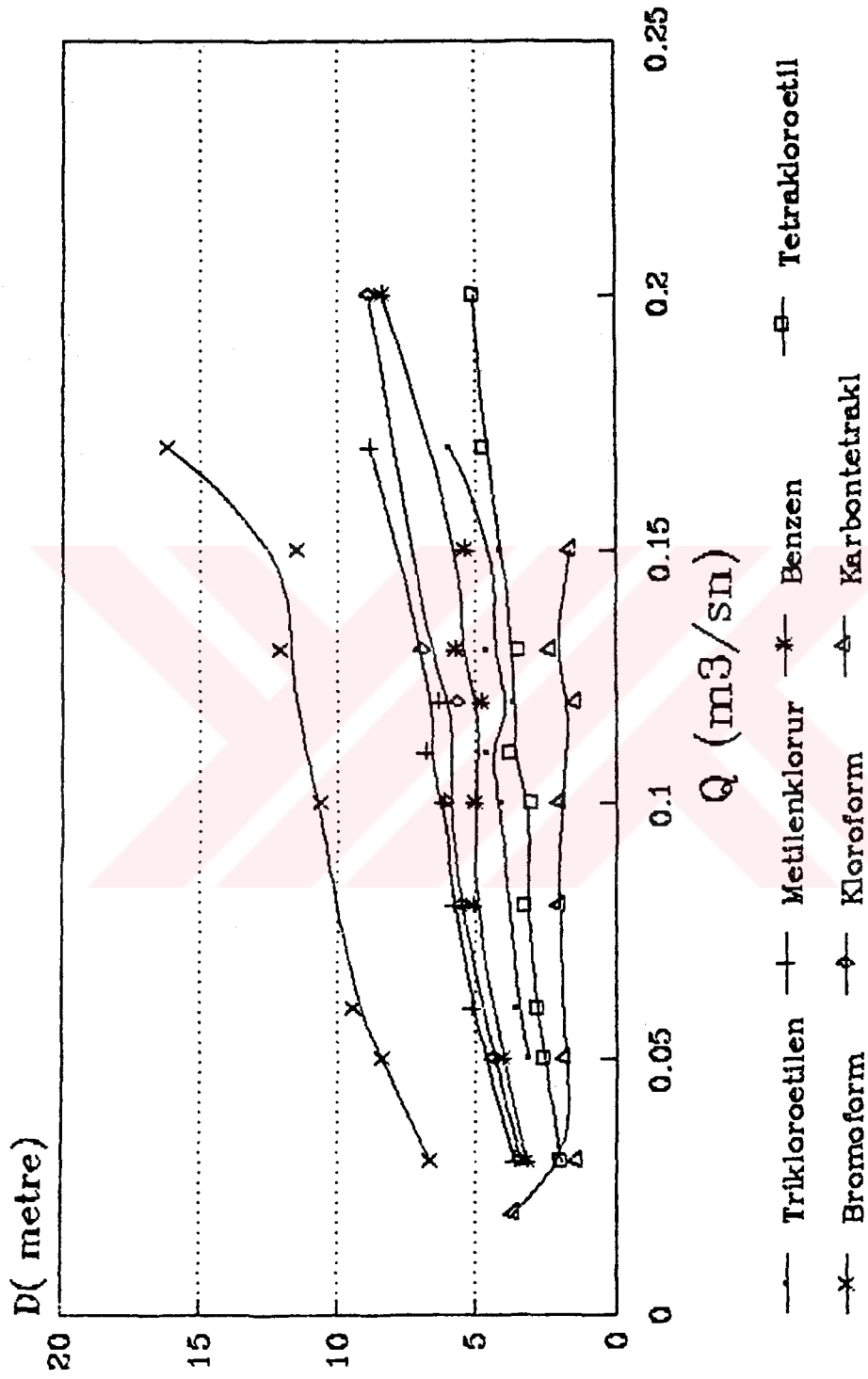
Tablo:5.8. Devamı

Sıcaklık:30°C

VERİLENLER				SONUÇLAR			
R.Boyt	Pdrop N/m ² /m	q(m ³ /sn)	Verim%	G/L Hacim Boyutsuz	KL α(1/sn)	D(m)	Z(m)
3	100	0.07	50	7.22	2.020.10 ⁻²	3.096	0.508
3	100	0.10	50	7.22	2.020.10 ⁻²	3.700	0.508
3	100	0.05	70	9.80	1.655.10 ⁻²	3.052	0.837
3	100	0.08	70	9.80	3.861.10 ⁻²	3.861	0.837
3	100	0.03	90	12.87	1.434.10 ⁻²	2.635	1.612
3	100	0.19	90	12.87	1.434.10 ⁻²	6.632	1.612
3	100	0.17	95	14.85	1.375.10 ⁻²	6.471	2.123
3	100	0.20	95	14.85	1.375.10 ⁻²	7.019	2.123
3	100	0.12	99	15.37	1.296.10 ⁻²	5.437	3.414
4	200	0.14	50	8.67	1.858.10 ⁻²	4.709	0.465
4	200	0.17	50	8.67	1.858.10 ⁻²	5.189	0.464
4	200	0.09	70	13.75	1.510.10 ⁻²	4.416	0.755
4	200	0.12	70	13.75	1.510.10 ⁻²	5.099	0.755
4	200	0.04	90	16.29	1.291.10 ⁻²	3.305	1.420
4	200	0.07	90	16.29	1.291.10 ⁻²	4.372	1.420
4	200	0.02	95	19.16	1.247.10 ⁻²	2.396	1.860
4	200	0.05	95	19.16	1.247.10 ⁻²	3.789	1.860
4	200	0.16	99	19.33	1.207.10 ⁻²	6.941	2.907
4	200	0.19	99	19.33	1.207.10 ⁻²	7.564	2.907
5	400	0.02	50	11.50	1.657.10 ⁻²	1.953	0.426
5	400	0.18	50	11.50	1.657.10 ⁻²	5.858	0.426
5	400	0.13	70	17.28	1.347.10 ⁻²	5.798	0.692
5	400	0.16	70	17.28	1.347.10 ⁻²	6.432	0.692
5	400	0.11	90	20.50	1.182.10 ⁻²	5.862	1.306
5	400	0.14	90	20.50	1.182.10 ⁻²	6.613	1.306
5	400	0.06	95	24.79	1.115.10 ⁻²	4.511	1.687
5	400	0.04	99	26.49	1.086.10 ⁻²	3.683	2.656

