

39654

KATI ATIKLARIN DEPOLANMASINDA KARŞILAŞILAN
GEOTEKNİK PROBLEMLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Ahmet KUTAY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :13 Haziran 1994

Tezin Savunulduğu Tarih :30 Haziran 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Ahmet SAĞLAMER

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Oğuz TAN

Doç.Dr. Ayfer ERKEN
Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOĞUMAN TASYON MERKEZİ

HAZİRAN 1994

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasının her aşamasında desteğini ve değerli katkılarını esirgemeyen, hoşgörülü ve sağduyulu yaklaşımıyla beni yönlendiren tez danışmanım ve değerli insan Sayın Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER'e yakın ilgisi ve sıcak tavrından ötürü teşekkür ederim. Ayrıca beraber çalıştığım dönem arkadaşlarıma ve İnş.Müh. Serhat Batmaz ile İnş.Müh. Elif Yılmaz 'a, tüm Geoteknik Ana Bilimdalı öğretim görevlilerine, Araş.Gör.Yük.Müh Aykut Şenol ve Araş.Gör.Yük.Müh. Bülent Hatipoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 1994

Ahmet KUTAY

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
SUMMARY	IV
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ÇEVRE GEOTEKNOLOJİSİ	5
2.1 Çevre Geotekniğinin tarihçesi	5
2.2 Atık Oluşumu ve Kirlenme	9
2.3 Yasal Düzenlemeler	15
2.4 Atık Türleri	18
2.4.1 Atıkların Sınıflandırılması	20
2.4.2 Evsel Atıklar	20
2.4.3 Endüstriyel Atıklar	23
2.4.3.1 Kağıt Endüstrisi Atıkları	24
2.4.3.2 Baca Gazı Atıkları	24
2.4.4 Maden Atıkları	26
2.4.4.1 Kömür Atıkları	27
2.4.4.2 Fosfatik Atıklar	29
2.4.5 Tarama Atıkları	29
2.4.6 Tehlikeli Atıklar	30
BÖLÜM 3. KİRLENMENİN FİZYOLOJİSİ	32
3.1 Kirlenmenin Geokimyasal Süreçler Yardımıyla Modellenmesi	32
3.2 Çevre Geoteknolojisinde Hidrojeoloji	33
3.2.1 Su Taşıyan Birimler	35
3.2.2 Doygun Olmayan Birimler İçinde Akış	35
3.2.3 Doygun Birimler İçinde Akış	36
3.2.4 Ortamın Homojenliği ve İzotropisi	37
3.2.5 Yeraltısuyu Akış Rejimleri	38
BÖLÜM 4. KATI ATIK DEPOLAMA TESİSLERİ	44
4.1 Giriş	44
4.2 Katı Atık Depolama Tesislerinin Yapım Amacı	45
4.3 Katı Atık Depolanabilecek Alanların Seçimi	47
4.4 Katı Atıkların Kontrol Altında Depolanması Teknolojisi	51
4.5 Bir İşletme Olarak Katı Atık Depolama Tesisleri	61
4.6 Katı Atıkların Depolanmasında Geoteknik Yönetim	62
BÖLÜM 5. ŞİLTE SİSTEMLERİ	64
5.1 Kil Şilteler	64
5.2 Doğal Kil Şilteler	64
5.3 Sıkıştırılmış Kil Şilteler	65
5.3.1 Sıkıştırma Koşulları	66
5.3.2 Malzemenin Özellikleri	68
5.3.3 Sıkıştırılmış Şiltelerin İnşası	69
5.3.4 Su Muhtevası ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı İlişkisi	71

5.3.5 Kil Şiltelere Çöp Suyu Sızıntısının Etkisi	73
5.3.6 Kil Şiltelerin Performansı	74
5.4 Geosentetik Kil Şilteler	75
5.4.1 Geosentetik Kil Şiltelerin Çeşitleri	76
5.4.2 Geosentetik Kil Şiltelerin Mühendislik Özellikleri	78
5.4.3 Geosentetik Kil Şiltelerin Fayda ve Sakıncaları	80
5.5 Geomembran Şilteler	82
5.5.1 Çevre Geotekniğinde Geomembran Kullanımı	83
5.5.2 Geomembran Çeşitleri	83
5.5.3 Geomembranlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Yöntemleri	84
5.5.4 Geomembranların Mekanik Tasarımı	84
5.5.5 Geomembranların Yeni Kullanım Alanları	90
BÖLÜM 6 SIZINTI TOPLAMA VE UZAKLAŞTIRMA SİSTEMLERİ	91
6.1 Toplama ve Uzaklaştırmanın Gerekliliği	91
6.2 Çöp Suyu Sızıntısı Drenajının Hidrolik Özellikleri	94
6.3 Birincil Çöp Suyu Sızıntısı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi	97
6.3.1 Drenaj Koşulları	98
6.3.2 Toplama Koşulları	99
6.3.3 Uzaklaştırma Koşulları	101
6.3.4 Filtrasyon Koşulları	103
6.3.5 Filtre Tabakasının Tıkanması	104
6.4 İkincil Çöp Suyu Sızıntısı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi	104
6.4.1 Drenaj Koşulları	104
6.5 Yüzey Suyu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi	105
6.5.1 Drenaj Koşulları	105
6.6 Metan Gazı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi	105
BÖLÜM 7 SEEP/W VE CTRAN/W PROGRAMLARI YARDIMIYLA KİRLİLİK YAYILIMININ İNCELENMESİ	109
7.1 Giriş	109
7.2 SEEP/W ile Analizin Yapısı ve Özellikleri	110
7.3 CTRAN/W Programının Özellikleri	113
7.4 CTRAN/W ile Kirlenme Analizi ve Özellikleri	113
7.4.1 Katı Atık Depolama Tesisi-I	115
7.4.2 Maden Atığı Depolama Barajı	116
7.4.3 Katı Atık Depolama Tesisi-II	117
7.4.4 Ani Su Yükselmesi Etkisi Altındaki Katı Atık Depolama Tesisi	118
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE YORUMLAR	119
KAYNAKLAR	122
EK-A	125
ÖZGEÇMİŞ	150

ÖZET

Hızlı sanayileşme ve nüfus artışı sonucunda büyük boyutlarda kirlenme sorunuyla karşılaşmıştır. Çevre sorunları olarak özetlenen bu konunun önemli bir kısmını genelde çöp olarak adlandırılan, kapsamındaki genişlik sebebiyle -atık- da denilmekte olan tüketim ve üretim yan çıktıları oluşturmaktadır. Bunlardan katı ve sıvı fazda olanlarının kontrol altında, tasarlanmış sıhhi atık depolama tesisleri, hendekleri ve biriktirme ünitelerine tasfiyesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, katı atıkların depolanmasında karşılaşılan sorunlar incelenmiştir. Atıkların genel sınıflandırılma biçimleri anlatıldıktan sonra, kirlenme olayının fizyolojisi hidrolik ve jeolojik açıdan açıklanmaya çalışılmıştır. Kirleticinin hareketinin tariflenmesi ve ortamın çerçevesinin tespit edilmesinin kirlenmenin yayılımını önleyebilmek ve kontrol edebilmek için gerekli olduğundan bahsedilmiştir. Kirleticinin yeraltı suyu akımının olduğu ortamda, mevcut hareketin hızından etkilenerek ilerlemekte ve bu esnada zemin ortamında kimyasal reaksiyonlara girerek kirliliği taşımaktadır. Bu hareket sırasında içerdiği kirlilik ve yayılma hızı düşebilmektedir.

Katı atıklar uygun biçimde katı atık depolama tesislerine depolanmalıdır. Bu tesislerin tasarımının en önemli kısmını oluşacak çöp suyu sızıntısını kontrol etmek oluşturmaktadır. Bu amaçla geçirimsizlik için oluşturulan şilte sistemleri anlatılmıştır. Önceleri doğal kil tabakalar şilte olarak kullanılmıştır. Sıkıştırılmış kil şilteler yetersiz durumları gidermek için denenmiştir. Daha sonraları sentetik malzemeler kullanılarak, daha ince ve daha geçirimsiz, emniyetli tabakalar oluşturulmuştur. Katı atık depolama tesisleri içinde oluşacak çöpsuyu sızıntısı için özel toplama ve uzaklaştırma sistemleri tasarlanması gerekmektedir. Bu sistemlerin tasarım özellikleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan -sonlu elemanlar- yöntemiyle kirliliğin yayılımı analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla CTRAN/W yazılımı ve destek yazılım olarak SEEP/W programı kullanılmıştır. Söz konusu programlar yardımıyla çeşitli atık depolama tesislerinde karşılaşılabilecek sorunlarla ilgili parametrik çalışmalar yapılmıştır.

GEOTECHNICAL PROBLEMS ENCOUNTERED IN DISPOSAL OF WASTES

SUMMARY

Rapid increments on industrialization and urbanization around the globe are caused vast amounts of environmental problems. Geotechnical engineers are increasingly challenged to solve these problems related to waste disposal facilities and cleanup of contaminated sites. A new discipline called environmental geotechnology is established. Environmental geotechnologists must not only be acknowledged with geology and civil engineering, but also accustomed with principles of hydrogeology, chemistry and biological processes, as well. In first three sections term 'environmental geotechnology' and contamination processes are explained and investigated.

Until the late 1960s, dumping and incineration were the primary methods of waste disposal in the world. The environmental awareness of public and the subsequent legislation and regulation governing waste disposal required upgrading of existing waste dumps to sanitary landfills. Increases in population and rate of generation of waste put economic pressure on utilization of existing waste disposal sites with due regard for environmental concerns.

All types of pollution have direct or indirect effects on soil properties. For example, rain falling on a garbage dump will pollute both surface and ground water systems. The polluted water will attack foundation structures such as footings, caissons, piles and sheet piles. If polluted water is used for mixing concrete, it will affect the durability and workability of the concrete. In embankment construction, the moisture-unit weight relationship of soil will also be affected. Numerous investigations have reported on air and water pollution, but little effort has been made to determine how the ground soil responds to these hazardous or toxic substances.

At present, most geotechnical project designs and construction are based on the test results following ASTM and AASHTO standards. These standards are based on control conditions at room temperature with distilled water as the pore fluid. Since field conditions and the standard control condition are significantly different, many premature or progressive failures frequently occur. To understand soil behavior under in-situ conditions, it is necessary to examine soil behavior as close to the actual condition as possible. To accomplish this goal, we must understand the environmental conditions as they exist on the ground and their interactions over a long-term period.

The field of practice called 'environmental geotechnics' evolved over a period of about two decades starting in the 1970s. It is traced nuclear power industry. One of the part of the process of construction a nuclear power plant was development of an 'environmental impact statement'. No nuclear power facility could be granted a construction permit until an environmental impact statement was completed. Concerns about the safety of nuclear power plants have always been voiced, but in mid to late 1970s, one of the most frequently expressed concerns was over the ultimate disposal of high-level radioactive waste. Geotechnical engineers played an important role in these early studies through investigation and characterization of suitable host rocks for waste repositories, analysis of long-term performance of the earth materials under realistic temperatures and pressures, evaluation of probable ground water impacts and assessment of potential risk.

Some catastrophic events caused that national attention was focused on adverse impacts of improper disposal and management of chemical wastes. A significant discussion concerning appropriate design standards for waste containment facilities is begun. Geotechnical engineers at this time began to be brought into the process of designing waste containment facilities.

In last two decades many of the industrialized countries have been regulating generation, disposal and management of waste. In the United States the primary emphasis has been on waste disposal rather than waste reduction. In Western European countries Governments have played a much larger role in pollution management. The primary emphasis has been on waste reduction through reuse, recycling, clean up technology development, etc.

Waste may be generated in the form of solids, sludges, liquids, gases, and combination thereof. With increasing industrialization the quantity of waste has increased immensely. Depending on the source of generation, some of these wastes may degrade into harmless products whereas others may be non-degradable and hazardous. Approximately 10-15% of the wastes generated in the United States is considered hazardous. Hazardous wastes pose potential risk to human health and living organisms. Such wastes are not degradable And may have a cumulative detrimental effect.

The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) non-hazardous wastes are municipal, household hazardous, sewage sludge, water treatment sludge, MSW combustion ash, industrial non-hazardous, small quantity generator hazardous, construction and demolition, mining, agricultural, oil and gas and etc. The primary disposal techniques are landfills, surface impoundments, land application, deep well injection, etc. It is stated that 90% of the off-site disposal of hazardous waste in the United States is on land.

Hazardous wastes cover a broad spectrum of materials, particularly when one considers newly generated, treated wastes and old, untreated wastes buried in the ground some years in the past. Investigations indicated that most of the industrial wastes are consisted of chemical and allied products, primary metals and petroleum and coal products.

Many wastes are mixtures of materials. Any attempt to characterize such materials would be pointless; virtually all waste forms can be found. The wastes range from strongly acidic to neutral, and neutral to strongly alkaline. Some wastes are rich in metals, some are rich in organic, and some are mixtures that contain both metals and organics.

One special type of waste deserves mention at this point to introduce terminology. Organic liquids may divide into two groups: water soluble liquids (e.g., ethyl alcohol) and non-soluble liquids (e.g., trichloroethylene). Actually, virtually all organic liquids are soluble to some extent water, but in with many organic liquids the solubilities are measured in parts per million or parts per million or parts per billion organic constituent that can be dissolved in water.

Non water soluble organic liquids are called non aqueous phase liquids (NAPLs). There are two types of non aqueous phase liquids; dense non aqueous phase liquids (DNAPLs) are heavier than water and light non aqueous phase liquids (LNAPLs) are lighter than water. One would expect to find a LNAPL (e.g., gasoline) floating on the water table and a DNAPL (such as the chlorinated solvent perchloroethylene) perhaps below the water table at the interface between an aquifer and a lower hydraulic conductivity formation. Cleanup of LNAPLs and especially DNAPLs poses unique challenges.

Municipal solid wastes (MSW) are somewhat more consistent than industrial waste. The distribution of MSW produced varies to the conventional habits of the countries. Investigations that is carried out at developed countries indicated that most of the MSWs are paper, metals, food and yard wastes. It is pointed out that recycling attempts reduced the amount of glass and paper wastes. AS recycling becomes more prevalent, the distribution would change. An important feature of MSW is that the waste decomposes and produces gas, including methane, that can be very dangerous if not properly controlled.

The liquid is derived from waste is called leachate. Leachate can be produced directly from buried liquid wastes or consolidation of fluid-bearing wastes, by decomposition or chemical reactions, or by the leaching action of water moving through the waste. The control of leachate and gasses the single most important design requirement for new waste disposal facilities.

It is important to understand the attenuation process. As it is told that environmental geotechnology is an interdisciplinary subject, geotechnical engineers would communicate with the geochemist, to ask the right question and to understand the significance of geochemical data.

Most geological material in contact with ground water contains some percentage of clay minerals. Such geological material usually consists of complex mixtures of clay minerals, iron and manganese hydrous oxides and the organic matter. Under the proper conditions the clay minerals, the hydrous oxides and organic matter impart to natural earth material the ability to scavenge and to concentrate cations and anions from seepage solutions or migrating ground water.

A mechanism with the potential to affect significant attenuation is cation and anion exchange between clay minerals and ions in solution. Ion-exchange or ion replacement reactions can occur to some extent in all clay minerals. Analogous reactions resulting in ion exchange from solution can occur not only with clay minerals but also at the surface of iron and manganese hydrous oxides and organic matter that can be found associated with natural geological materials.

Precipitation and coprecipitation can remove chemical constituents from solutions as in soluble precipitates. Often, precipitation reactions are initiated by changes in chemical parameters such as pH. As a general rule, neutralization of pH optimizes conditions for geochemical removal of many constituents from solutions. Geochemical attenuation mechanisms are most active in a pH range between 5 and 8.

The extent to which geological materials will function as a geochemical trap and attenuates the movement of potential ground water contaminants will depend upon:

1. the chemical composition of the seepage solution or ground water;
2. the geochemical and mineralogical properties of the geological material; and
3. the pH conditions that are established during contact of water with the geological material.