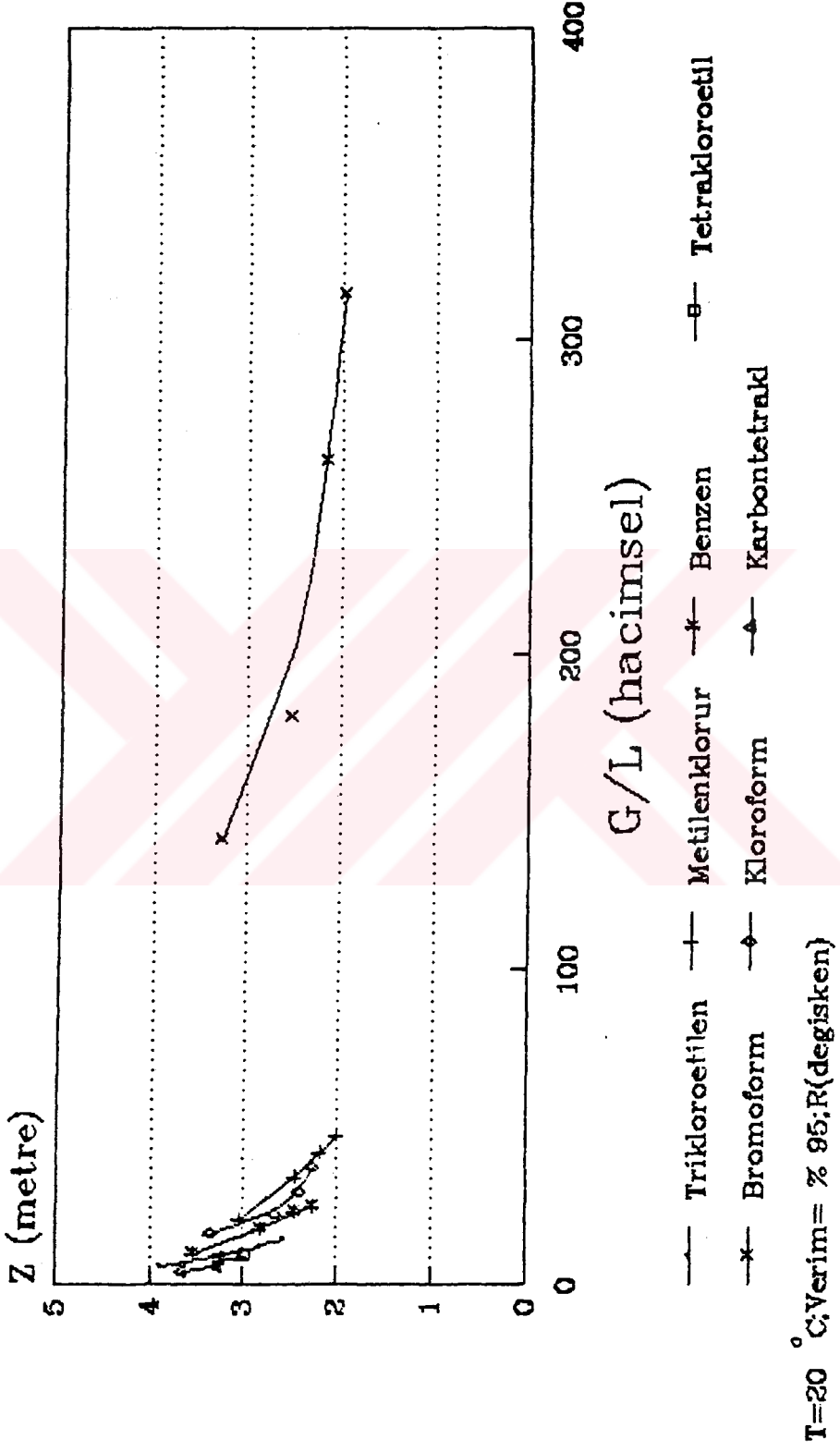


Şekil:5.1. Sıyırma Faktörü Dolgu Yükseklikliği İlişkisi

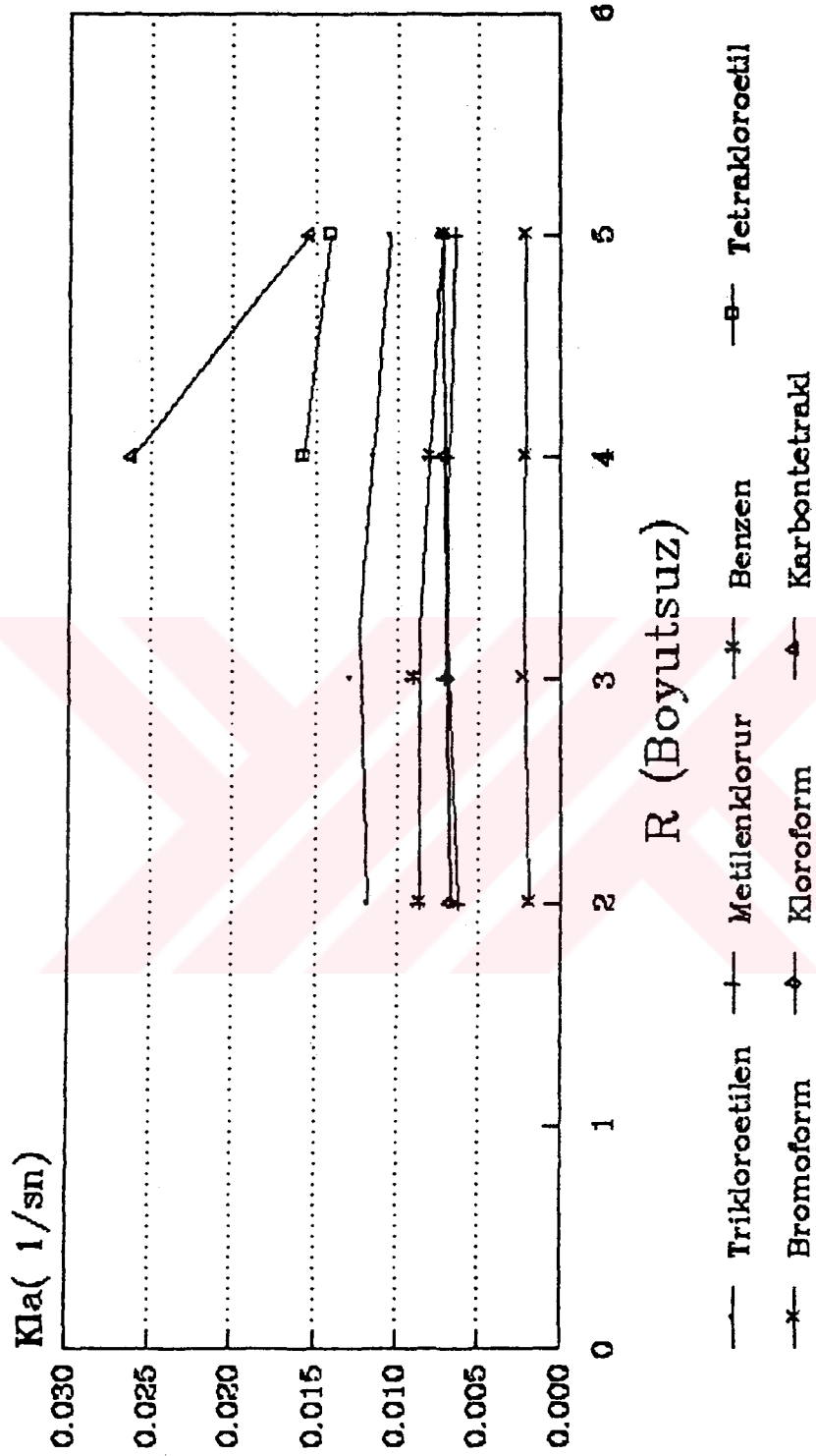


$T = 20^{\circ}\text{C}$; $R = 4$; Verim (değişken)

Şekil: 5.2. Debi Kule Çapı İlişkisi

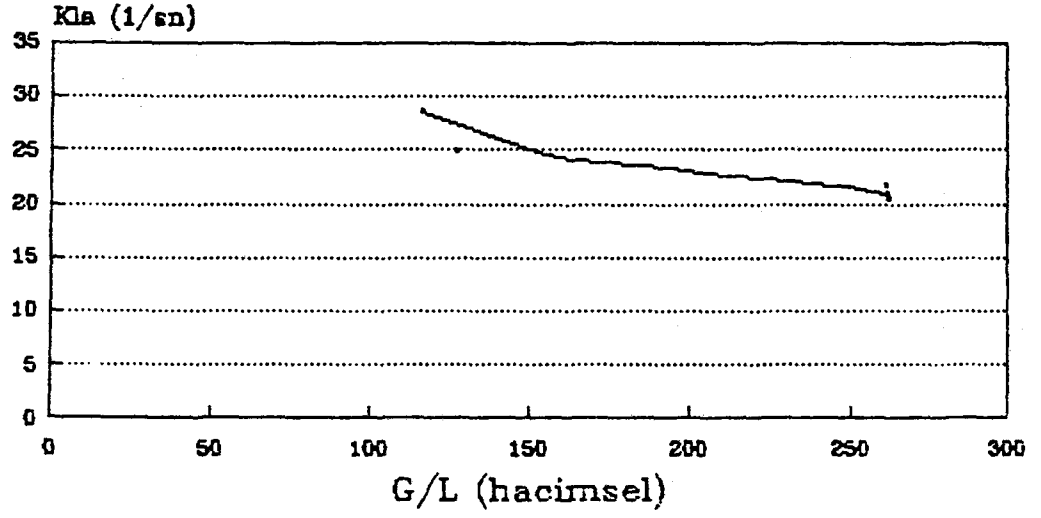


Şekil: 5.3. Hava-Su Oranı Dolgu Yüksekliği İlişkisi