Geologic characteristics such as permeability, porosity, anisotropy, and homogeneity, are functions not only of the type of rock or soil material, but also of the depositional environment, diagenesis, and tectonic processes such as folding and faulting that may have occurred after deposition. This information is needed to build a geological framework in which hydrogeologic principles may be applied before ground water flow and contaminant transport can be evaluated.

An understanding of the interaction between hazardous and toxic wastes and the engineering behavior of ground soil involves several requirements: for instance the measurement of the relevant soil properties; the test equipment, that must be durable and resistant to hazardous waste pore fluid, especially organic acids, as well as usable for long-term performance study; and a knowledge of clay mineral elements, with understanding of the chemical, physico-chemical and microbiological behavior of soil.

It is said to be evident that significant work has been done to provide an understanding of the interaction between soil-pollutant and soil-water systems. To adequately apply and understand these phenomena, a characterization of hazardous and toxic waste is necessary. Geotechnical engineer must also study site characteristics and understand the general properties of the given waste and how these properties influence the soil behavior from the environmental point of view.

Present soil mechanics concepts are based on short-term performance and consider only loading conditions. Revisions or modification of these concepts must include test equipment, testing procedures and constitutive laws of soils, to provide proper design and construction of foundation structures, especially in polluted water systems.

In section four landfills and waste disposal facilities are investigated. Their design conditions are overviewed. Landfills are the final repositories for unwanted or unusable wastes. Until the middle of this century, nearly all wastes were discarded in open, unengineered dumps. Waste was often burned to conserve space. The sanitary landfill began to become commonplace shortly after World War II. A sanitary landfill consists of a refuse disposal area in which the waste is disposed of in cells that range in up to about 5 m. Within each cell, waste is covered with a 150-300 mm. thick layer of soil (called daily cover) at the end of each working day.

The sanitary landfill represented a dramatic improvement over the open dump. Controlled placement of waste in sanitary landfills (Particularly daily covering) greatly reduced the number of rodents and insects, dramatically reduced public health risks, and generally contributed to major aesthetic improvements in waste disposal. Engineered liners for waste disposal facilities did not become until the 1970s. Sophisticated waste containment units with multiple liners and fluid collection systems did not become common in the United States until they were mandated by USEPA for hazardous waste landfills in the early 1980s.

The objective of a waste disposal facility is to contain the waste in a manner that is protective of human health and the environment. Because no endeavor of mankind can be undertaken without some risk, there is always a risk that a landfill will fail to perform up to expectations. Monitoring systems are installed around landfills to determine if the facility is performing in an unexpected manner. Regulations dictated

the minimum technology that is required to keep risks associated with waste containment facilities small.

There are several issues that have impact for site selection for a solid waste disposal facility on land. In broad terms three major issues are environmental, economic, and political. The geotechnical and hydrogeological parameters fall within the environmental category. The political factor is heavily impacted by public attitude. For a siting study to achieve public acceptance, citizen groups should participate in identifying the siting criteria and their relative importance. The ultimate goal is to select a site where the greatest protection to the environment is provided in the event that the technology, possibly affording protection, fails. In this regard some states in the USA are identifying areas where waste facilities could be located safely.

Liner systems are basic components of an engineered waste disposal facility. Section five has a broad perspective on this issue. Clay liners are called to be the hearth of the waste disposal facility. Low-hydraulic conductivity soil liners are given various names, including soil liner and clay liner. The term clay liner is used even though other minerals in the liner material (i.e., sand) may be present in larger quantities than clay. The term clay is emphasized because clay is largely responsible for the low-hydraulic conductivity of earthen liners. There are three types of clay liners:

1. naturally occurring clay liners;
2. compacted clay liners (CCL);
3. geosynthetic clay liners (GCL).

A clay liner serves as a hydraulic barrier to flow of fluids. Clay liners are used to minimize infiltration of water into buried waste (cover systems) or to control of release of leachate from the waste (liner systems). To meet these objectives, clay liners must have low-hydraulic conductivity over long periods of time. Further, one must be able to verify that the hydraulic conductivity will be suitably low, that is often the most difficult problem to be resolved. In addition, clay liners are expected to attenuate the movement of leachate, to prolong release of chemicals in leachate, and to serve other site-specific functions.

In order to prevent leachate via geomembranes, rather than minimization via soil liners of leachate migration similarly produces better environmental results in the waste disposal facilities. Hydraulic conductivity data of different clay soils using various organic solvents which resulted in extremely high values over permeation of the same clays with water.

The collection of liquids in waste containment systems and their proper removal represents an important element in the successful functioning of these important

facilities. In section six, two major parts of the facility, primary and secondary (if necessary, leak detection) leachate collection systems beneath the waste and surface water removal in the cover system above the waste are investigated. The gas collection system in the closure system will also be an important part of the collection and removal system of the waste disposal facility. The term 'liquid management' referred to the timely and the efficient removal of liquids out of, and away from, the waste containment facility where they can be properly treated and then disposed.

In section seven, various contaminant transport analysis are done by the help of a finite element software product CTRAN/W. Program modelled the movement of contaminants through porous materials such as rock and soil. The comprehensive formulation of CTRAN/W makes it possible to analyze problems varying from simple particle tracking in response to the movement of water, up to complex processes involving diffusion, dispersion, adsorption, and radioactive decay.

Program is integrated with another finite element software product SEEP/W that computes the flow velocity for the CTRAN/W. Program utilizes the SEEP/W flow velocities to compute the movement of dissolved constituents in pore-water.

A contaminant transport process can be illustrated by the flow of water in along pipe filled with sand. The water flows along the pipe as a plug with a constant velocity that is called advection. As the mass moves along with the moving water, it spreads out or disperses. Another way of viewing the contaminant transport process is to assume that the contaminant is injected continuously at a constant concentration. At some point in the pipe beyond the injection location, the contaminant initially appears at a low concentration and then gradually increases until the full concentration is reached. The spreading out of the contaminant is called dispersion. The movement of contaminant is consisted of advection and dispersion processes.

After SEEP/W analysis computed the flow velocities; CTRAN/W compute the migration of the dissolved solutes. SEEP/W can analyse simultaneously saturated and unsaturated flow, under steady-state and transient water flow conditions, with transient boundary conditions and also under anisotropic and heterogeneous ground conditions properly. In addition, CTRAN/W can analyse the contamination transport under transient concentration, with independent coefficients of dispersivity in two orthogonal directions. Program also considers the coefficient of diffusion as a function of water content and adsorption as a function of concentration. Various kinds of waste disposal facilities are studied in this thesis. Different concentration and flow conditions are used in parametrical analysis. Liner systems and their hydraulic conductivity performance are especially considered and investigated. Generally, the performances of facilities are directly affected by the hydrogeological, geochemical conditions, and anisotropy.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayileşmede kaydedilen hızlı ilerlemeler beraberinde çevre kirlenmesi sorununu da getirmiştir. Oluşan endüstriyel atıkların ve çöplerin uzaklaştırılması ihtiyacı, çözümlenmesi beklenen büyük bir çevre sorunu olarak ortaya çıkmıştır. Kısaca atık denilen bu üretim yan çıktıları ve çöpler bütünüünün düzenli depolanması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, atıkların uygun koşullar altında tasfiyesi ve gerekli mühendislik yapılarının tasarlanması amacıyla geliştirilen -çevre geotekniği- uygulamalı mühendisliği konusunda kaydedilen gelişmeler ve karşılaşılan sorunlar incelenmiştir.

Genel anlamda atıkların çevreye etkisini kontrol ederek, uzaklaştırmayı hedefleyen mühendislik disiplinine çevre geotekniği denmektedir. Bu mühendislik uygulaması geoteknik mühendisliğinin disiplinler arası ilişkileri ciddiyetle ele alındığı yeni bir dönemi başlatmıştır. Artık geoteknik mühendisleri de çevresel kaygıları tasarım ve değerlendirme kriterlerine koymağa başlamışlardır. Bu yaklaşımın geniş kabul görür duruma gelmesi son yıllarda olmuştur.

1980'lerde çevre geotekniği alanında gelişmeler görülmüştür. Katı olarak nitelendirilebilecek atıkların, yasal düzenlemelerle depolanması ve yönetimine karşı duyarlılık artmıştır. Çift tabakalı sistemler, sızıntı erken uyarı mekanizmaları, geomembran şilteler bu dönemde kullanılmaya başlanılmıştır. Bir çok yeni kavram tartışılmakla kalmamış, yasal düzenlemeler getirilmiş ve uygulamaları zorunlu kılınmıştır.

Birleşmiş Milletler Örgütü bünyesinde Dünya Sağlık Örgütü ve BM Çevre Programının giderek artan kirlenme ve kontrolsüz sanayileşme gibi olumsuzlukların doğal dengede oluşturduğu bozulmaya dikkat çekmişlerdir. Üye ülke hükümetlerine bu konuda acil düzenlemeler yapma konusunda çağrıda bulunulmuştur. Türkiyede bu konuda ilk resmi atılım 1990'lı yıllarda çevre bakanlığının kurulmasıyla başlamıştır.

Tüm çabalara rağmen atıkların ortadan kesin şekilde kaldırılabilceği bir yöntemin olamayacağı açıktır. Dolayısıyla amaç olabildiğince azaltılmış kütlelerin en

az zarar verecek ve yer kaplayacak şekilde depolanması yolu ile çevre sağlığını bozmayarak tasfiye edebilmektir. Bu amaçla -katı atık depolama tesisleri- tasarlanmaktadır. Atık içinde oluşan zehirli ve toksik bileşenleri çok fazla olan sıvı oluşumu -ki bu oluşuma genelde çöpsuyu sızıntısı denmektedir- uygun drenaj ile toplanmalı altındaki zemin tabakalarına yayılması kontrol edilmeli ve yeraltı suyuna sızarak kirlenmesi engellenmeli, toplanabilen bu sıvıların mümkünse arıtıldıktan sonra uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

Atıkların depolanmasında kullanılacak, sınırlanmış bir tabakayı tanımlarken birimlerin ayrıntılı hidrojeolojik özellikleri belirlenmelidir. Kısaca birimin katmanlaşarak oluşması sırasında ve sonrasında, jeolojik sürecin etkisi iyi anlaşılarak yorumlanmalıdır. Tabakalaşma ortamı ve komşuluğundaki oluşumlar, tabakalaşma süreci ve tarihçesi, jeolojik birimlerin özellikleri gibi bilgilerin iyi anlaşılması sayesinde, hidrojeolojik prensipleri uygulayarak, yeraltı suyu akımını gerçekçi ve akılcı biçimde tanımlayabilmek mümkün olabilecektir.

Bu yüzyılın ortalarına kadar hemen hemen tüm atıklar, kontrolsüz biçimde açık alanlara boşaltılmaktaydı. Hacmi azaltabilmek için atıkların yakılması sıkça rastlanılan bir uygulama idi. Atıklar, önceleri doğal topografyası uygun olan sahalara kontrolsüz ve açık şekilde boşaltılmaktaydı. II. Dünya savaşının ardından "Sihhi Atık Depolama" uygulamalarının ilk örnekleri verilmeye başlanılmıştır. Erken dönemdeki sihhi atık depolama birimlerinin tabanında özel oluşturulmuş geçirimsizlik şilteleri bulunmamaktaydı.

Sihhi atık depolama tesisleri sayesinde çöplerden üreyen sinek ve asalakların sayılarında azalma ve halk sağlığını tehdit eden durumların ortadan kalkması sağlanmıştır. Bunun yanında istenmeyen, çirkin çöp yığınlarının yerine görünümden estetik açıdan değişimler ve iyileşmeler kaydedilmesi sağlanmıştır.

1970'lerden itibaren geçirimsizlik şilteleri "Sihhi Atık Depolama" sahalarında sürekli kullanılmaya başlanmış, ilk çift kısımlı şiltelere sahip sahalarda 1978'de yapılmıştır. Çok kısımlı şiltelere ve oluşan çöp suyu sızıntısını toplayabilen drenaj sistemlerine sahip gelişmiş depolama tesisleri ise ilk kez ABD 'de kullanılmıştır. Günümüzde katı atıkların depolanacağı ünitelerin tasarımı ülkelerin yönetmeliklerle ve yaptırımlar sağlamaları suretiyle düzenlenmiştir.

Katı atık depolama tesislerinin yapımından beklenen, tasarımcı mühendis açısından, yeterli ve sağlıklı bir atık depolamayı uygun maliyetle gerçekleştirmek

olurken, böyle bir sahaya yakın komşu olan biri için ise tesisin çevresine hiç zarar vermemesi olabilmektedir. Böylece farklı bakış açılarından değişen bir amaçlar yığını ile karşılaşılabilir. Geoteknik mühendisinden beklenen, problemlere pratik, etkin-maliyetli, güvenilir ve yeterli çözümler getirmesidir.

Katı atık depolama tesislerinin içinde "çöp suyu sızıntısı" oluşup, oluşamayacağı katı atık depolama üniteleri için en sık akla gelen sorulardan biri olmaktadır. Burada tesisin içinde, çöp suyu sızıntısının oluşum mekanizmasının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekliliği vardır. Tesisten sızıntı oluşumu, ani boşalmalar sebebiyle olabileceği gibi beklenen bir konsantrasyon yığılmasının uzantısı olarak da ortaya çıkabilmektedir. Bu tür yayılmaları engellemek ve tesisi tecrit edebilmek için şilte tipi geçirimsizlik sağlayabilecek engel tabakaları kullanılabilmektedir.

Katı atık depolama tesisleri için yer seçimi oldukça kapsamlı bir konudur. Atık kaynağına yakınlık, atığın taşınması ve nakil uzaklıkları, iklim, jeoloji, hidrojeoloji, yüzey hidrolojisi, havaalanlarına yakınlık, demografiler, sahanın kullanım amaçları, çevrede oturan halkın sağlığına yapabileceği etkiler ve diğer faktörler alan seçiminde gözönünde bulundurulmalıdır. Hemen hemen bütün katı atık depolama tesisleri, masif atık blokları yerine atıkların hüreciklerlerinden oluşan elemanlar bütününden oluşmaktadır.

Geçirimsizlik sağlamak amacıyla katı atık depolama tesisinin altına inşa edilen düşük permeabiliteye sahip doğal malzemeden yapılan şiltelere, zemin şilte veya kil şilte gibi değişik adlar verilmektedir. Aynı amaçla yeni sayılabilecek bir malzeme olan geosentetik kil şilteler, özel yöntemlerle fabrikalarda üretilmekte ve kullanılmaktadır. Geosentetik kil şiltelerin anatomisi iki geotekstil arasına veya tek geomembranın bir yüzüne sıkıştırılarak yapıştırılmış kilden (özellikle bentonitten) ibarettir. Geçirimsiz şilte sistemleri son yıllarda geomembranlar kullanılarak güçlendirilmektedir. Geomembranlar, düşük permeabiliteli engel ve tecritler oluşturmak için kullanılan yapay, sentetik membrandır. Geomembranlar sıvılar ve buharın geçmesini engellemek için ulaştırma ve çevre mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir katı atık depolama tesisin başarılı olarak çalışabilmesi, tesisin atık depolama ünitesi içinde oluşacak çöpsuyu sızıntısını toplayabilecek, uygun şekilde dağıtılabilecek yada uzaklaştırılabilecek biriminin bulunması ve çalışması gerekmektedir. Atığın üzerini atmosferden ve yağışla sızacak sudan ayıran bir yüzeysel örtü tabakası da bulunmalıdır. Yüzey sularının toplanması ve drenajını sağlayacak bu kısım, geçirimsizlik temini için örtülen geomembran tabakası ile birlikte bir çeşit kapak

görevi görecektir. Depolamanın tamamlanmış olduğu katı atık tesisleri geçici veya sürekli şilte sistemleriyle kaplandıktan sonra, yüzeysel akışın tesise girmesini engellemek ve akış rejimini düzenlemek için yüzeysuyu toplama ve uzaklaştırma sistemi oluşturulmalıdır.

Atığın depolama tesisine yerleştirilmesi ve örtü tabakasıyla kaplanmasının ardından, içeride meydana gelen anaeorobik bozulmalardan dolayı çeşitli gazlar oluşmaktadır. Tesisin üst kısımlarına yığılan metan gazı zehirli olup, yüksek basınçlar altında patlayabilme özelliğine sahiptir. Üstteki geomembranın, hemen altına biriken metan gazının alınması gerekmektedir. Bu sorunda özel metan gazı toplama ve havalandırma sistemleriyle çözülebilmektedir.

Çalışmanın son bölümünde sonlu elemanlar analizi yardımı ile, sızma ve kirlilik analizi yapan yazılımlar kullanılmak suretiyle bir seri parametrik çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda SEEP/W ve CTRAN/W adlı yazılım programları kullanılmıştır. SEEP/W, zemin ve kaya türü boşluklu malzemelerin içindeki boşluk suyu basıncının dağılımını ve hareketini modellemek için kullanılan bir sonlu eleman yazılımıdır. Bulunan akım doğrultuları ve miktarları, problemin tanımlanmasında kullanılan malzeme tip(ler)i, nokta ve elemanlar sayılarında sınırlama olmaksızın kirletici(ler)in yayılımı ile ilgili (CTRAN/W) yazılımıyla çalışma olanağı vermektedir.

CTRAN/W, zemin ve kaya türü boşluklu ortamlarda, kirliliğin ve kirletici etken(ler)in hareketini modelleyen, sonlu elemanlar yazılımı ürünüdür. Problemin sonlu elemanlar ağı ve hidrolik özellikleri SEEP/W altında tanımlanmaktadır. Program sürekli ve ani kirlilik kaynaklarından geçirimli ortamlara kirliliğin yayılmasını izlemektedir. Boşluklu ortamlarda kirliliğin yayılımı kimyasal reaksiyonlar sebebiyle yavaşlayabilmektedir.

CTRAN/W ile yapılan parametrik çalışmalarda, katı atık depolanan tesislerin geçirimsizlik şilteleri, maden atıklarının biriktirildiği baraj ve hendekler, arazide daha önce açılmış, ve terk edilmiş sondaj kuyularının yol açtığı kirlilik ve benzer durumlar incelenmiştir.

BÖLÜM 2

ÇEVRE GEOTEKNOLOJİSİ

2.1 Çevre Geotekniğinin Tarihçesi

Yirminci yüzyılın ortalarına doğru olan dönemde sanayileşmiş ülkelerin mal üretim kapasitelerinde büyük bir gelişme olmuştur. Aynı dönemde hammaddelere ve enerjiye olan talebin artması ve talebin karşılanabilmesi amacı ile yapılan çalışmalara geoteknik mühendisleri ve yerbilimcileri de katılmışlardır. Örneğin, maden ve petrol yataklarının zemin profilinin ve jeolojik koşullarının tanımlanması için önemli görevler üstlenmişlerdir.

Geoteknik mühendisliğinin gelişimi 20. yüzyılın başlarına dayanır. Coulomb(1773), Rankine(1857), Terzaghi(1925) ve diğer bir çok bilim adamının katkıları ile son iki yüzyıl içinde zemin mekaniğinin sağlam bir teorik temele oturtulmasına çalışılmıştır. Fakat geoteknik mühendisliğinin uygulamada yaygın kullanılır duruma gelmesi II. Dünya savaşı sonrasına rastlar. 1936 yılında kurulan "Uluslararası Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kurumu", 1950'lerden sonra işlevsellik kazanmıştır. Aynı yıllarda "Geotechnique", "the Canadian Geotechnological Journal" ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Odasının "Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering (Geotechnical Engineering)" adlı yayınlar ilk kez basılmışlardır.

Dönemin mühendislik uygulamalarında, çevrenin kirlenmesine ve olumsuz etkilenmesine karşı duyarlılık yeterince netleşmemiştir. 1970'lerde, çevreye karşı duyarlılığın önem kazanmasının ardından geoteknik mühendisleri, pek etkin olmasa da, ilk kez bu alandaki çalışmalarda görev üstlenmiştir. Profesyonel şirketler bu yıllarda, çevre konusunda yetkili bir uzmanı kadrolarında bulundurmaya yeter görmüşlerdir, fakat zamanla konuyla ilgili özel bölümleri ve kadrolarını bünyelerinde oluşturmuşlardır. Daha sonra uzmanlık konusu "çevre geoteknolojisi" olan firmalar kurulmuştur.

araştırmasının, alanın gerçek hidrolik davranış karakteristiklerini yansıtamayacağı bu örneklerle daha net görülmüştür [1].

Yapılan arazi çalışmaları sonucunda, sahadan alınan zemin numuneleriyle temsil edilemeyecek büyüklükte, kuruma/ıslanma tekrarı yüzünden oluşmuş çatlaklar tespit edilmiştir. Artık günümüzde in-situ permeabilite deneyleri ile desteklenmemiş laboratuvar çalışmalarının, alan için temsil yeteneğinden oldukça uzak olduğu bilinmektedir. O yıllarda killi zeminler "geçirimsiz" olarak nitelendiriliyordu. Oysa günümüzde killerin geoteknik özelliklerinin çok değişken olduğu, yerbilimciler tarafından ortaya konulmuştur. Killerin uzun süreli drenajı ve serbest kalan kimyasalların yeraltı suyuna etkisi konularında 1950'lerde yok denebilecek kadar az çalışma yapılmıştı. Aynı hatalar günümüzde yeterince bilgilendirilmemiş mühendisler ve teknik elemanlarca da tekrarlanabilmektedir.

1970'lerde başlayan uygulama pratiğine dayalı, atıkların çevreye etkisini kontrol ederek uzaklaştırmayı hedefleyen mühendislik disiplinine artık çevre geotekniği denmektedir. Dünyadaki enerji krizi döneminde, bir çok ülke enerji açığını, nükleer santraller kurarak gidermeye başlamıştır ve bunun sonucunda çevre geotekniği, önemli uygulama alanı bulmuştur. Bu tür güç santrallerinin yapım izni alabilmeleri için "çevre etki değerlendirme raporları" hazırlanmış olması şartı getirilmiştir. Geoteknik mühendisler bu değerlendirme raporlarını hazırlayan grupların önemli elemanları hatta yöneticileri olmuşlardır. Bu sayede ilk kez geoteknik mühendisleri geleneksel uygulama alanları, çevre bilimi uzmanı, biyolog, botanikçi gibi bilim adamları ile birlikte entegre tasarımlar yapmaya ve teknik raporlar hazırlamaya başlamışlardır. Bu mühendislik pratiği, geoteknik mühendisliğinin disiplinler arası ilişkileri ciddiyetle ele alacağı yeni bir dönemi başlatmıştır. Artık geoteknik mühendisleri de çevresel kaygıları tasarım ve değerlendirme kriterlerine koyma gerekliliğini benimsemişlerdir. Ama bu yaklaşımın geniş kabul görür duruma gelmesi son yıllarda olmuştur.

Nükleer santrallerin sağlam ve güvenli yapılması gerekliliğinin yanı sıra bu tür enerji üretiminin çıktısı olan radyoaktif atıkların nasıl güvenle depolanabileceği sorunu, çevre geotekniğinin ilk önemli atık depolama konusu olarak ortaya çıkmıştır. Bu atıkların en önemli özelliği, binlerce yıl bozulmadan yüksek radyoaktivitelerini koruyabilmeleridir. Bu nedenle radyoaktif atıkların kaya ortamlar içerisine depo edilmeleri gerekmektedir. Bu tür atıkların depolanabileceği kayaların yeterliliği, zeminin gerçekçi termal ve basınç koşulları altında uzun süreli davranış biçimi, olası yeraltı suyu durumu ve potansiyel risk değerlendirmesi konularında geoteknik

mühendisleri ilk ve en kapsamlı görevlerini üstlenmişlerdir. Böylece geniş kapsamlı bir teknik analiz atık depolama ünitelerinin yapımında kullanılmış olacaktır.

New York "Love Kanal" bölgesinde, kimyasal kökenli atıkların bu eski kanala kontrolsüz biçimde depolanması ve üzerinin kil örtü ile kaplanması izleyen sürede bölgede insan sağlığını tehdit eden etkenlerde hızlı bir artış gözlenmiştir. Kimyasal kökenli tehlikeli atıklar sızma yoluyla bölge halkının kullanma sularına karışmış ve bu durum halk sağlığını ciddi biçimde tehdit etmeye başlamıştır. İlk kez uygun olmayan depolama ve kimyasal atıkların yönetimindeki kontrolsüzlük yüzünden, çevre sağlığının etkilenmesi karşısında kamuoyunun tepkisiyle karşılaşmıştır. Böylece tasarım standartı ve kontrol mekanizmaları geliştirilmesinin gerekliliği tartışılmaya başlanmış ve geoteknik mühendisliği atık depolama üniteleri tasarımı veya kontrollü uzaklaştırma sağlanması sürecinde işlevsellik kazanmıştır.

Tablo 2-1 Ülkelerin Yıllık Kimyasal Atık Üretimleri ve Oranları

Ülkeler	Nüfus ($\times 10^6$)	Atık Üretimi ($\times 10^6$ Ton)	Kişi başına atık üretimi (kg / kişi)
İsviçre	6.4	0.1	16
Danimarka	5.1	0.1	20
Kanada	23.9	1	42
İsveç	8.3	0.5	60
Hollanda	14.1	1	71
İtalya	57	5	88
İngiltere	56	5	89
Fransa	53.7	5	93
Almanya	61.6	6	97
Belçika	9.9	1	101
A.B.D.	227.7	40	176

1980'lere girilmesi ile çevre geotekniği uygulama alanı genişlemeğe başlamıştır. Katı olarak nitelendirilebilecek atıkların, yasal düzenlemelerle depolanması ve yönetimine karşı duyarlılık artmıştır. Çift tabakalı sistemler, sızıntı erken uyarı mekanizmaları, geomembran şilteler bu dönemde kullanılmaya başlanılmıştır. Bir çok yeni kavram tartışılmakla kalmayıp, yasal düzenlemeler getirilmiş ve uygulamaları zorunlu kılınmıştır. Yönetmelikleri hazırlayan konuyla ilgili resmi kurumlar,

gelişmeleri güncelleştirilmesinde mühendislerle de yardımlaşarak, yeni bir bilgi düzeyi oluşmasını sağlamışlardır.

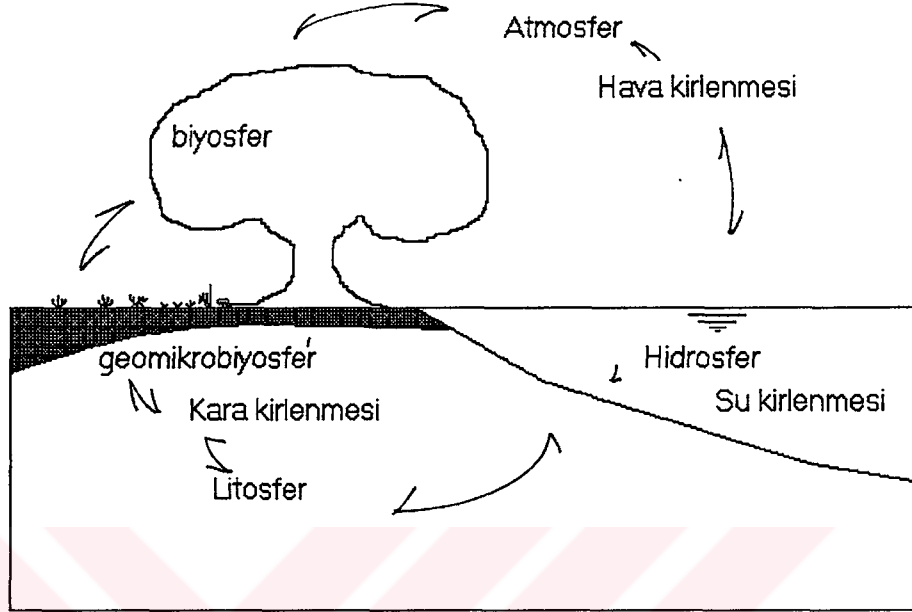
Yasal düzenlemelerin yürürlüğe sokulduğu 1980'lerde konu ile uzmanlık düzeyinde ilgilmesi gerekliliğine dayanarak ulusal kurumlar, bakanlıklar, ve merkezler kurulmaya başlandı. Birleşmiş Milletler Örgütü bünyesinde Dünya Sağlık Örgütü ve BM Çevre Programı giderek artan kirlenmenin ve kontrolsüz sanayileşmenin doğanın dengesinde oluşturduğu bozulmaya dikkat çekmişler ve üye ülke hükümetlerinin bu konuda acil düzenlemeler yapması gerekliliğine işaret etmişlerdir. ABD'de ilk olarak "CERCLA" adıyla temizleme faaliyetleri, temizletmenin kimin sorumluluğu altında olduğunun araştırılması ve faaliyetlerin finanse edilmesi konuları üzerinde çalışacak bir kurum oluşturulmuştur. Benzer biçimde çevresel kaygıların önceliğini vurgulayacak adımlar atılmıştır. Türkiyede ise 1990'lı yıllarda hissedilen bu eksiklik çevre bakanlığının kurulmasıyla giderilmeye çalışılmıştır.

Çevre geoteknolojisi uzmanı denildiğinde bu kapsamın içine inşaat mühendisleri, geoteknik mühendisleri, çevre mühendisleri, yerbilimciler, jeologlar, botanikçiler, biyologlar, hidrojeologlar, jeofizikçiler, jeomorfologlar, mühendislik jeolojisi uzmanları, jeoloji mühendisleri, maden mühendisleri ve ziraat mühendisleri girmektedir. Bu geniş perspektifte ve etkileşimli konular içinde geoteknik mühendisinden istenen, problemlere pratik, etkin-maliyetli, güvenilir ve yeterli çözümler getirmesidir. Kısacası, genel anlamda "atık yönetimi sürecinden" yukarıda adı geçen disiplinler arasında yapılacak değerlendirmeler ışığında atığın uzaklaştırılması veya temizlenmesi işinin düzenlenmesini sağlaması beklenmektedir. Sanayileşmiş ve sanayileşme sürecini yaşayan bütün devletlerin ciddi miktarda ve çok çeşitli atıklar ürettikleri ortadadır (Tablo 2-1). Çevre geoteknolojisi bilgisinden tutarlı ve yerinde bir biçimde yararlanabilmek için kazanılmış bilgilerin desteğiyle faaliyetlerin etkin ve uygun maliyetli atık yönetimi teknikleriyle yürütülmesi gerekmektedir.

2.2 Atık Oluşumu ve Kirlenme

Kirlenme olayı için bazı kavramsal modeller geliştirilmiştir. Bunlardan birisinde, atmosfer, biyosfer, geomikrobiyosfer, litosfer ve hidrosfer ortamlar arasındaki çevrim hareketlerinde kirlenmenin olduğu öne sürülmüştür. Bu süreçlerin gerçekleştiği ortama kısaca geo-çevre denmektedir (Şekil 2.2). Zemin-kaya ortamlar ve ortamlar arası geçişlerin yerel çevredeki dinamiklere aşırı duyarlı olduğu açıktır. Bu ortamların çevreden gelen etkiler karşısında dengesinin bozulması ve dengesini korumaya

çalışması yada dengesini yeniden sağlaması çevre geotekniğinin felsefesini oluşturmaktadır.



Şekil 2-2 Kirlenme Döngüleri ve Etkileşimi

Bu duyarlı denge zemin-çevre etkileşimi, zemin-su etkileşimi, zemin-kaya arası jeomorfolojik etkileşimler, örnekleriyle verilebilecek küçük denge gruplarının uyumuyla sağlanmaktadır. Türk Dil Kurumunun sözlüğü bir şeyi çevreleyen herşeye çevre denildiğini söylemektedir. Mikro yapılanmalardan global sosyo-kültürel topluluklara uzanan geniş bir çevrelenmeyle kuşaklandığımız ortadadır. Bu yaygın platformda, ortamın mühendislik felsefesine uygun algılanması için çeşitli kavramsal modeller geliştirilmesi gerekliliğinden sözedilmişti. Burada kısaca beş enerji alanı adlı bir başka kavramsal modellemeden bahsedilecektir.