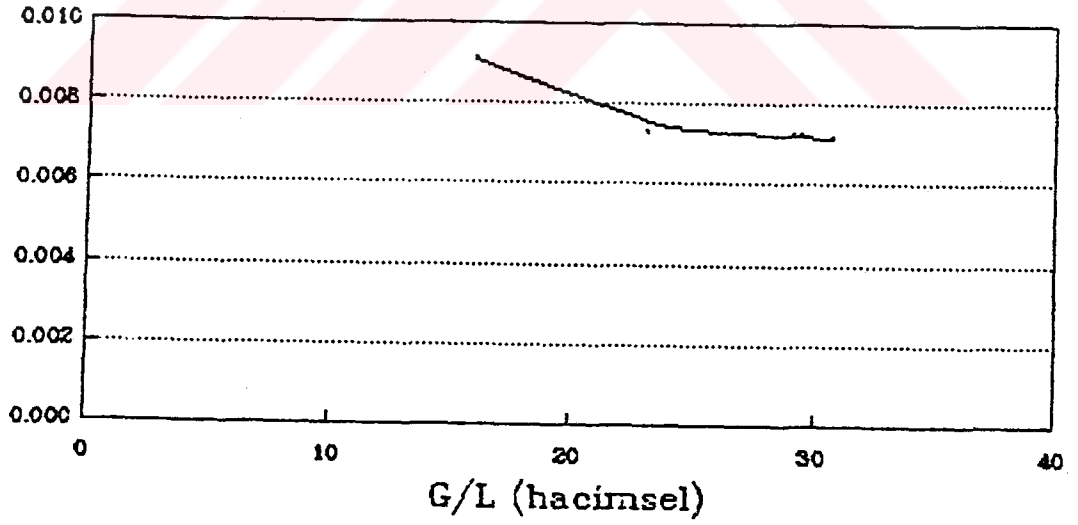
$T = 20^\circ C$; Verim = % 95

Şekil:5.4. Sıyırma Faktörü Kütle Transfer Katsayısı İlişkisi



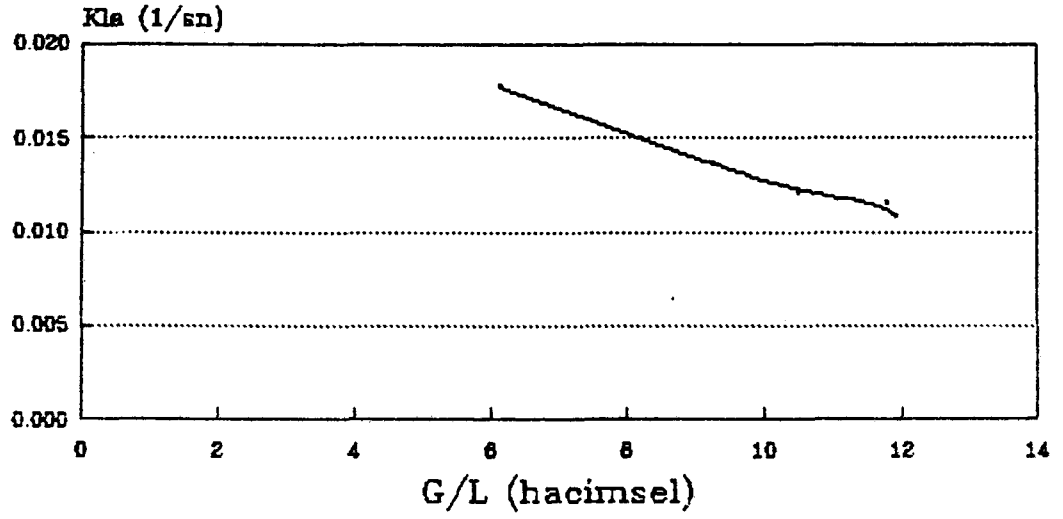
$T=20^{\circ}\text{C}$; Verim (Deginken): $R=4$

Şekil:5.5.a. Bromoform İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi.



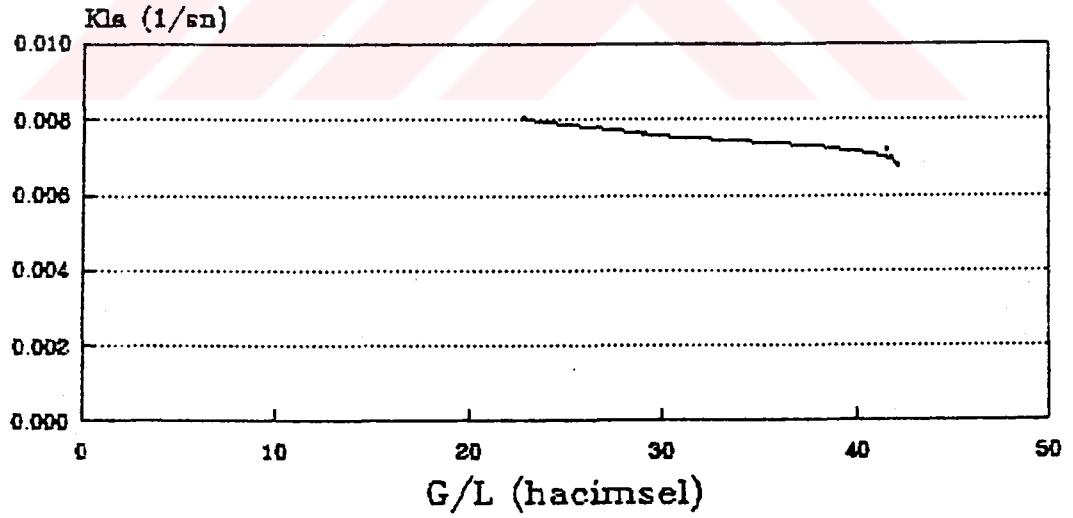
$T=20^{\circ}\text{C}$; Verim (Deginken): $R=4$

Şekil:5.5.b. Kloroform İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi



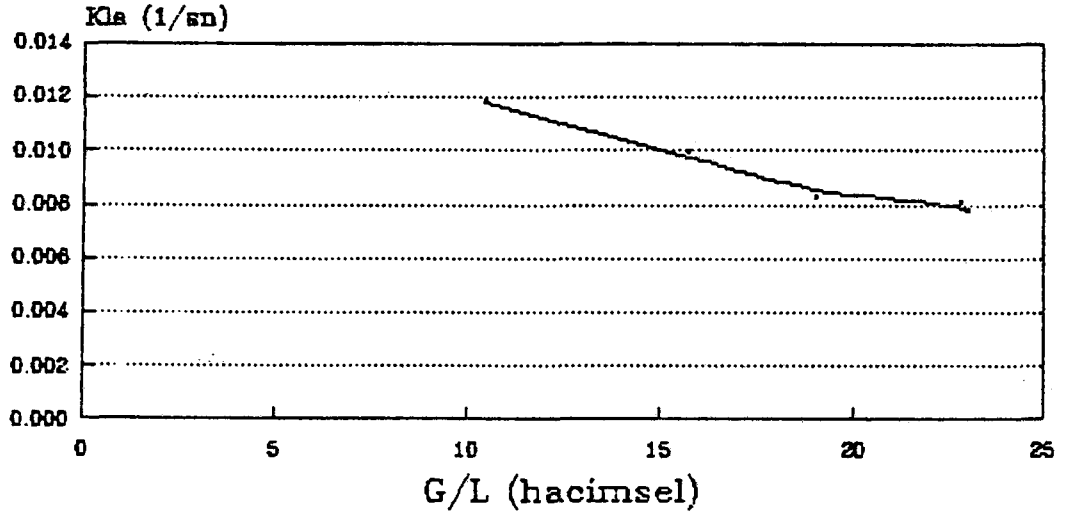
$T=20^{\circ}C$; Verim (Değişken): $R=4$

Şekil: 5.5.c. Trikloroetilen İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi



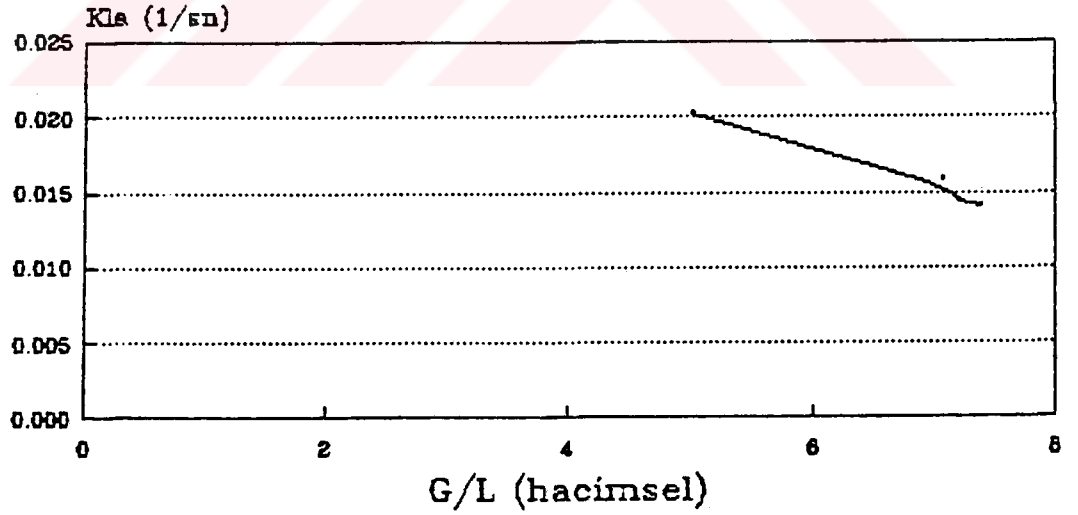
$T=20^{\circ}C$; Verim (Değişken): $R=4$