Model mekanik, termik, elektrik, manyetik ve radyoaktif enerji alanlarından oluşan bir ortam üzerinde, enerji alanları arasındaki dönüşüm ve geçiş ilişkilerini tanımlamaktadır (Tablo 2.2). Modelde atıkların oluşumu yada toprak kayması mekanizmaları bu ilişkilerin sonucu olarak açıklanmıştır. Modelin özünde, değişken çevre koşullarının zemin davranışını da değiştireceği vurgusu yer almaktadır. Dolayısıyla zemin ve çevresinin davranışının yorumlanmasına dikkat edilmelidir. Zeminin çevresindeki değişiklikler zemin yapısında kalıcı değişiklikler

yapabilmektedir. Örneğin mineral yapısı, granülometrisi, dane boyutları, elektriksel yükleri, iyonik kapasiteleri değişebilmektedir. Zira küçük dane boyutu, zayıf elektriksel yükler, yüksek iyonik değişim kapasitesi ve mekanik etkilere yatkın olma durumu, çevresel duyarlılığı artırmaktadır. Geniş dokanak yüzeyine, küçük dane boyutuna sahip montmorillonit tipi kil mineralleri, illit ve kaolinit tipi kil minerallerinden daha yüksek iyonik değişim kapasitesine ve zayıf elektriksel yüklere sahip olabilmektedir. Granüler (Kaba daneli) zeminlerin daneleri arasındaki su akışı, ortam ve doğası itibarı ile oldukça karmaşık bir sistem oluşturmaktadır.

Darcy'nin akım kurallarına dayanan bir akım analizi boşluk suyunun karmaşık kimyasal bileşimi ve zemin içindeki izlediği yol nedeniyle her zaman uygulanamamaktadır. Böyle durumlar için örnek olarak -tırmanan akım- adında düşük hızda, dengesiz, uniform olmayan, bazen süreksiz ve içinde toksik parçacıklar içeren katkılar veya gazların olduğu bir sıvı akışı modeli Fang ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [2]. Bu zemin sisteminde su farklı fazlarda buhar, değişken viskozitede sıvı ve farklı plastisitede katı olmak üzere bulunmaktadır. Bunlardan en kararsız ve zayıf olan durumu buhar fazıdır. Diğer durumlarda kararlı bir yapı söz konusudur (Tablo 2.3). Akımın mekanik enerjili hareketi elektrik, kinetik ve manyetik enerji tarafından da etkilendiğinden Darcy'nin akım kuralı aşağıdaki gibi yorumlanabilmektedir.

$$\Psi_e = K_e \times I_e \quad (2.1)$$

Ψ_e :Enerji durumundaki akım hızı

K_e : Enerji iletkenlik katsayısı

I_e : Enerji çarpanı

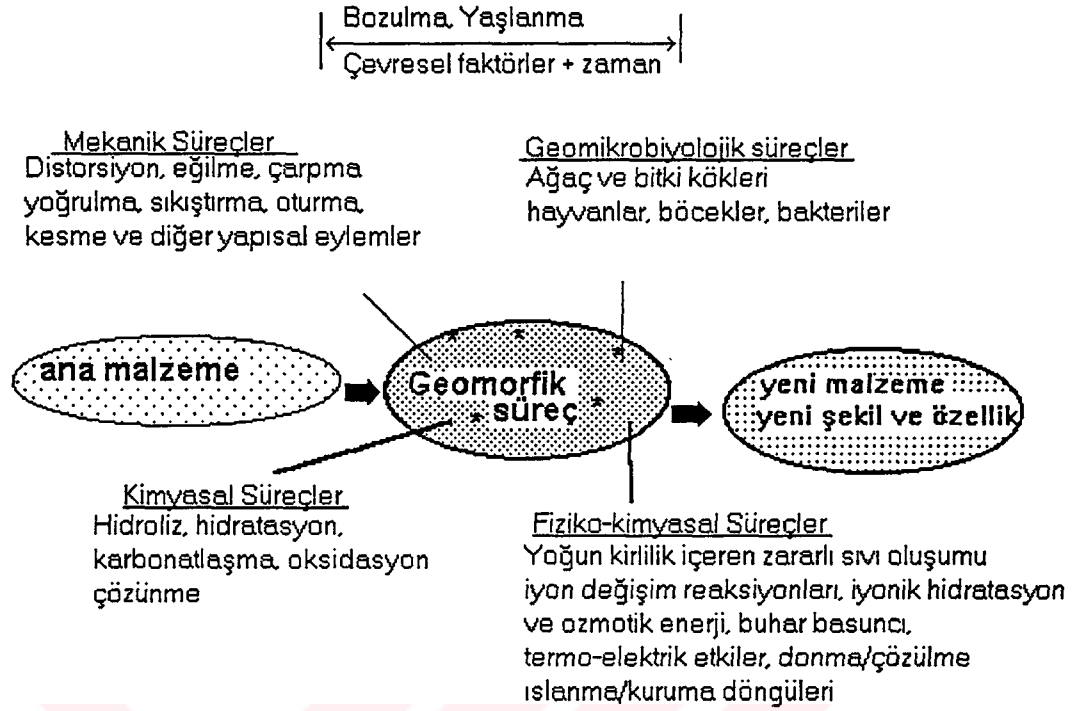
Tablo 2.2 Çevresel Olayların Enerji Alanları Arası İlişkilerle Açıklanması

Ç E V R E İ N S A N	Çevresel Bölgeler veGözönüne Alınacak Değişkenler		Tipik Çevre-Geotekniği Problemleri		Değerlendirmede Kullanılan Kriter ve Kurallar
	MEKANİK ENERJİ ALANI (Potansiyel yada Kinetik)	TEK-FAZDA Kazık Çakılması, Kaya Patlatması, Temel Tırcımsı, Taşkın Erozyon	ÇOK-FAZDA A R N S A Ü i D K T O L Y N E A G R Ğ A M Z A U I T R I I L E K A M R İ L I L L - I I T M D O İ E K P R S O E İ L M S A M İ T A E A		
	Yükleme, Deformasyon, Hız, İvme, Kütle, Dalga, Ses				Darcy Kanunu Hooke Kanunu Newtonun Hareket ile ilgili Kanunları
	Termo-elektrik	TERMAL ENERJİ ALANI Hidrasyon, Nemlenme Isısı, Kinetik Dispersif Kuvvetler, Termoozmozis	Donma-Çözülme, Islanma- kuruma döngüleri, Yeraltı yangınları, Termal Kirlenme		Termodinamik Kuralları, Fourierin Kanunları Genel Gaz kanunu
	İyonizasyon ve Diffüzyon	ELEKTRİK ENERJİSİ ALANI Polarizasyon, Proton Göçü, Elektro- Motor Kuvvetler, Elektrik İletkenliği	Akma, Viskozite, Reoloji, Deformasyon, Şekil Değiştirme, Akım		Koulumb'un Kanunu Joule Yasası Ohm Kanunu Amper Kanunu
	Yükseltgenme İndirgenme Tepkimeleri Elektro-Viskoz	MANYETİK ENERJİ ALANI Elektromanyetizma, Ferromanyetizma, Elektromanyetik İndüksiyon, Elektromanyetik dalgalar	Pekleşme, Yumuşama, Zeminde çatlaklanma, Yaşlanma Etkileri		Faraday Kanunu Lenz Yasası Biot-Savart K. Gauss Kanunu
	Elektro-Motor Kuvvetler	NÜKLEER ENERJİ ALANI Yarılma, Radyoaktivite, Bozunma, Nükleer Tepkimeler Temel Kuvvetler	Nükleer Atıklar, Radon Gazı, İnşaat Sektöründe kullanılan Nükleer Enerji		Atom Fiziği Nükleer Fizik Quantum Mekaniği

Tablo 2.3 Hidrolik İletkenliğin(Permeabilitenin) Su-Zemin Kütlesel Taşınım Sistemine Etkisi

	1. Permeabilite Mekanik veya Potansiyel Enerjiye Bağlı Olarak	Mekanik Enerji Alanı
K İ T L E S E L T A Ş I N I M O L A Y I	2,. Enerji İletkenliği (Çevresl) a-) Hidratasyon Enerjisi Nemlenmedeki ısıdan etkilenecek iyonları harekete geçirir b-) Ozmotik Enerji İyonların Ozmotik Enerjileri, karalı denge halinden, serbest katı parçacıkların doğrudan suyla reaksiyona girmelerine yol açar. c-) Kapiler Potansiyel Suyun yüzey gerilimi ve zemin boşluklarının boyut ve geometrisine bağlı değişir d-) Elektrik Potansiyeli Elektro-ozmosis, Elektro-kinetik olaylar e-) Termal Potansiyel Termozmosis, Termal-Elektrik etkisi f-) Manyetik Potansiyel Elektro-manyetik kuvvetler g-) Buhar Basıncı Potansiyeli	Çok Malzemeli ENERJİ ALANLARI (Tablo 2.2)

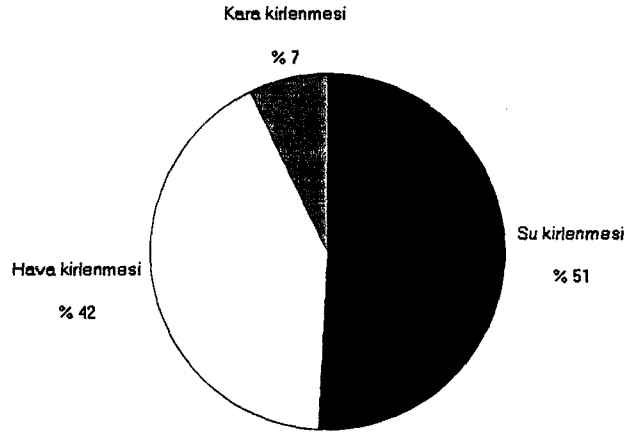
Yukarıda verilmiş olan bağıntı (2.1) "enerji iletkenlik denklemi" olarak adlandırılabilir. Tecrit edilmiş bir sistemde bir malzemenin iletkenliği her çevre koşulunda kararlı ve sabit kalmalıdır. Bununla birlikte sözkonusu değer deneysel olarak saptanmalıdır. Genel bir mühendislik karakteristiği olan permeabilite katsayısı, ısıdan, tehlikeli ve toksik bileşenlerin varlığından ve elektro-potansiyel, kimyasal difüzyon olaylarından doğrudan etkilenmektedir. Kirleticinin hareketi ve zemini etkilemesi sürecinde ortamın permeabilitesi önemli bir belirleyici olarak karşımıza çıkmaktadır. Deneysel örneklemenin, sistemi temsil etmekte başarılı olmasına duyarlılık göstermelidir. Tüm gelişmelere rağmen değişken enerjilerde permeabilite saptamak ve olası en uygun gerçekçilikle sonuca erişebilmek neredeyse imkansız görünmektedir. Asıl hedef probleme ait ortama özgü durumu saptayarak yorum yapmak olmalıdır.



Şekil 2-3 Zemin-Kaya Geomorfizması Kavramı

Zemin-kaya ortamların kirlenmesi mekanik, kimyasal, fiziko-kimyasal, geo-mikrobiyolojik süreçler üzerinden gerçekleşmektedir (Şekil 2-3). Bunlara kısaca "jeomorfik süreç" denmektedir. Kısa süreli mekanik süreç dışında diğer süreçlerin gerçekleşmesi uzun zamanlar almaktadır. 1925 de zemin mekaniği biliminin temellerinin atılmasının ardından, geoteknoloji gelişmiş ve uygulamalı inşaat mühendisliğinde saygın yerini almıştır. Geoteknolojide mühendislik ortamın, diğer ortamlarla etkileşimi ve kendi içindeki temel davranışları henüz yeterli biçimde incelenmemiştir. Şekil2.4 günümüzde araştırılan kirlenme olayları içerisinde kara kirlenmesi ile ne kadar az ilgilenildiğini göstermektedir.

Günümüzde zemin sınıflandırması (ASTM D2487-33) dane boyutu ve miktarına göre yapılmaktadır. Halbuki zeminin kendi içindeki davranışını ve çevreyle ilişkisinde belirleyicilik görevi olan danenin spesifik yüzeyi, boşluk suyunun pH değeri, adsorbsiyon vb., değerleride dikkate alınmalıdır. Ayrıca kirlenmiş bir zemin için zemin yüzeyi, kırıklılık izleri yada kalıbı, rengi, kokusu, hacim değişimi ile tanımlanmalıdır. Hava ve su kirliliği karşısında zemin kirlenmesi ile çok az ilgilenilmiştir.



Şekil 2.4 Kirlilik Araştırmalarının Kirlenme Türlerine Göre Dağılımı

2.3 Yasal Düzenlemeler

Çevre geoteknolojisi, uygulandığı devlet tarafından, bölgesel iklim ve gelişme koşullarına göre hazırlanmış yönlendirici ve geçerli bir bilgi düzeyi oluşturucu yasal düzenlemeler sayesinde tam bir işlevsellik kazanır. Bu bağlamda büyük boyutlu kirlenme etkileriyle en erken karşılaşan ve yasal düzenlemeler yapma yoluna giden ilk ülke olan ABD'deki çalışmalara değinilecektir. Kirliliğin etkileri hemen ortaya çıkmadığı için atık ıslah ve depolama tekniklerinin uygulamasının, yasal yükümlülüklerle getirilecek zorunluluklara ihtiyaç duyduğunu belirtmiştik. İklimsel özellikleri çok değişken ve karmaşık olan ABD'de, ülkede uniform düzenlemeler ile bağlayıcılık sağlanamayacağı sorun yaratmıştır. Bu nedenle federal hükümet eyalet hükümetleri ile eş güdümlü bir yasama faaliyetini yürütmeyi öngörmüştür.

Genel örgütlenme yapısı işlevsellik yönünden ikiye ayrılmıştır. Kısaca RCRA denilen kaynakların korunması ve ıslahı hareketinden sorumlu bir kurum oluşturulmuştur. RCRA bünyesinde tehlikeli ve katı atıkların ıslahıyla ilgili çalışmalar yapan uzman bir grup toplanmıştır. Tehlikeli atıklar "altbaşlık C", diğer zararsız atıklar "altbaşlık D" ile listelenerek basit bir sınıflama sağlanmıştır. Daha öncede adı geçen CERCLA kısaca depolanmış atıkların oluşturduğu kirliliğin giderilmesi ve ıslahı işlerini ve düzenlemelerini yapan, finansal desteği sağlayan yasal yapılanma olarak yerini almıştır. CERCLA ayrıca kirliliğin oluşmasına sebep olan koşulları, kurum ve firmaların saptanmasını, giderlerin gerçek sorumluya yükletilmesini, aksi takdirde federal bütçeden fon teminini veya finansal kaynak oluşturulmasının planlanmasını

sağlayacak yetkilerle donatılmıştır. CERCLA'nın çalışmaları ve yetkileri bir süre sonra yeniden yapılanmaya gidilmesi çerçevesinde, kısaca üstyapı ıslahı, resmi izinler için inceleme ve karar alma kurumu anlamına gelen SARA'ya aktarılmıştır.

SARA ve RCRA iki ayrı örgütlenme olarak algılanmalıdır. Aynı alanda farklı işlevsellikler üstlenmişlerdir. RCRA zararlı yada zararsız tüm atıkların depolanması, iyileştirilmesi, kısacası yönetimi ile ilgili geniş kapsamlı ve katı kurallara sahip bir örgütlenmedir. SARA ise RCRA'ya nazaran daha esnek düzenlemelere sahiptir. Aradaki dengeyi, uygulanabilecek veya ilgili yasal düzenlemeyi inceleyip önerebilecek bir uzlaştırmacı görevi olan ARAR adlı eş güdümlayici kurum sağlamaktadır. Her ne kadar uygulanabilirliği veya uygulanamazlığı tartışılabilirse de, daha geniş kapsamlı yasal düzenleme yelpazesine sahip olduğundan RCRA konu ile bir şekilde ilişkilendirilmektedir.

Yönetimde oluşabilecek hiyerarşik karmaşalar ara kurumsallaşmalarla ve ortak hedefin her fırsatta vurgulanmasıyla giderilebilmiştir. Bu karmaşık görünüşlü tablonun asıl hedefi çok geniş bir mali ölçeği olan bu taahhütlerin, etkin-maliyetle ve optimum çözümle genel ekonomik dengeyi bozmadan yapılabilmesine yardımcı olabilmektir.