Şekil:5.5.d. Metilenklorür İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi



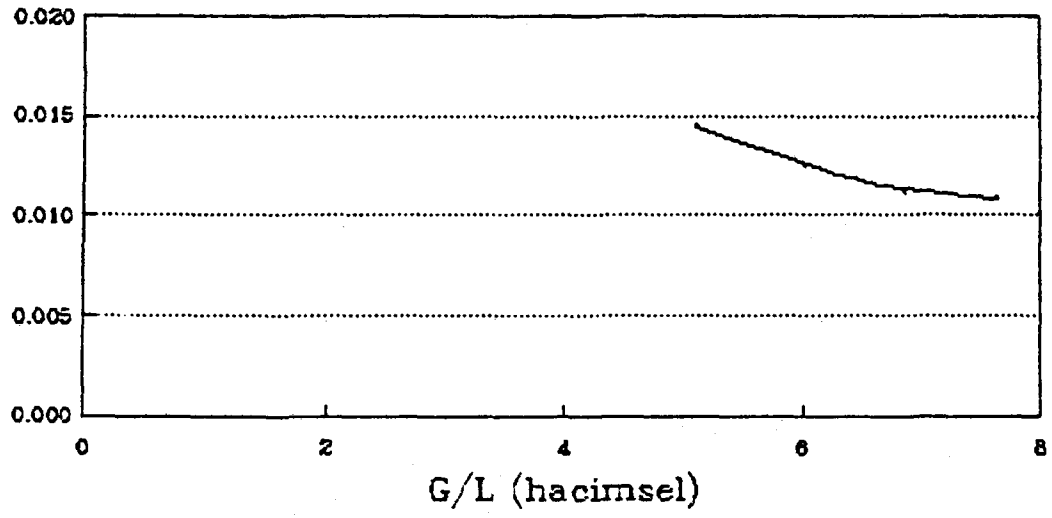
$T=20^{\circ}C$; Verim (Değişken): $R=4$

Şekil:5.5.e. Benzen İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi



$T=20^{\circ}C$; Verim (Değişken): $R=4$

Şekil:5.5.f. Tetrakloroetilen İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi



T=20 C ; Verim (Değişken): $\beta=4$

Şekil:5.5.g. Karbontetraklorür İçin Hava-Su Oranı Kütle Transfer İlişkisi

BÖLÜM 6. DOLGULU KULELERDE MALİYET HESABI

6.1. Genel

Sularda bulunan uçucu organik maddelerin, giderilmesinde kullanılan dolgulu kulelerde, maliyetinde göz önünde tutulması oldukça önemlidir.

Herhangi bir dolgulu kulede maliyet, ilk yatırım ve işletme maliyeti üzerine iki yönlü düşünülmelidir. Dolgu malzemesi, kule malzemesi, hava üfleyiciler, pompalar, borular ve elektriksel donanım, ilk yatırım maliyeti içinde düşünülecek olan proses ekipmanlarıdır. Yine, temiz su haznesi ve su tutma tankı, eğer gerekiyor ise buhar fazı kontrol ünitesi ilk yatırım masrafları içinde sayılabilir.

Pompa ve blowerların çalışmasını sağlayan elektrik enerjisi, insan gücü ve kulede işletme sırasında kullanılan malzemeler, işletme maliyeti içerisinde düşünülmelidir. Bu bölümde, dolgulu kulelerde maliyet, ilk yatırım ve işletme masrafları olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenmiş ve yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlar, dolar bazında olmak üzere tablolar halinde aşağıdaki bölümlerde verilmiştir [6].

6.2. Dolgulu Kulelerde İlk Yatırım Maliyeti

Dolgulu kulenin boyutları, yapılacağı malzemenin cinsi, dolgu malzemesi, pompalar, blowerlar, elektriksel techizat ilk yatırım maliyetini oluşturur. Aşağıdaki tablolarda dolar bazında maliyet hesapları verilmiştir.

Tablo:6.1. Dolgulu Kulenin Boyutuna Göre Değişen Maliyet Değerleri [6].

Yüzey Alanı (m ²)	Dolgu Derinliği (m)	Maliyet (Dolar)
0.93	3.96	30.000
0.93	9.1	50.000
0.93	19.2	70.000
9.3	3.96	150.000
9.3	9.1	230.000
9.3	19.2	500.000
93	3.96	1.200.000
93	9.1	2.800.000

Tablo:6.2. Temiz Su Haznesi Maliyet Değerleri [6]

Debi (m ³ /sn)	Maliyet (Dolar)
0.0428	45.000
0.428	150.000
4.28	800.000

Tablo:6.3. Pompa Maliyet Değerleri [6]

Debi (m ³ /sn)	Dolgu Derinliği (m)	Maliyet (Dolar)
0.0428	0.38	30.000
0.0428	0.8	35.000
0.0428	1.65	40.000
0.428	0.38	140.000
0.428	0.8	170.000
0.428	1.65	200.000
4.28	0.38	650.000
4.28	0.8	800.000
4.28	1.65	1.000.000

Tablo:6.4. Basınç Düşmelerine Bağlı Olarak Blower Maliyet Değerleri [6].

Hava Debisi (m ³ /sn)	Basınç kaybı (m)	Maliyet (Dolar)
0.472	0.23	6800
0.472	0.6	9900
4.72	0.23	15.000
4.72	0.6	25.000
47.2	0.23	38.000
47.2	0.6	78.000

6.3. Dolgulu Kulelerde İşletme Maliyeti

Dolgulu kulelerde işletme maliyetini oluşturan elemanlar, elektrik giderleri, kulede işletme sırasında kullanılan malzemeler olarak sıralanabilir. Tablo 5.5 ve Tablo 5.6' da pompa blower işletme maliyetleri dolar bazında verilmiştir.

Tablo:6.5. Dolgu Derinliğine Bağlı Olarak Pompa İşletme Maliyet Değerleri [6].

Dolgu Derinliği (m)	Maliyet (Dolar/m ³)
3	3.25
6	4.85
9	6.50
12	8.10

Enerji maliyeti: 9.6 Dolar/k_w-saat

Tablo: 6.6. Basınç Düşmesine Bağlı Olarak Blower İşletme Maliyet Değerleri [6].

G/L (Hacimsel-Boyutsuz)	Basınç Kaybı(m)	Maliyet(Dolar/m ³)
10	0.225	2.15
20	0.225	4.60
30	0.225	6.75
40	0.225	8.90
50	0.225	11.60
10	0.6	5.70
20	0.6	11.35

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sularda bulunan ucucu organik maddelerin insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olduğu anlaşıldığından, bu maddelerin mutlak surette sulardan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu maddelerin sulardan giderilmesi için en uygun yöntemin hava ile sıyırma olduğu bu çalışma esnasında belirlenmiştir. Bu çalışmada varılan diğer sonuç, hava ile sıyırma teorisini temel olan dolgulu kulelerin uçucu organiklerin sulardan giderilmesinde en etkili araçlardan biri olduğudur. Dolgulu kuleler üzerinde yapılan çalışmalarda, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında dolgulu kulelerin çalışma prensibinin çok kompleks olmadığı ve yüksek oranda giderme verimine erişilebileceği görülmüştür.

Dolgulu kulelerin, sulardaki uçucu organiklerin giderilmesinde kullanılmasının tek dezavantajı, kirlenmiş gazın atmosfere verilmesi olabilir. Oysa kirlenmiş gaz, sistemin çıkışına aktif karbon adsorpsiyonu gibi ek ilave yapılarak giderilebilir. Fakat bunun maliyeti arttığında bir gerçektir. Dolgulu kulelerin tasarımında gerekli olan kütle transfer katsayısının hesabında çeşitli yöntemlerin olduğu belirlenmiş ve bunlardan onda denklemlerinin en uygun yöntemler olduğu görülmüştür.

Dolgulu kuleler maliyet açısından diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, ilk yatırım masrafları açısından biraz daha pahalı olduğu, fakat işletme masrafları göz önüne alındığında diğer yöntemlere göre daha ucuz olduğu belirlenmiştir. Maliyet konusunda yeterince aydınlatıcı bilgi verilmek için tasarım çakışlarından elde edilen bilgilerle Trikloroetilen maddesi için aşağıda görüldüğü üzere bir örnek verilebilir.

Trikloroetilen'in dolgulu kulelerde giderilmesinde, 20°C de sıyırma faktörünün 2, basınç düşmesinin 50 N/m²/m, verimin %90, derinin 170 lt/sn olduğu durumda, G/L=10.83 $k_L a = 5.946 \times 10^{-3}$ (1/sn) D=6.940 m Z=3.712 bulunmuştur. Altıncı bölümdeki değerlerden faydalanılarak Trikloroetilen için maliyet aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Dolgulu kulenin boyutuna göre değişen maliyet değeri= 400.000 \$

Temiz su haznesi maliyet değeri = 70.000 \$

Pompa maliyet değerleri = 140.000\$

gibi değerler gözlenebilir. Örnekler beşinci bölümdeki Tablolardan faydalanılarak çoğaltılabilir.

Sonuç olarak, su kaynakların tükendiği dünyamızda, yeni bir su kaynağı olarak görülen yeraltısularının ve yüzeysel suların içinde bulunan uçucu organik maddelerin giderilmesinde kullanılan, hava ile sıyırma teorisini esas alan dolgulu kuleler en iyi arıtma yöntemi olarak sayılabilir.

Dolgulu kulelerde, işletme sırasında önemli problemlerle karşılaşılmasa için tasarım esnasında sıyırma faktörü, basınç düşmesi ve dolgu malzemesi gibi tasarıma etki edecek faktörlerin özenle seçilmesinde fayda vardır.

KAYNAKLAR

- [1] RAM, N.M., CHRISTMAN R.F.F and CANTOR, K.P, Significance and Treatment Of Volatile Organic Compounds in Water Supplies, Library Of Congress Cataloging-Publication Data, 1990.
- [2] DSİ Yeraltı Suyu Raporları, 1991.
- [3] CLARK, R.M, ADAMS, J.Q, Evaluation Of BAT For VOCs in Drinking Water, Journal Of Environmental Engineering, Vol. 117, No 2, March/April 1991.
- [4] KAVANAUGH, M.C. and TRUSSELL, R.R., Design Of Aeration Towers To Strip Volatile Contaminants From Drinking Water, Journal AWWA, pp. 684-692, December, 1980.
- [5] SAYRE, I.M, International Standards For Drinking Water, Journal AWWA, pp 53-60, January 1988.
- [6] NOONAN, D.C. and CURTIS, J.T., Groundwater Remediation And Petroleum, Library Of Congress Cataloging-in Publication Data, 1990.
- [7] EPA Publications, Environmental Pollution Control Alternatives, Drinking Water Treatment For-Small Communities, April 1990.
- [8] ÇATALTAŞ, İ., Kimya Mühendisliğine Giriş, Cilt 2, Çeviri Nisan 1973
- [9] LAMARCHE, P. And DROSTE, R.L, Air-Stripping Mass Transfer Correlations For Volatile Organics, Journal AWWA, pp 78-89, January 1989.
- [10] STAUDINGER, J., KNOCKE, W.R And RANDALL C.W, Evaluating The Onda Mass Transfer Correlation For The Design Of Packed-Column Air Stripping, Journal AWWA, pp 73-79, January 1990.
- [11] TORÖZ, İ, Yeraltı Sularının dolgu Kulelerde Arıtılmasında Etkili Olan Faktörler, baskıda.
- [12] ROBERTS- P.V And LEVŞ, J, Air Stripping of Trihalomethanes, Annual Proceedings Of An AWWA Seminar Entitled, Strategies For Controlling Trihalomethanes, AWWA Publication, pp 113-132, 1983.