Yasal düzenlemeler hazırlanırken en büyük problemlerden birine tehlikeli atık sınıfının ve tanımının oluşturulması sırasında karşılaşılmıştır. Sözelimi sofra tuzu aşırı kullanıldığında insanı zehirleyebilmekte ve sağlığını tehlikeye sokabilmektedir. Bu yüzden sadece insan sağlığını tehdit edebilecek bileşenler içeren atıkların tehlikeli olacağı tanımını yapmak yetersiz ve eksik olmaktadır. Tanımın kolay anlaşılır, yaygın kabul görebilecek deneylerle elde olunacak verilere dayandırılması ve akılcı olmasına özen gösterilmelidir.

RCRA bir atığın, tehlikeli atık olarak kabul edilmesini sağlayan durumun, içerdiği katı fazdaki parçacıkları ve yoğunlukla sıvı olan kimyasalları tanımlamayı saptanmasına çalışmıştır. Tehlikeli atıklarda bulunan etkin zararlı bileşenlerin, yasal düzenlemeler çerçevesinde hazırlanmış listelerde toplanmasını sağlamıştır. Aksi belirtilmedikçe toplanmış, terk edilmiş çöpler, yanmış, yakılmış yada tekrar kullanılarak tüketilmiş ve daha çoğu atık olan yığınların tamamı -katı atık- olarak kabul edilmektedir. Bunlardan aşağıdaki dört kriteri sağlayanlar özel şartnamelerle ayrı tutulanları hariç olmak üzere, tehlikeli katı atık sınıfından olacaktırlar [3].

I- RCRA tarafından özel hazırlanmış listelerde bulunan atıklar (bu listeler resmi yayımlarda yer almışlardır. Özellikle USEPA bültenlerinde),

II- Tehlikeli atık ile karışmış, bulaşmış tüm atıklar,

III- Tehlikeli atık depo ve ıslah alanlarından alınmış atıklar,

IV- Aşağıda tanımlanan dört özelliğe sahip atıklar,

a-) Tutuşabilirlik. Atığın normal depolanma işlemine tabi tutulması sırasında ateş alabileceği riskine karşı ateş alma limiti sıcaklığı 60° C'nin üstünde olanlar.

b-) Korozyona yatkınlık. pH < 2 veya pH > 12.5 olanlar veya çeliği 58° ısıda yılda 6 mm.den çok paslandırabilenler, bu yatkınlıktaki atıklardır.

c-) Reaktivite. Dengesiz kimyasal durumu nedeniyle şiddetli reaksiyonlara giren malzemeler içerenler.

d-) Toksisite. Kısaca TCPL deneyinde saptanan limitlerin üstünde toksik olanlar. TCPL deneyi, toksisitenin karakteristik sızması çerçevesince belirlenmiş limit değerleri saptayan bir deneydir. Deney USEPA'nın ayrışma deneyinin geliştirilmesiyle oluşturulmuş bir yöntem kullanmaktadır. (Tablo 2.4). ABD'de önlem almadan tehlikeli atık tasfiyesi yapmak yasadışı bir eylem olarak kabul edilmekte olup, ceza hukukları uyarınca ağır para cezası ve hapis cezası verilebilmektedir. ABD federal yasaları, tehlikeli atıkların geçerli en iyi teknoloji ile ıslah edildikten sonra tasfiyesini gerekli kılmaktadır. Son yıllarda dolgu yapmak suretiyle tasfiye yöntemi terkedilmiştir. Yüksek fırınlarda yakma yoluyla hacimlerini en aza indirerek tasfiye etmek yaygınlaşmıştır. Bu arada şartları sağlaması durumunda, yakma sonucu ortaya çıkan uçucu küllerden, stabilizasyon katkısı olarak yararlanılabilmekte ve ticari amaçlı kullanıma sunarak kazanç elde edilebilmektedir.

Uluslararası çevre geoteknolojisi terminolojisinde MSW harfleri ile sembolize edilen mücavir alan atıkları yada evsel atıklar, dolgu yapılarak depolanmaktadırlar. MSW sınıfı atıkların miktarları çoğu zaman sabit veya az değişir olmaktadır. Tekrar kullanma kampanyalarına verilen ağırlık, ambalaj sanayiinin aldığı bazı önlemler, bu atıkların miktarının sabit kalmasını temin etmiştir. Bununla birlikte evsel atıkların dolgular oluşturularak depolanması yöntemini geliştirmeye ve yeni uygulanabilir teknolojiler üretmeye yönelik çalışmalar artmaktadır.

Tablo 2.4 Toksisite Karakteristikleri ve ABD'deki Yasal Sınırlar

TCPL İçeriği	Yasal Sınırlar	İçerik	EPA Sınırları
Benzen	0,5 mg/L	Arsenik	5,0mg/L
Klorobenzen	100 mg/L	Baryum	100 mg/L
Kloroform	6,0 mg/L	Kadmiyum	1.0 mg/L
m-(o-,p-) Kresol	200 mg/l	Krom	5,0 mg/L
1,4-Diklorobenzen	7,5 mg/L	Kurşun	5,0 mg/L
1,2-Dikloroetan	0,5 mg/L	Civa	0,2 mg/L
1,1-Dikloroetilen	0,7 mg/L	Selenyum	1,0 mg/L
2,4-Dinitrotoluen	0,13 mg/l	Gümüş	5,0 mg/L
Heksaklorobenzen	0,13 mg/L	Endrin	0,02 mg/L
Heksakloroetan	3,0 mg/L	Lindane	0,4 mg/L
Metil Etil Keton	200 mg/L	Metoksiklor	10,0 mg/L
Nitrobenzen	2,0 mg/L	Toksafen	0,5 mg/L
Pentaklorofenol	100 mg/L	2,4 D	10,0 mg/L
Piridin	5,0 mg/L	2,4,5 T-Silveks	1,0 mg/L

Tüm çabalara rağmen atıkların ortadan kesin şekilde kaldırılabilceği bir yöntem yoktur. Dolayısıyla amaç olabildiğince azaltılmış kütlelerin en az zarar verecek ve yer kaplayacak şekilde depolanması yolu ile çevre sağlığını bozmayacak biçimde tasfiye edilmesidir. Kısaca kalıcı nitelikli atıkların mutlaka genel sağlık koşullarını etkilemeyecek, çevreye dolaylı etkileri kontrol edilebilecek şekilde yönetiminin sağlanması gereklidir. Örneğin atığın içindeki tepkimeler sonucu oluşacak tehlikeli gazların, uygun havalandırma tasarlanıp, inşa edilerek alınması sağlanmalıdır. Atık içinde oluşan zehirli ve toksik bileşenleri çok fazla olan sıvı oluşumu -ki bu oluşuma genelde çöpsuyu sızıntısı denmektedir- uygun drenaj ile toplanmalı altındaki zemin tabakalarına yayılması kontrol edilmeli ve yeraltı suyuna sızarak kirletmesi engellenmeli, toplanabilen bu sıvıların mümkünse arıtıldıktan sonra uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

2.4 Atık Türleri

Yapılmış, yapılmakta ve yapılacak olan bütün üretim eylemlerinin ve buna bağlı tüketimin kaçınılmaz getirilerini atıklar bütünü olarak adlandırabilmekteyiz. Bu genel

adlandırmadan yola çıkarak atıklar bütününden ne anlaşıldığını, çeşitliliğini ve sınıflandırılışlarını açıklamak yerinde olacaktır.

Atıklar katı halde çamur veya bulamaç halinde, sıvılar, gazlar halinde ve adı geçenlerin çeşitli kombinasyonları olmak üzere değişik biçimlerde bulunabilmektedir. Artan sanayileşmeden ötürü atık oluşumunda ivmelenen artışlar görülmektedir. Kimi atıklar, oluşumunun ana kaynağı ile ilgili olarak zararsız bileşenlerine ayrılabilirken, kimileri ise çok tehlikeli, zararlı bileşenler içerebilmekte ve ayrışmamaktadır. Genel olarak sanayileşmiş ülkelerde toplam atıkların % 15-25'i tehlikeli olarak nitelendirilen atıklar grubunda yer almaktadır (altbaşlık D, USEPA).

Tablo 2.5 ABD'de Ortalama Yıllık Tehlikelisiz Atık Miktarları

Atık tipi	Miktarı (x 10 ⁶ ton)	Tasfiye yöntemi *							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Evsel	133	x	x	x	x				
Mutfak	0.1-0.001	x				x	x		
Kanalizasyon çamuru	8.4	x	x	x				x	x
Su temizleme çamuru	0.21-0.83	x							
Atık külü	2.3	x				x	x		
Tehlikesiz Endüstriyeler	430	x						x	x
İnşaat molozları	31.5	x							
Madensel	1400							x	
Tarımsal (galon/gün)	1000							x	
Petrol ve Gaz (galon/gün)	6250							x	

* 1, karada tasfiye; 2, denize deşarj; 3, yüksek fırında yakma; 4, kaynak ıslahı; 5, kanalizasyonla tasfiye; 6, septik tanklara depolama; 7, yüzeysel biriktirme; 8, yere(karaya) uyumlandırma

Bu gruptaki atıklar insan sağlığı açısından açık ve doğrudan bir risk oluşturmaktadır. Adı geçen grubun atıkları hastalık yapıcı organizmaları, zehirli malzemeleri barındırmaktadır. İçerikleri itibarı ile kimyasal olarak ayrışmamak suretiyle zamanla tehlike riskini kaybetmeyen tehlikeli atıklar, esas geo-çevresel problemin kaynağını oluşturmaktadır. Yukarıda zararsız atık çeşitleriyle ilgili genel bir fikir vermesi için USEPA (ABD Çevre Koruma Ajansı)'nın RCRA çerçevesinde verdiği yıllık tehlikeli olmayan atık üretiminin niceliğini ve niteliğini, bunların nasıl depolandığını, ıslah edildiğini yada yönetildiği Tablo 2.5'de verilmiştir. Atıklar karada dolgu, yüzeysel biriktirme, yere uyumlandırma, derin kuyu enjeksiyon, v.b.,

yöntemlerle depolanmaktadır. Tehlikeli katı atıkların %90 'ı karalarda depolanmaktadır [4].

2.4.1 Atıkların Sınıflandırılması

Atıklar, üretim çıktısı oldukları yerin kaynağına bağlı olarak şu beş ana başlık altında toplanabilmektedir.

I- Evsel Atıklar

II- Endüstriyel (Sanayi) Atıklar

III- Maden Atıkları

IV-Tarama Atıkları

V- Tehlikeli Atıklar

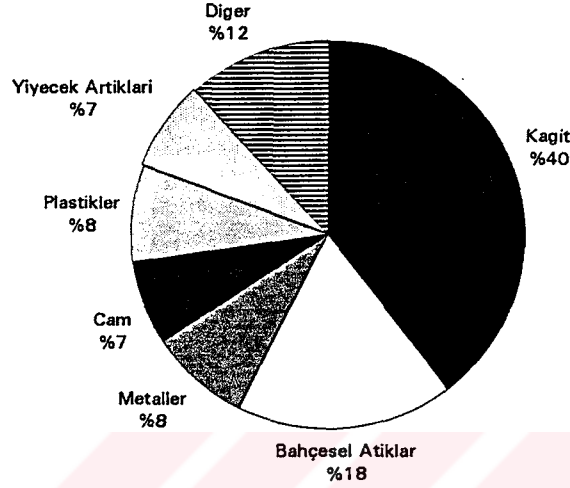
2.4.2 Evsel Atıklar

Ticari malların şehirlerde, özellikle evlerde ve benzer yerlerde tüketilmesiyle oluşan atıklardır. Bu nedenle kısaca evsel atık da denmektedir. Uluslararası terminoloji ile mücavir alan atıkları anlamına gelen MSW harfleri ile sembolize edilmektedir. Heterojen karışımlar halinde bulunurlar. Evsel atıkların kompozisyonu, tüketim çıktısı oldukları bölgenin ticari ve sanayi alışkanlıkları çerçevesinde değişkenlik gösterir. Tipik olarak bir evsel atık kümesi, yiyecek artıkları, kağıt ve ambalajlar, plastik, lastik, tekstil ürünleri, ahşap talaşı ve yongaları, küller, bahçesel artıklarından oluşmaktadır (Şekil 2.5). Genelde evsel atıkların ağırlıkça % 50'den fazlası kağıt ve yiyecek artıklarından meydana gelmiştir [3].

Evsel atıkların katı kısımları karaya depo edilerek ortadan kaldırılmaktadır (uzaklaştırılmaktadır). Bu tür depo yapılacak alanların az olması durumunda atıklar yüksek fırınlarda kurutulmakta ve yakılmaktadır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin tüketim alışkanlıkları göz önüne alınarak yapılan araştırmalar kişi başına ortalama günlük üretilen evsel atık miktarının 1500 gr. olduğunu göstermektedir. Nüfus yoğunluklarını ve diğer faktörleri de göz önüne alırsak, hergün binlerce ton evsel atığın oluştuğu açıktır. Görmezlikten gelinemeyecek kadar çok olan bu atıkların uygun tekniklerle depolanması gerekliliği doğmaktadır. Bunun yanı sıra hacim ve ağırlık olarak daha büyük ölçekte olan ağaç kütükleri, eski

otomobil karoserleri, makina parçaları, buzdolapları, v.b., gibi atıklar da üretilmektedir. Hurda olarak nitelendirilen bu atıklar ticari değerleri itibarı ile kısa zamanda tekrar kullanılmak üzere toplanmaktadır. Sıvı ve diğer fazdaki atıklar, motor ve makina yağları ve boyalar, temizlik sıvıları ile birlikte kanalizasyon şebekesine verilerek uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 2.5 Evsel Atıklar (MSW)

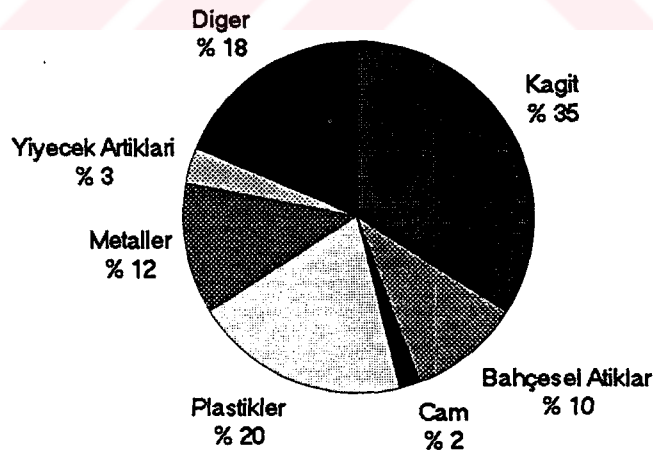
Tablo2.6 Ağırlık Yüzdesi Olarak Tipik Evsel Atık Kompozisyonu

Bileşim	Ülke veya şehir *														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Metaller		1	1	9	3	3		3		5	7		2	8	10
Kağıt ve karton	37	25	5	45	33	3	38	10	14	22	32	14	8	30	37
Plastikler			1	2			8				3				7
Lastik,deri,ahşap		7	1		7	2	12	4		3	7		3	1	6
Dokumalar		3		1	10						4		4	2	2
Yiyecek artıkları	45	44	45	25	15	60	18	74	56	20	36	50	25	16	26
Cam		1	1	11	10	2		7		6	4		3	8	10
Anorganikler	18	19	46	7	22	30	24	2	30	43	7	21	55	35	2

* 1, Avustralya; 2, Bangkok; 3, Pekin; 4, Berkeley,CA; 5, Hong Kong; 6, Jakarta; 7, Japonya; 8, Güney Kore; 9, Madras, Hindistan; 10, New York; 11, Singapur; 12, İspanya; 13, Tayvan; 14, İngiltere; 15, ABD;

Evsel atıklar çeşitli sıklıklarda ayrılıp, incelenerek, içerdikleri malzeme ve malzemelerin bütün içindeki dağılımı saptanmaktadır. Bu işlem tespit edilen çeşitli istasyonlarda, belirli bir çevrimle tekrarlanarak alanın karakteristik atık dağılımı kompozisyonu bulunabilmektedir (Şekil 2.6). Dünyadaki tipik evsel atık kompozisyonu dağılımı Tablo 2.6'da verilmiştir.

Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerde kağıt, karton ve hurda metal atıkların azlığı dikkat çekicidir. Çünkü ekonomik zorlanmalar ve yoksulluk bu tür atıkların tekrar kullanım çevrimine hızla girmelerine neden olmaktadır. Burada dikkat çekici ve ilginç bir noktadan söz etmek gereği vardır. Koşullarında düzelme olan ve refah seviyesinde yükselme görülen ülkelerde, yukarıda anlatılan tip atıkların oranlarında kısmi bir artış izlenmektedir. Bu eğilim kimi zaman atık depolama alanlarının azalması, yasal düzenlemelerin yaptırım gücünün artması karşısında tersine dönmektedir. Termal yol ile bu atıkların parçalanması, yakılması ve atıkların hacim ve ağırlıklarında azalma sağlanması son yıllarda çok büyük bir ilgi görmüştür. Bu yolla ciddi biçimde hacim küçülmesi sağlanarak çöp dağlarının, çöp külleri yığınının dönüşmesi temin edilebilmektedir. Yakılarak elde edilen kül yığınının, yakılmak için yüksek fırına dökülen başlangıçtaki çöp yığınının ağırlıkça % 15-25'i olduğu belirtilmektedir.



Şekil 2.6 ABD'de Evsel Atık Dolgularının Hacımsal Kompozisyonu

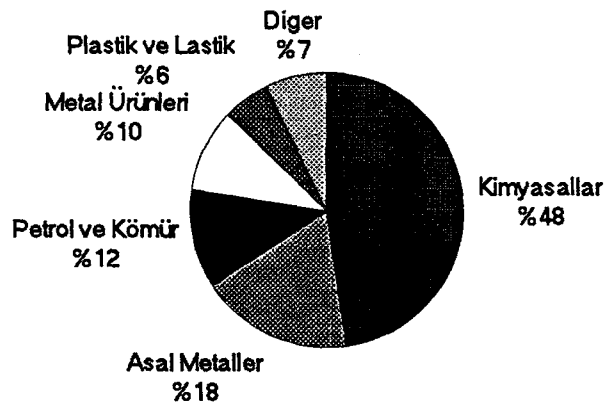
Evsel atığın kompozisyonu, nem durumu, kısaca yakılabilecek durumda olup olmadığı incelenmeli ve yakma için gerekli enerji miktarı bulunmaya çalışılarak termal yöntemlerin uygulanabilirliği ve etkin-maliyeti sağlayıp sağlamadıkları saptanmalıdır.

Çoğu durumda atıktaki yüksek nem içeriği, fazla enerji ile düşük yakma kalitesi oluşturmakta ve çözüm ekonomik olmaktan uzaklaşırken, rasyonelliğini de yitirmektedir.

Uygun durumlarda termal yol ile yüksek fırında atıkların yakılması sonucu elde edilen uçucu ve çökmüş küller inşaat mühendisliğinin başka alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Küllerin mühendislikte kullanımı son yıllarda yoğun bilimsel incelemelere konu olmuştur. Yapılan kimyasal analizlerde, küller içersinde zerrecikler halinde poliklorin bifeniller (PCB), metaller, diyoksinler, polivinil kloridler (PVC) ve diğer toksik bileşiklere rastlanılmıştır. Bu bileşenler yüksek kimyasal adsorpsiyon yeteneğine sahiptirler. Ayrıca bağlayıcılığı olan bileşenlere sahip küllerin iyi birer stabilizasyon malzemesi olabilecekleri saptanmıştır. Dolgulara kirleticilerin oluşturduğu tehlikeli sıvıların, dolgunun bu tip kül içermesi durumunda yeraltı suyuna ulaşması olasılığının azaldığı ve zorlaştığı belirtilmektedir [4]

2.4.3 Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel atıklar sanayi faaliyetlerinin sonucu ortaya çıkmaktadır. Kimya, gıda, petrol, plastik, kağıt, kauçuk, reçine, ahşap, kereste, ilaç, vb., endüstrilerinin atıkları bu grubu oluştururlar (Şekil 2.7). Tarımsal atıklar ise taşkın atıkları, hasat atıkları, hayvan dışkısı, ve gübreden oluşmakla beraber endüstriyel atık olarak kabul edilir. Bu atıkların bazıları değişik düzeylerde organik ve anorganik kimyasallarla, ağır metaller içerirler.



Şekil 2.7 Atıkların hacimlerine göre sektörel dağılımları

Üretilen toplam yıllık endüstriyel atığın en az %15'i tehlikeli atık sınıfındandır. Hızla şekillenen atıkların çevreye etkisine karşı duyarlılık sayesinde tehlikeli atık kapsamında genişleme görülebilecektir. Dolayısıyla endüstriyel atıklar içerisindeki tehlikeli atıkların oranı artabilecektir. 1978'lerden bu yana endüstriyel atıkların %80'i olumsuz ve kontrolsüz koşullar altında toprakta dolgu veya yüzeyde biriktirme olarak depolanmışlardır. Bu nedenle katı atık depolama sahalarından serbest drenaj ve atmosfer bağlantısı koşulları altında sulu organik ve organik kimyasal çözeltiler, organik sıvılar, gazlar, v.b., tehlikeli atık türevleri yeraltı suyuna, toprağa ve atmosfere (kısaca Geoçevreye) katılmışlardır [2].

1981 Kasımından günümüze değin USEPA'ya bağlı RCRA'nın önerisiyle ABD'de sıvı zararlı içeren endüstriyel atıkların kontrolsüz olarak karaya depolanması yasaklanmıştır. Önceleri bulamaç kıvamındaki çamurlar, toprak dolgulara yerleştirilerek uzaklaştırılmaktaydı. Yeni düzenlemeler iyi bir tecrit tabakası ve çöpsuyu sızıntısı toplama sistemi bulunan kanallara boşaltılması gerektiğini belirtmektedir.

2.4.3.1 Kağıt Sanayi Atıkları

Kağıt endüstrisinde oluşan atık çamurlar, ağaç kabuklarının parçacıkları, lifler, lif parçaları, talk, silt ve kilden oluşmaktadır. Kağıt sanayiinin atığı olan bu dengesiz çamur karışımı, lifli organik bileşenler ve yüksek başlangıç su muhtevası sebebiyle uygulanacak yükler altında yüksek mertebede oturmalar yapabilmektedir. Dolgu yaparak uzaklaştırılması durumunda bu hususa dikkat edilmelidir.

2.4.3.2 Baca Gazı Atıkları

Geçerli düzenlemelerde baca gazından, ince daneciklerin(partiküllerin) ve sülfürdioksitin ayrılması istenmektedir. İnce daneciklerin boyutları 100 μm . den büyük olup, danecikler yerçekimi altında çökmektedir. Toz daneciklerinin boyutları 1-100 μm arası değişmektedir. Toz zerrecikleri aynı kayalarda olduğu gibi metaloksitten oluşmaktadır. Bunun yanında külün dane özgül ağırlığı $G_s=2-3$ arasında, daha az organik içerik olması durumunda yaklaşık 1, eğer ağır metal ve oksitlerini içeriyorsa 5'ten büyük mertebelere ulaşır. Bazı 1 μm .den küçük parçalar ki bunlar -duman- olarak adlandırılırlar, katı ve sıvı parçacıkların dispersiyonu sonucu oluşmaktadırlar. Endüstriyel faaliyetlerde oluşan baca gazları ve bunların dane boyutlarını gösteren Tablo 2.7 aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.7 Endüstriyel baca gazlarındaki danecikleri ve boyutları

Malzemenin tipi	Danecik boyutu (μm)
Siyah Karbon	0.01-0.2
Çinko Oksit Dumanı	0.01-0.3
Metalurjik Buhar	0.01-2.5
Petrol Dumanı	0.03-1.0
Metalurjik Toz	0.7-100
Pülverize Uçucu Kömür Külü	1-100
Çimento Tozu	6-200
Pülverize Kömür	10-200
Doğal Kireçtaşı	20-800

Baca gazının içerdiği parçacıklar, maden cevherinin işlenmesi, çimento üretimi, kurşunu ergitme, termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında, kömürün yakılması ,vb diğer faaliyetlerden oluşan uçucu külden oluşmaktadır. Parçacıkların gazdan süzülmesi mekanik ayırıcılar, özel filtre kollektörler, elektrostatik hızlandırıcılar veya ıslak fırçalarla yapılabilir. Kullanılacak aygıt(düzenek)'in seçiminin gazın oluşmasına sebep olan sürece bağlı olarak yapılması gerekmektedir. Mekanik ayırıcılar yüksek gaz akışı için etkili olurken, özel filtre kollektörler kurşunu ergitme işleminde oluşan çinko asidi dumanını toplamada yararlıdır, elektrostatik hızlandırıcılar ve ıslak fırçalar uçucu küle karşı kullanımı yaygın aygıtlardır.

Baca gazlarından sülfür oksidin ayrıştırılması veya baca gazlarının desülfürizasyonu, sülfüroksit emen (absorbe eden) kireç veya kireçtaşı bulamaçlarından süzerek gerçekleştirilebilir. Islak fırçalama yöntemi meydana gelen çamurda, kalsiyum sülfat (gypsum), kalsiyum sülfat ve daha çok sönmüş kireç veya kireçtaşı oluşmakta ve bu oluşumun uygun biçimde ortadan kaldırılması yada depolanması gerekmektedir. Sülfat çamurları çok yüksek su muhtevası değerine sahiptir. Bu nedenle tasfiyeleri için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında baca gazının temizlenmesi sonucu ortaya çıkan bulamaç kıvamlı çamur malzemenin tiksotropik davranış gösterdiği izlenmiştir [5]. Bu özellik yoğun kirlenmiş temizleme çamurunun depolanabilirliğini ve kütleli kendini tutma yeteneğini zorlaştırmaktadır. Sülfat yönünden zengin olan çamur,

uçuşu kül ile karıştırılarak kompaksiyon ile sıkıştırılabilmektedir. Böylece daha duraylı dolgular oluşturmak mümkün olabilmektedir.

Alternatif bir yöntem olarak çift-alkali uygulanabilmektedir. Bu yöntemde suda çözünür emiciler (sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum sülfid, vb.,) kullanılmaktadır. Çift-alkali yönteminden oluşan atıklardan suyu almak, baca gazı desülfürizasyonu işleminde oluşan atıklarda aynı işlemi gerçekleştirmekten daha kolay olabilmektedir. Selenyum, arsenik, civa ve ağır metaller, diğer kimyasallarla birarada bulunup su kalitesini tehdit ederek su kirlenmesine yol açmaktadırlar.

2.4.4 Maden Atıkları

Maden atıkları metaller, yakıtlar, kimyasallar, killeri, vb., diğer madenlerin çıkartılması işlemi sırasında oluşurlar. Madenlerin işletilmesi ve maden çıkartılması işlemleri sırasında da atık oluşmaktadır. Maden atıklarının düzenli biriktirilmesi ve kontrol altına alınmadığı durumlarda zemin, su, hava kirlenmesi riski yükselebilmektedir. Dünyada bir yanda doğal kaynaklar ve hammaddelere olan talep artarken, öte yanda kaynaklarda hızlı bir azalış söz konusu olmaktadır. Bu durumda düşük kaliteli cevher kaynaklarına ve az miktarda bulunan damarlara da ihtiyaç doğmaktadır. Böyle işletmelerde de çok miktarda kazı molozu, kirlenmiş toprak ve atık oluşmaktadır. Bununla birlikte bu tip atıkların içinde, tehlikeli ve çevre sağlığını tehdit edici atıklara pek rastlanmamaktadır.

Maden ocağının işletilmesi sırasında cevher içeren kayalar yada tabakalar, basınçlı, hidromekanik, vb., yöntemlerle parçalanmaktadır. Ardından iki ana grup halinde boyutlarına ayrılarak madenin alınması işlemi yürütülmektedir. Atıklar ayrılmadan, malzeme kendi içinde boyutlarına göre kaba daneli malzemeler (Keskin ve açılı hatları olan kum boyutludur) ve ince daneli malzemeler (Küçükçe kil, kolloidal mineral boyutludur) olarak ayrılırlar. Kalan kumlu malzemeye çökel katı-atık, diğer suda yüzer halde olan kısma ise atık-balçık denmektedir.

Bu tür maden atıkları özel biriktirme hendeklerinin ardında toplanılarak, derin kuyulara enjekte edilerek yada kaba daneli kısımları çok olan kütleleri terk edilmiş maden galerine doldurularak depolanmaya çalışılmaktadır. İşletilmiş maden galerilerine sadece kaba daneli malzeme istiflenmelidir. İnce daneli malzemelerle galerilere geri dolgu yapılmasının çeşitli sakıncalar yarattığı belirtilmektedir [6].

Madensel katı-atıklar ve iri daneli maden atıkları eğer tehlikeli bileşenler içermiyorlarsa inşaat amaçlı beton dökümünde agrega yada dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler. Depolanması çok karmaşık ve zor olan suda askı halinde bulunan atık-balçıkların hacimleri çok fazla ve kayma mukavemetleri oldukça küçüktür. Geoteknik mühendislerince, mühendislik özellikleri bakımından zayıf olan bu malzeme, dolgu yapmak için tercih edilmemektedir. Dolgu yapılması durumunda, hacmi mümkün olduğunca küçük tutabilmek ve kayma mukavemetinde daha fazla duraylılık sağlamak için stabilizasyonla güçlendirmek gerekmektedir [7].

2.4.4.1 Kömür ve Kül Atıklar

Enerji krizinin son yıllarda hızla artması nedeniyle fosil yakıtlara olan talepte artışlar olmuştur. Gelişen madencilik teknolojileri sebebiyle popüler bir fosil yakıt olan kömüre ilgi artmıştır. Bu nedenle, düşük verimli damarlar işletmeye alınmıştır. Yeni işletmelerin çalışmaya başlamasının ardından, eskiye oranla çok daha fazla yan ürün, moloz kısaca depolanma ihtiyacı olan atıklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle verimsiz ve yoğun olmayan damarların da işletilmesi sırasında jeolojik örtüye bağlı olarak, çok miktarda silttaşı, kumtaşı, kiltası, şeyl, çamurtaşı ve kil açığa çıkmaktadır. Damarlardan maden çıkarılırken, kaba daneli sayılabilecek 76 mm. boyutlu maden kayası parçaların kopartılması, işlem sırasında 0.5mm. boyutlu işleme ve parçalama yongası(talaşı) biçiminde atık zerrecikleri oluşmaktadır. Parçacıkların şekilleri ince ve uzunca olup basınç altında küçük parçalara ayrıldıklarında daha geniş yüzeyel alanlara sahip olabilmektedir. Bu durum boşluklanmayı kolaylaştırıp şeyldeki ve karbonlu kayadaki piritin oksidasyonunu için uygun ortam yaratmaktadır. Kömürün içerdiği toz vb., ince malzeme yıkanma sırasında bulamaç biçiminde toplanmaktadır. Bu bulamaç, biriktirme hendeklerinin arkasında depolanır. Bu biriktirme hendekleri kaba daneli malzemeyle yapılamazlar. İnce daneli malzemenin dane özgül ağırlığı G_s , kaba boyutlu atıklardakinden daha azdır. Eğer kaba ve ince boyutlu atıklar, karıştırılırlarsa oldukça dengesiz bir malzeme ile karşılaşılabilir. Karışımın depolanacağı biriktirme hendeği için büyükçe alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanların kontrolü oldukça zor, stabilizasyonu oldukça güç olabilecektir [4]. Bu sorunun çözülmesi için yapılacak işlemlerin, ayrı ayrı depolama yapmaktan daha kolay olmayacağı açıktır.

Açık işletilen kömür madenlerinde, yukarıda sözü edilen atık sorunlarının yanı sıra, maden damarlarının olduğu derinliğe kadar inebilmek için üstteki jeolojik örtünün kaldırılması gerekmektedir. Oluşacak yüksek kütleli malzemenin tasfiyesi ve

dolayısıyla bu zararsız atıkların yönetilmesi mali problemler oluşturmaktadır. Genel olarak üstte bulunan mantonun atıklardan ayrı depo edilmesi gerekmektedir.

Termik santrallerde yakılan kömürün %12-15'lik kısmı uçucu kül veya çökelmiş kül şeklinde artmaktadır. Düşük bitümlü ve linyit kömürünün yakılmasıyla oluşan uçucu küle "C sınıfı " kül denmektedir. C sınıfı küller kireç tozu içerdikleri için, çimentolanma özelliğine sahip olmaktadır. Bitümlü kömürü ve antrasit yakılmasıyla "F sınıfı " kül oluşmaktadır. F sınıfı küller puzolanik karakterli olmakla birlikte daha az çimentolanma eğilimleri bulunmaktadır [8].

Eskiden bu tip uçucu küller tozlaşmayı engellemek için ıslatıldıktan sonra bulamaç haline getirilerek açık suni göllerde depolanmaktaydı. Son yıllarda artan çevresel duyarlılık ve çevre etki değerlendirmelerinin verileri ışığında bu yöntem terk edilmiştir. Geliştirilen yeni yöntem ise öncelikle kuru tarafta kalacak şekilde, uçucu kül tipi atıkların su muhtevalarını kontrol altında tutulmasını öngörmektedir. Bu tür yapıların, belli enerji altında kompaksiyonla sıkıştırarak depolanması önerilmektedir.

Bir diğer alternatif ise konsolidasyona terk edip, oturmasının sağlanması yoluyla atığın tasfiyesi sağlanmaktadır. Uçucu külün tipik kompozisyonu tablo 2.8'de verilmiştir. Uçucu külün mühendislik özellikleri, içerdiği serbest (aktif) kireç ve yanmamış karbon tarafından kontrol edilmektedir. Termik santrallerin diğer önemli atık ürünü ise baca gazı desülfürizasyonu için kullanılan fırçalarda oluşan çamurdur. Bu çamurun bir kısmı tekrar kullanım çevrimine girebilmektedir [9]. Kalan kısım ise uygun şekilde depolanmaya ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 2.8 Baca Küllerinin Tipik Kompozisyonu

BİLEŞENLER	Uçucu Kül (%)	Çökmüş Kül (%)
Silisyumdioksit (SiO_2)	35-48	21-60
Alüminat (Al_2O_3)	20-40	10-37
Demiroksit (Fe_2O_3)	4-24	5-37
Kalsiyumoksit (CaO)	2-27	0-22
Manganat (MgO)	1-6	0-4
Sülfatlar (SO_3)	0.5-4	-
Suda Çözünen Alkaliler	2-6	0-7

Maden işletmelerinin çalıştırılmaları için gerekli enerji çoğu kez çıkardıkları kömürün bir kısmının yakılması ile giderilmektedir. Böyle tesislerde oluşan atıklardan uygun olan bazıları, kömürle karıştırılıp tekrar yakılabilmektedir. Oluşan atığın hacmi böylece azaltılmaya çalışılmaktadır.

2.4.4.2 Fosfatik Atıklar

Kimyasal gübrelere katkı yapmak amacı ile fosfat kayaları çıkarılarak işlenmektedir. Fosfat cevherinin yada matriksinin üçte ikilik kısmı kum ve kilden oluşmaktadır. Oluşumdaki kum ve kilin oranının hemen hemen eşit olduğu saptanmıştır. Kum boyutundaki madensel katı-atıklar kolayca ayrılarak stabilize edilmektedirler. Fakat oldukça fazla hacim işgal eden kil süspansiyonunun uygun biçimde depolanarak tasfiyesi gerekmektedir. Kil süspansiyonda montmorillonit, atapulgit, illit ve kaolinit bulunmaktadır. Kil minerallerinin yüzeysel alanlarının geniş olması, çok su tutabilerek süspansiyon biçimlerini korumayı sürdürmelerine sebep olmaktadır. Suyun kararlı süspansiyonun bünyesinden çekilememesi, kilin stabilizasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu süspansiyonlar, 3,0-15,0 m derinlikteki hendeklere pompalanmaktadır. Hendeklerdeki süspansiyonun içeriğinde bulunan, % 2-6 katı parçacığın sedimentasyon yapması beklenir. Serbest çökeltme yardımıyla birkaç hafta içinde süspansiyondaki katı madde içeriği % 10'lar seviyesine çıkmaktadır. On ila yüz gün içerisinde kendi ağırlığı altında hacim küçülmesinin ve oturmaının tamamlandığı gözlenmiştir.

2.4.5 Tarama Atıkları

Tarama malzemesi bir çeşit dip çökeli veya malzemesi olup, ticari amaçlı deniz veya akarsu taşımacılığı yapılan su yollarının, yataklarının taranması veya temizlenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Tarama malzemesi kaya, çakıl, kum, silt, kil gibi doğal çökellerden oluşmaktadır. Bu bileşenler çoğunlukla kara kaynaklı faktörler tarafından kirletilmektedirler. Tarama sonucu yoğun kirlenmeye uğramış bulamaçlar yada balçıklar çıkartılmaktadır. Tarama atıklarının karada depolanması yeni bir gelişmedir. Çevreyi korumaya yönelik duyarlılığın ve düzenlemelerin bir sonucudur. Kirlenmiş bileşenler veya kirleticinin bulanıklığa yol açmadan, ekonomik bir biçimde temizlenememesi, atıkların kütsel olarak tarama yolu ile alınıp, karada depolanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dipten taranmış malzemenin % 20'si karadaki dolgularda depolanır. Bulamaçlar, bentlere yerleştirilip, hidrolik olarak dolgular oluşturulmak suretiyle tasfiye edilmektedir. Taramanın sonucu ortaya çıkan bulamaç kıvamlı malzemenin su muhtevası %200 ila %300 civarında olmaktadır. Bulamaçın

içeriğinde daha çok organik silt, kil bulunmaktadır ve ağır metaller tarafından yada benzer etkenlerce kirletilmişlerdir [4].

Tarama atıklarıyla oluşturulmuş dolguların matriksi çok uyumlu, homojen dağılımlardan oldukça ayrılmış, homojen olmayan dokulanmalara uzanan bir çeşitlilik gösterebilmektedir. Tarama atığının depolanacağı yere taşınması sırasında dokunun içereceği parçaların boyutları, boşaltma hızı, depolama gölü seviyesi ve katı kilin suya oranı gibi faktörler yardımıyla kontrol edilebilmektedir [10]. Bu durumda istenen şekilde uygun bir tabakalaşma sağlanarak daha dengeli bir dolgu temin edilebilmektedir. Daha çok atığın olabilecek en düşük hacme depolanması ve uygun dolgu malzemesi elde edilmesi ise yöntemin ek faydaları olarak kabul edilmektedir. Taramadan çıkan ince daneli malzeme, yani silt ve kilin yüksek kompresibilite özelliğine sahip olduğu saptanmıştır. Malzemenin yüksek kompresibilite ve düşük kayma mukavemeti özellikleri sebebiyle iyi bir dolgu malzemesi olamayacağı tespit edilmiştir. Katı kil / su oranı düşük malzemenin tabakalaşması ile oluşan zeminlerin taşıma gücü kapasitelerinin oldukça az olduğu görülmüştür.

2.4.6 Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atıklar çoğunlukla sıvı fazda olurlar, genelde endüstriyel üretim faaliyetleri sırasında yada sonucunda oluşurlar. ABD'de tehlikeli atıkların %90'ının endüstriyel atıklardan oluştuğu saptanmıştır. USEPA'nın yayınladığı son veriler ışığında tehlikeli sıvı atıkların % 60'ının organik, % 40'ının anorganik oldukları saptanmıştır [3]. (USEPA 1990) kaynaklı yayında bu tehlikeli sıvı atıklar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Tip 1 Sulu anorganik

Tip 2 Sulu organik

Tip 3 Organik

Tip 4 Zararlı çamur, bulamaç ve katılar.

Tip 1'de sulu çözeltiler anlatılmaktadır. Çözelti içinde çoğunlukla anorganik madde bulunmaktadır. Örneğin metal kaplama sanayinde kullanılan kadmiyum, siyanid ve metal atıklar Tip 1 sınıfında yer almaktadırlar. Karbon bileşenli organiklerin çözeltileri Tip 2'yi oluşturmaktadır. Pestisid endüstrisinin atıkları Tip 2 kapsamındadır. Tip 3'te atıkların hem çözen hemde çözülen kısmı organiklerdir. Petrol bazlı boyalar ve

motor yağları Tip 3'e örnek gösterilmektedir. Suyu arıtma, sudan arındırma, filtrasyon, temizleme işlevli bulamaç kıvamlı atıklar Tip 4 içinde yer almaktadır. Petrol kuyularında ve rafinerilerinde kullanılan çamurlar ve bulamaçlarda Tip 4 sınıfı tehlikeli atıklardır. Çeşitli endüstrilerde üretim faaliyetleri sonucu oluşan tehlikeli atıklar Tablo 2.9'da gösterilmiştir [11].

Tablo 2.9 Çeşitli Endüstrilerin Üretimlerinde Ortaya Çıkan Tehlikeli Atıklar

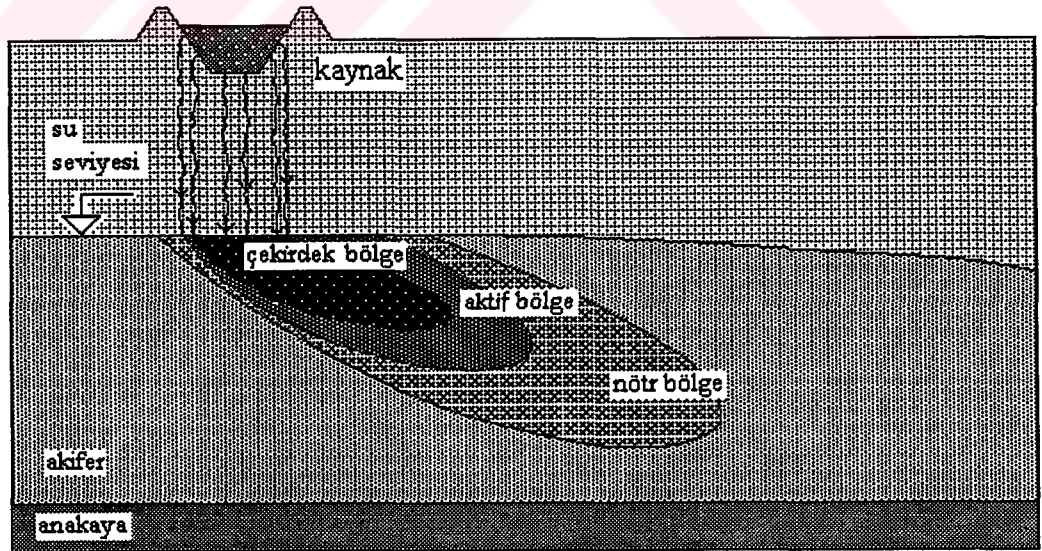
Endüstri	As	Cd	CH	Cr	Cu	CN	Pb	Hg	Mo	Se	Zn
Pil ve Akü		x		x	x						x
Kimyasal Üretim			x	x	x			x	x		
Elektrik-Elektronik			x		x	x	x	x		x	
Metal Kaplama		x		x	x	x					x
Patlayıcı	x				x		x	x	x		
Deri				x					x		
Metalurji-Maden	x	x		x	x	x	x	x		x	x
Boya		x		x	x	x	x	x	x	x	
Pestisit	x		x			x	x	x	x		x
Petrol-Kömür	x		x				x				
İlaç	x							x	x		
Matbaacılık	x			x	x		x		x	x	
Kağıt-Selüloz								x	x		
Tekstil				x	x				x		

BÖLÜM 3

KİRLENMENİN FİZYOLOJİSİ

3.1 Kirlenmenin Geokimyasal Süreçler Yardımıyla Modellenmesi

Zemini oluşturan çökeller ve kayalar, yeraltı suyu ve yeraltı suyu içindeki kimyasal bileşimler ile aynı ortamda bulunmaktadır. Yeraltı suyunu kirlenme riski olan kirleticilerin, ortamdaki hareketlerinin açıklaması için bazı kirlenme mekanizması modelleri yapılabileceği ileri sürülmüştür. Bunlardan birisi, basitleştirilmiş "geokimyasal süreç" kavramasal modelidir. Kirleticinin yeraltında yayılırken zemin diğer bileşenleri ile karşılaşması sonucunda, akışında yavaşlama ve gecikmeler görülebilmektedir. Bu olay zeminin dokusal yapısı tarafından oluşturulan bir çeşit 'kapan' tarafından parçacıkların tutulması olarak da düşünülebilecektir. Kapanlara takılma nedeniyle geciken akımın davranışı, diğer modellere göre daha basit ve kolay anlaşılabilir olan "geokimyasal süreç" modeli ile anlatılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kirlenme izinin kavramasal geokimyasal modeli

Şekil 3.1'deki çekirdek bölge kaynağa en yakın konumdadır. Bölgedeki suya doygun zemin ortamı, geokimyasal reaksiyonlara yatkınlığı nedeniyle, doğrudan bozulmayla karşı karşıya kalabilmektedir. Çekirdek bölgenin su kalitesi, kirletici kaynağının özelliklerine oldukça yakın bulunmuştur. Aktif bölgede yoğun kimyasal tepkimeler olabilmektedir. Bölgedeki zeminin mühendislik özelliklerinde kirlenmeden dolayı olumsuz değişimler gözlenebilmektedir. Nötr bölgede ise kirlilik etkilerinin geleneksel düzeylerde veya altında kaldığı görülmüştür.

Yeraltı suyu izleme programlarının ve temizleme stratejilerinin hazırlanmasında, geokimyasal etkileşim süreci yardımıyla yapılan yorumların oldukça yararlı oldukları görülmüştür. Daha etkin-maliyetli temizleme yöntemlerinin seçilebilmesi için, kirleticinin zemin içindeki davranışının analizine yardımcı olan geokimyasal süreçler yardımıyla yapılan açıklamaların, duyarlı çözümler üretilmesini sağlayabileceği belirtilmektedir.

Zeminin yapısında kirleticinin etkisiyle meydana gelebilecek geokimyasal bozulmaların tahmin edilemesi için, niceliksel olarak temsil edilebilir mekanizmaların kurulması gerekmektedir. Böylece katı atık depolama ünitelerinin tasarımı ve izleme sistemlerinin işletilmesinde daha gerçekçi yaklaşımlar kullanılması mümkün olabilecektir. Bütün katı atık depolama tesislerinin tasarımlarında, ortamdaki değişimler geokimyasal prensipler yardımıyla yorumlanmaya çalışılmalıdır. Bu durumda, sağlanacak faydanın oldukça değerli olacağı iddia edilmektedir.

3.2 Çevre Geoteknolojisinde Hidrojeoloji

Permeabilite, porozite, anizotropi ve homojenlik gibi mühendislik özelliklerinin kaya ve zeminin sadece jeolojik cinslerinin değil, aynı zamanda zemin profilinin, diyajenezin, tabakalanma ardından oluşan faylanma gibi tektonik süreçlerin de birer fonksiyonu olduğu ileri sürülmektedir. Bu açıklamada hidrojeolojik prensiplerin kullanılmasıyla yeraltı suyu akışının ve kirleticinin hareketinin gelişeceği ortamın jeolojik çerçevesinin belirlenmesine ihtiyaç duyulacağı belirtilmektedir.