- [13] SPEECE, R.E. NIRMALAKHANDAN,N, And LEE,Y.H, Nomograph For Air Stripping Of VOC From Water, Journal of Enviromental Engineering,ASCE, Vol 113, No 2
- [14] TREYBAL, R.E, Mass Transfer Operations, Mc Graw Hill, New York, 1980.
- [15] EKİNCİ,E. ve OKUTAN,H.C. Kütle İletimi, İTÜ Yayınları, 1987.
- [16] PERRY, R.H. And CHILTON, C.H, Chemical Engineers Handbook, McGraw Hill Book Co, New York, 5th Edition, 1973.
- [17] TUCKER,W.A. and NELKEN,L.H, Diffusion Coefficients In Air And Water, Handbook Of Chemical Property Estimation Methods, 1990.
- [18] CRC Handbook of Chemistry And Pyssics, Weast 59 th Edition, 1978-1979
- [19] ROBERTS,P.V And LEVY, J.A, Energy Requirements For Air Stripping Trihalomethanes. Journal AWWA, pp 138-145, 1985.
- [20] BILELLO,L.J, and SINGLEY, E.J, Removing Trihalomethanes by Packed-Column And Diffused Aerotion, Journal AWWA, Research And technology, pp 62-71 January 1986.
- [21] ROBERTS, P.V, HOPKINS, G.D, MUNZ C, And RIOYAS,A.H, Evaulating Two - Resistance Models For Air Stripping Of Volatile Organic Contaminants In Countercurrent Packed Coloumn, Environmental Science Technology, Vol, 19, No 2, 1985.

EK-1

SULARDA BULUNAN UÇUCU ORGANİK MADDELERİN GİDERİLMESİNDE
KULLANILAN DOLGULU KULELERE AİT TASARIM PROGRAMI

```

uses crt,printer;
const
  sfk=1.2;
  foltzk=1.3805E-23;
  ta=0.3711;
  j=1;
  gc=1;
  pi=3.14;
  ci=100;
  ma=28.95;
  phi=2.26;
  mw=18.2;
  ce: array [1..5] of integer =(50,30,10,5,1);
var
  rreal,ek,fonks,x,y501,y502,y503,y504,y505,y4005,y506,
  y507,
  at,aw,cf,d,da,ds,dw,g,gas,henry,htu,kg,kl,kla,l,mc,hv
  ,nf,nr,ntu,nw,q,tc,tw,vc,rog,row,mug,muw,size,dolalan
  ,minawr,
  zt,kte,actawr,pg,pw,gl,ll,xeks,yeks,tb,tor,tmc,fkte,m
  :real;
  verim,b,cek,a,r,i,t,adrop:integer;
  ch:char;
  procedure menu;
  begin
    clrscr;
    gotoxy(12,6);write('Maddeyi seçiniz : ');
    gotoxy(13,7);write('1. Trikloroetilen');
    gotoxy(13,8);write('2. Tetrakloroetilen');
    gotoxy(13,9);write('3. Benzen');
    gotoxy(13,10);write('4. Kloroform');
    gotoxy(13,11);write('5. Karbontetraklorür');
    gotoxy(13,12);write('6. Bromoform');
    gotoxy(13,13);write('7. MetilenKlorür');
    ch:=readkey;
    case ch of
      '1': begin tb:=360.2; mc:=131.4; vc:=0.1071;
        writeln(1st,'TRIKLOROETİLEN');

        write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
        f:5:3);write('at=',at:5:3);
        end;
      '2': begin tb:=393.8;
        mc:=168.85;vc:=0.128;writeln(1st,'TETRAKLOROETİLEN');

```

```

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
'3': begin tb:=353.1; mc:=78.11;vc:=0.096;
writeln(1st,'BENZEN');

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
'4': begin tb:=354;mc:=119.39;
vc:=0.0923;writeln(1st,'KLOROFORM');

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
'5': begin tb:=349.8;mc:=153.84;vc:=0.1132;writeln(1st,'KARBON
TETRAKLORUR');

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
'6': begin tb:=423.5;mc:=252.77;vc:=0.0995;
writeln(1st,'BROMOFORM');

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
'7': begin tb:=313;mc:=84.94;vc:=0.0714;writeln(1st,'METILENKLOR
UR');

write('ds=',ds:5:3);write('tc=',tc:5:3);write('cf=',c
f:5:3);write('at=',at:5:3);
end;
end;
end;
procedure islem;
begin
if (tb=360.2) and (t=283) then henry:=0.183;
if (tb=360.2) and (t=293) then henry:=0.318;
if (tb=360.2) and (t=303) then henry:=0.535;
if (tb=393.8) and (t=283) then henry:=0.304;
if (tb=393.8) and (t=293) then henry:=0.542;

```

```

if (tb=393.8) and (t=303) then henry:=0.930;
if (tb=353.1) and (t=283) then henry:=0.118;
if (tb=353.1) and (t=293) then henry:=0.183;
if (tb=353.1) and (t=303) then henry:=0.276;
if (tb=354) and (t=283) then henry:=0.068;
if (tb=354) and (t=293) then henry:=0.122;
if (tb=354) and (t=303) then henry:=0.211;
if (tb=349.8) and (t=283) then henry:=0.559;
if (tb=349.8) and (t=293) then henry:=0.950;
if (tb=349.8) and (t=303) then henry:=1.559;
if (tb=423.5) and (t=283) then henry:=0.0094;
if (tb=423.5) and (t=293) then henry:=0.018;
if (tb=423.5) and (t=303) then henry:=0.033;
if (tb=313) and (t=283) then henry:=0.059;
if (tb=313) and (t=293) then henry:=0.094;
if (tb=313) and (t=303) then henry:=0.145;
if t=283 then begin
  pg:=1.2472;          pw:=999.73;          muw:=0.001307;
  hv:=0.0000175; tw:=0.07422; end;
if t=293 then begin
  pg:=1.2047;          pw:=998.23;          muw:=0.001002; hv:=0.0000182; tw:=0.07275;
  end;
if t=303 then begin
  pg:=1.1649; pw:=895.67;          muw:=0.0007975;
  hv:=0.0000184; tw:=0.07118; end;
  minawr:=((100-cek)/100)*(1/henry);
  actawr:=r*minawr;
  rreal:=round(actawr)/minawr;
  g1:=round(actawr)*(pg/pw);
  l1:=1/g1;
  xeks:=l1*sqrt(pg/(pw-pg));

y501:=0.013125-0.015625*xeks-0.78125*sqr(xeks);
y502:=0.014084-0.087522*xeks+0.416806*sqr(xeks);
y503:=0.0081+0.033997*xeks-0.1997*sqr(xeks);
y504:=0.0058+0.01049*xeks-0.02498*sqr(xeks);

y505:=0.008549-0.009997*xeks+0.00499*sqr(xeks);
y506:=0.005884+0.004087*xeks+-0.007018*sqr(xeks);
y507:=0.00357-0.001020*xeks+0.000110*sqr(xeks);
case pdrop of

```

```

50: begin
y501:=0.013125-0.015625*xeks-0.78125*sqr(xeks);
y502:=0.014084-0.087522*xeks+0.416806*sqr(xeks);
y503:=0.0081+0.033997*xeks-0.1997*sqr(xeks);
y504:=0.0058+0.01049*xeks-0.02498*sqr(xeks);

y505:=0.008549-0.009997*xeks+0.00499*sqr(xeks);
y506:=0.005884+0.004087*xeks+-0.007018*sqr(xeks);
y507:=0.00357-0.001020*xeks+0.000110*sqr(xeks);
end;
100: begin
y501:=y501+0.017;
y502:=y502+0.017;
y503:=y503+0.0112;
y504:=y504+0.0082;
y505:=y505+0.0044;
y506:=y506+0.003;
y507:=y507+0.0017;
end;
200: begin
y501:=y501+0.027 ;
y502:=y502+0.027;
y503:=y503+0.015;
y504:=y504+0.012;
y505:=y505+0.0059;
y506:=y506+0.004;
y507:=y507+0.0022;
end;
400: begin
y501:=y501+0.041;
y502:=y502+0.041;
y503:=y503+0.025;
y504:=y504+0.019;
y505:=y505+0.008;
y506:=y506+0.005;
y507:=y507+0.0027;
end;
end;
if (xeks >= 0.01) and (xeks <= 0.04) then
fonks:=y501;
if (xeks > 0.04) and (xeks <=0.1) then fonks:=y502;

```

```

if (xeks > 0.1) and (xeks <= 0.2) then fonks:=y503;
if (xeks > 0.2) and (xeks <=0.5) then fonks:=y504;
if (xeks > 0.5) and (xeks <0.9) then fonks:=y505;
if (xeks > 0.9) and (xeks <1) then fonks:=y506;
if xeks > 1 then fonks:=y507;
if (pdrop=50) and (xeks>3) then
begin
write(1st,'Bu bolgede calisilamaz...');
end;
if (pdrop=100) and (xeks>5) then
begin
write(1st,'Bu bolgede calisilamaz...');
end;
if (pdrop=200) and (xeks>6) then
begin
write(1st,'Bu bolgede calisilamaz...');
end;
if (pdrop=400) and (xeks>7) then
begin
write(1st,'Bu bolgede calisilamaz...');
end;
writeln(1st,'y degeri=',fonks);

g:=sqrt(fonks*(pg*(pw-pg)*gc)/(cf*exp(0.1*ln(muw))*j)
);
g:=g/pg;
l:=g/round(actawr);
d:= exp(0.5*ln((4*d)/(pi*l)));
d:=d*1.2;
nr:=1*1000/(muw*at);
Nf:=sqr(1*1000)*at/(sqr(pw)*9.81);
nw:=sqr(1*1000)/(pw*tw*at);
{Gercek ıslak dolgu maddesi alanı}

aw:=at-(at*exp(-1.45*exp(0.75*ln(tc/tw))*exp(0.1*ln(n
r))*exp(-0.05*ln(nf))
*exp(0.2*ln(nw))));
dw:=(117.3e-18)*exp(0.5*ln(phi*muw))*t/(muw*exp(0.6*ln
(vc)));
ek:=1.21*tb;
ek:=sqrt(ek*78.6);
kte:=t/ek;
tmc:=1.18*exp(0.33*ln(vc));
tor:=(ta+tmc)/2;
if      (kte      >=0.2)      and      (kte<=2)      then

```

```

fkte:=1.69-1.38*kte+0.395*sqr(kte);
if (kte > 2) and (kte <= 10) then
fkte:=0.575-0.0425*kte+0.002499*sqr(kte);
da:=(0.0001*(1.084-0.249*sqrt(1/mc+1/ma)))*exp(1.5*ln(t))*
sqrt(1/mc+1/ma)/(101.3e+3*sqr(tor)*fkte);

k1:=0.0051*exp(0.667*ln(1*pw/(muw*aw)))*exp(-0.5*ln(m
uw/(pw*dw)))

*exp(0.4*ln(ds*at))*exp(-0.33*ln(pw/(muw*9.81)));
if ds < 15e-3 then m:=2 else m:=5.23;

kg:=m*exp(0.7*ln(g*pg/(hv*at)))*exp(0.33*ln(hv/(pg*da
)))

*exp(-2*ln(at*ds))*exp(-1*ln(0.0821*t/(at*da)));

kla:=(aw*exp(-1*ln((1/k1)+(pg/(28.95*kg*henry)))))/sf
k;
ntu:=1/kla;

ntu:=(rreal/(rreal-1))*ln(((100/cek)*(rreal-1)+1)/rre
al);
zt:=ntu*htu;
end;
procedure secim;
begin
clrscr;
writeln('Dolgu maddesinin boyutu/metre
:');read(ds);
writeln('Dolgu maddesinin kritik yuzey
gerilimi/kg/sec2:');read(tc);
writeln('Dolgu faktoru/m:');read(cf);
writeln('Dolgunun yuzey alani/m2/m3:');read(at);
end;
procedure yazim;
begin
clrscr;
b:=1;
i:=1;
t:=283;
r:=2;
q:=0.02;
pdrop:=50;
cek:=ce[i];

```

```

repeat
islem;

verim:=100-ce[i];
write(1st,'
q=',q:5:3);write(1st,' pdrop=',pdrop);
write(1st,' t=',t);writeln(1st,' verim=',verim);
write(1st,' G=',G:5:3);write(1st,' L=',L:5:3);
write(1st,' Kg=',Kg);write(1st,' Da=',Da);
write(1st,' Dw=',Dw);write(1st,' Kla=',Kla);
write(1st,' d=',d:5:3);write(1st,' HTU=',HTU);
writeln(1st,' NTU=',NTU);writeln(1st,' Zt=',Zt);

writeln(1st,'-----
-----');
pdrop:=pdrop*2;
a:=a+0.01;
r:=r+1;
t:=t+10;
i:=i+1;
b:=b+1;
if pdrop >400 then pdrop:=50;
if i>5 then i:=1;
if r>5 then r:=2;
if a> 0.2 then a:=0.02;
if t>303 then t:=283;

until
b=101;
end;
{=====MAIN BODY=====}
begin
secim;
menu;
yazim;
end.

```

ÖZGEÇMİŞ

Ali TELLİOĞLU 1968 yılında Kırıkkale'de doğdu. İlköğrenimini Zonguldak'ta Karadon Özel İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini T.E.D. Zonguldak Koleji Vakfı Özel Lisesi'nde tamamladı. 1986 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümüne girdi ve 1990 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çevre Mühendisliği bölümünde Yüksek lisansa başladı. İngilizce bilmektedir.