Burada bazı basitleştirilmiş prensiplere değinilecektir. " Zemin " taşlaşmamış, bir anlamda konsolidasyon geçirmemiş kum, silt, kil türünde, anakaya üzerinde serili bulunan malzeme birimini anlatmaktadır. " Kaya " ortam ise tüm volkanik, magmatik, metamorfik sedimanter kayaları kapsamaktadır. Bu malzemeler aynı permeabilite ve porozite özelliklerine sahip olurlarsa, hidrolik olarak aynı tabakalaşmaya sahip bir birim oluşturabileceklerdir. Bu yeni birimden yeraltı suyu akımı geleneksel hidrolik

özelliklere uygun şekilde geçebilecek veya bu akım engellenebilecektir. Yeraltı suyu en yalın ifadesiyle, doymun kaya ve zemin ortamlar arasında hareket eden su olarak tanımlanmıştır [12]. Doymun olmayan zemin birimlerinin taşıdığı suya Vadoz su denilmektedir (Todd). Bu iki değişik ortamda yer alan suyun, aynı özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir. Suyun -doymun olmayan ortam / doymun ortam- arasında hareket edeceği belirtilmiştir. Bu nedenle hidrojeolojik kavramsal model içerisinde yeraltı suyu, sadece boşluklarda hareket eden suyu anlatmaktadır.

Tablo 3-1 Farklı Jeolojik Oluşumların İçinden Geçen Yeraltı Suyu Akımının Porozite Özellikleri

Porozitenin türü	JEOLJİK KARAKTERİSTİKLER		
	Ç ö k e l l e r		Volkanik ve Metamorfik
	Taşlaşmış	Taşlaşmamış	
Daneler arası Boşluklar		Çakıl Kum Silt Lös Turba	
Daneler arası boşluklar ve Çatlaklarla	Boşluklu Kireçtaşı / Dolomit Oolitlik Kireçtaşı Tebeşir Kumtaşı Şeyl Kömür	Denizkili/lakustrin Till	Tüf Boşluklu Bazaltik kayalar Boşluklu Granitik kayalar
Sadece çatlaklar	Kireçtaşı Dolomit Mermer		Bazaltik kayalar Granitik kayalar Kuvarsit Gnayss

Yeraltı suyunun bulunduğu ortamlar çok çeşitli şekillerdedir. İyi çökelmiş bir ortamın boşlukları az ve kılcal olacak, dolayısıyla suyun bu ortamda hareketi güçleşeceğinden bulunması olasılığı azabilecektir. Bunun yanında, kaya ortamda çatlaklılık ve kırıklılık düzlemleri iç içe geçmiş ise su kayanın kimyasal yapısına da bağlı olarak boşluklardan ilerleyebilecek, kendine yol açabilecek, kısacası ortamda etkin bir parametre olarak bulunabilecektir. Daneler arası boşluk hacminin, malzemenin toplam hacmine oranına birincil (daneler arası) porozite denmektedir.

Sonradan çatlaklanma, kırılma, erime, çözülme, v.b. etkilerle ortaya çıkan boşluklar ikincil porozite olarak adlandırılmıştır (Tablo3-1).

Kirleticinin zemin içindeki hareketinin değerlendirilmesinde efektif porozite önemli bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm boşluk hacimlerinin, zemin numunesinin hacmine oranına toplam porozite denilmiştir. Suyun boşluklar arasından akmasına izin veren boşluk oranı efektif poroziteyi anlatmaktadır. Efektif porozite, toplam poroziteden büyük olamaz. Çakıl, kum gibi kaba daneli malzemeler için efektif porozite değerinin toplam poroziteye yakın olduğu görülmüştür. Kil zeminlerde efektif porozitenin toplam porozitenin % 10 - % 20 'si olduğu saptanmıştır [13]. Porozite ile bağlantılı olup, doygun olmayan akımların analizinde en az onun kadar önemli yer tutan bir kavram da su muhtevasıdır. Zemin boşluklarını dolduran su hacminin tüm numune hacmine oranı su muhtevası olarak tanımlanmıştır. Su dolu boşlukların hacimlerinin, toplam boşluk hacmine oranı doygunluk derecesi ile tanımlanmıştır.

Yeraltı suyu hareketi mekanik bir süreç olarak yorumlanmaktadır [12]. Mekanik enerjiyle hareket etmekte olan su molekülleri, malzeme matrisinin boşluklarında ilerlerken oluşan sürtünmeyle enerjilerini termal enerjiye dönüştürmektedir. Akışkanın birim kütlede sahip olduğu mekanik enerji "piyezometrik yükseklik" olarak anlatılmıştır. Yeryüzüne yağışla düşen su önce doygun olmayan yüzeysel ortamlara sızacak, zamanla buralardan süzülecektir. Süzülen bu sular doygub ortamlarla karşılaştıklarında, sözkonusu havzanın su girdileri olarak bölgesel yeraltısuyu akışına katılabileceklerdir.

3.2.1 Su Taşıyan Birimler

Jeolojik tabakalar ve oluşumlar akifer, akitard ve akifaj olmak üzere üç hidrojeolojik çeşitlilik göstermektedir. Akifer sürekli su teminine elverişli su taşıyan tabakaları, -aquitard-sınırlı miktarda su taşıyan tabakaları, -aquifuge-ise yeraltı suyu akışını sağlayan efektif boşlukların hemen hemen hiç olmadığı tabakaları anlatmaktadır. -Aquitard- ve -aquifuge- tabakalar basınçlı birimler olarak düşünülmektedir.

3.2.2 Doygun Olmayan Birimler İçinde Akış

Doygun olmayan ortamda hareket, emme kuvvetleri ve yerçekimi etkisinde oluşmaktadır (Lehr 1988). Su moleküllerinin birbirini çekmesi yani kohezyon yada su

moleküllerinin zemin danecikleri veya kaya yüzeyine çekilmesi ile oluşan adhezyon tipi emme kuvvetlerinin, bu hareketi sağladıkları ileri sürülmüştür. Bu faktörlerin tümüne kapiler kuvvetler denmektedir. Kapiler kuvvetlerin ince daneli malzemelerde kaba daneli malzemelere oranla daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kapiler kuvvetler ortam kuru iken etkin olmaktadır. Ortamın su muhtevastaki artışın sonrasında yerçekimi kuvvetleri, hareketi kontrol eder duruma gelmektedir. Doygun olmayan akışın matematik ifadesi Darcy'nin kanunu ve süreklilik denklemi yardımıyla sunulmuştur. Richard denklemi olarak bilinen notasyon Freeze ve Cherry [12] 1979 tarafından aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{\psi} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{\psi} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{\psi} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (3.1)$$

K_{ψ} : Doygun olmayan permeabilite

h : Toplam hidrolik yükseklik

θ : Belli bir basınç yüksekliğinde sahip olunan su muhtevası

Yukarıdaki denklemden de görülebileceği gibi doygun olmayan ortamda akım, su muhtevası ve basınç yüksekliğinin fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.3 Doygun Birimler İçinde Akış

Bu ortamda yüksek enerji seviyeli bölgelerden, düşük enerji seviyeli bölgelere doğru bir akım sözkonusu olmaktadır. Termal , elektriksel, kimyasal enerji farkları ve yoğunluktaki farktan oluşan uçlar arası kararsızlıkların akımın oluşmasını sağladığı belirtilmektedir. Enerji farklarının oluşturduğu hidrolik eğim, akımın niteliğini kontrol eden bir faktör olarak tariflenmektedir. Yeraltı suyu akımını anlatan en genel matematiksel bağıntının Darcy kanunu olduğu bilinmektedir. Basit, tek boyutlu izotropik birimlerden oluşan ortamlar için bu bağıntılar aşağıdaki gibidir:

$$v = - K i \quad (3.2)$$

$$Q = - K i A \quad (3.3)$$

Yukarıda bağıntı (3.2) 'da " v " 'nin özgül akımı ifade edeceği belirtilmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta " v " 'nin hız değil, akım karakteristiği olmasıdır.

Düzgün hızlı akım koşulları altında üç boyutlu yeraltı suyu akımı Darcy ve süreklilik denklemleri yardımıyla en genel durumda aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (3.4)$$

Bu ifadede K_x , K_y , K_z permeabilite değerleri olup, indislerler hangi doğrultuya ait olduklarını anlatmaktadır. Bu durum -zamanla değişen hızlı akım- koşulları için aşağıdaki biçimi almıştır:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.5)$$

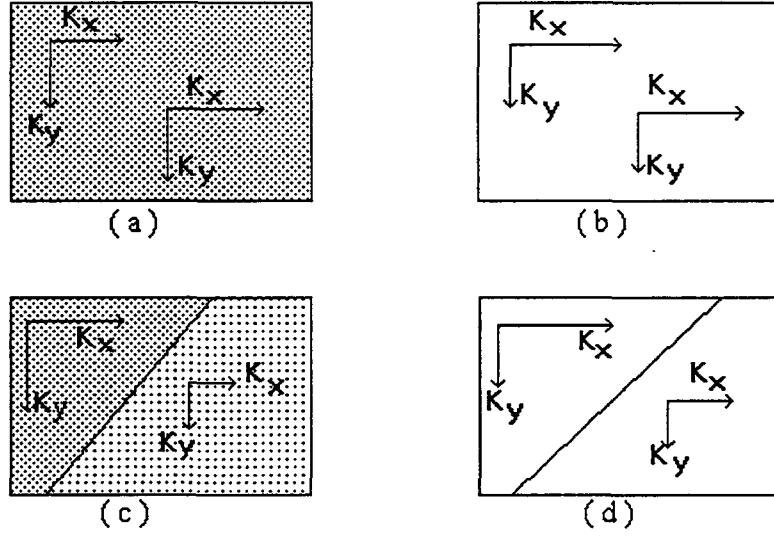
Bu denklemde S_s " özgül depo" 'yu ifade eden bir katsayı olup, h hidrolik yükseklik, t ise akım zamanını temsil etmektedir.

3.2.4 Ortamın Homojenliği ve İzotropisi

(3.4) ve (3.5) denklemlerinin içerdiği enerji yükseklikleri anizotropik ve heterojen birimler için tanımlanmıştır. Malzemenin izotropik kabul edilmesi durumunda $K_x = K_y = K_z = k$ permeabilite katsayısı her üç boyut içinde sabit kalacaktır. Steady State akım koşullarında izotropik homojen malzeme için (3.6) denklemi Laplace denklemine dönüşmektedir:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3.6)$$

Şekil 3.2 homojenlik ve izotropi kavramlarını şekille açıklamak amacıyla verilmiştir. Genelde homojen ve izotrop koşullar, gerçek malzeme ve zemin koşullarını temsil etmemesine karşın, yeraltı suyu akımı problemlerinin çözümünde kullanılmaktadırlar. Homojenlik ve izotropinin, yeraltı suyu akımı problemlerinin çözümüne etkisinin, ölçeğe bağlı olacağına dikkat çekilmektedir. Örneğin alüvyonik bir vadi dolgusunda buluna akiferin değişik noktalarında, farklı boyutlar için permeabilite 2-10 kat artabilmektedir. Bunun yanında rüzgar etkisiyle oluşmuş bir kum tabakasında ise homojen ve izotrop sayılabilecek bir ortam oluşabilmektedir.

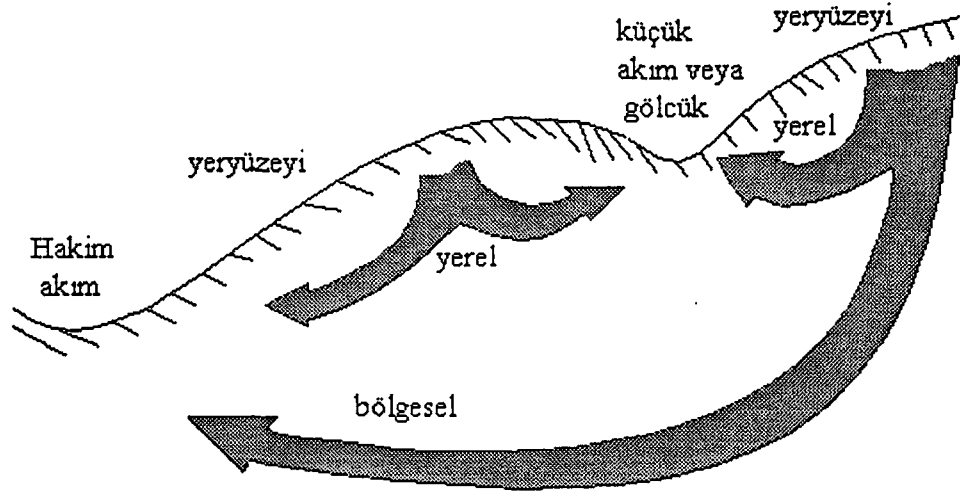


Şekil 3.2 Heterojenlik ve Anizotropiyi anlatan Diyagram. (a) Uniform Kumda Homojen ve İzotrop durum; (b) Yığılmiş Kumda Homojen ve Anizotrop durum; (c) Değişken seviyelerde Uniform kum, Heterojen ve İzotropi durumu; (d) Farklı Seviyelerde Yığılmiş Kum, Heterojen ve Anizotrop durum.

3.2.5 Yeraltı Suyu Akış Rejimleri

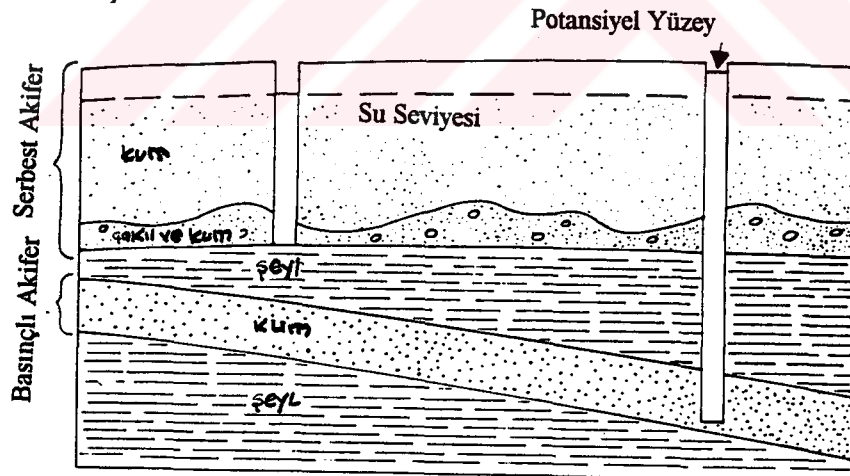
Yeraltı suyu akımı sistemi benzer girdi-çıkıtlı miktarlarına sahip birçok akım kanalcığından oluşmaktadır (Şekil 3.3). Burada yerel akım sistemleri nehirler ve küçük gölcüklere bağlanan grupları; bölgesel akım sistemleri, denizlere ve göllere dökülen büyük grupları anlatmaktadırlar.

Jeolojik heterojenlikler yerel ve bölgesel akım sistemleri arası ilişkiyi etkilemektedir. Alanın jeolojisi, özellikleri, topografyası, bitki örtüsü ve tarımsal kullanılış biçimi, su toplama ve dağıtma davranışını zor anlaşılır duruma getirebilmektedir. Suyun toplanması, doygun olmayan zemin ortamının, permeabilitesine bağlı olarak ortalama topografik eğime, genel su muhtevası değerlerinin değişimi, v.b. koşullardaki değişimlerden etkilenebilmektedir. Genellikle kaba daneli malzemelerden oluşan havzalarda su toplanmasının daha hızlı gerçekleştiği izlenmiştir.



Şekil 3.3 Yerel ve Bölgesel Akış Sistemleri ve İlişkileri, Su Toplanması ve Boşalması.

Su taşıyan akifer tabakaları, hidrolik, jeolojik ve morfolojik özelliklerine göre sınıflara ayrılarak incelenebilmektedir. Zemin oluşumlarının jeolojik özellikler bakımından sahip oldukları permeabilite ve porozite değerlerinin değişim aralıkları Tablo 3.2'de verilmiştir [13]. Basıncı ve serbest akiferler Şekil 3.4'de açıklanarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Basıncı ve Serbest Akifer [12]

Bazı akiferler kumtaşı veya konglomera gibi, taşlanmış çökellerden yada taşlaşma süreci geçirmemiş kum, çakıl tabakalarından oluşmuştur. Bu tabakalarda daneler arası boşluklardan ilerleyen rejime sahip bir akım gerçekleşebilmektedir. Akımı kontrol eden hakim değişkenler olan permeabilite, porozite, anizotropi ve heterojenlik

tabakalaşmanın gerçekleştiği çevrenin ve akifer malzemenin fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedirler.

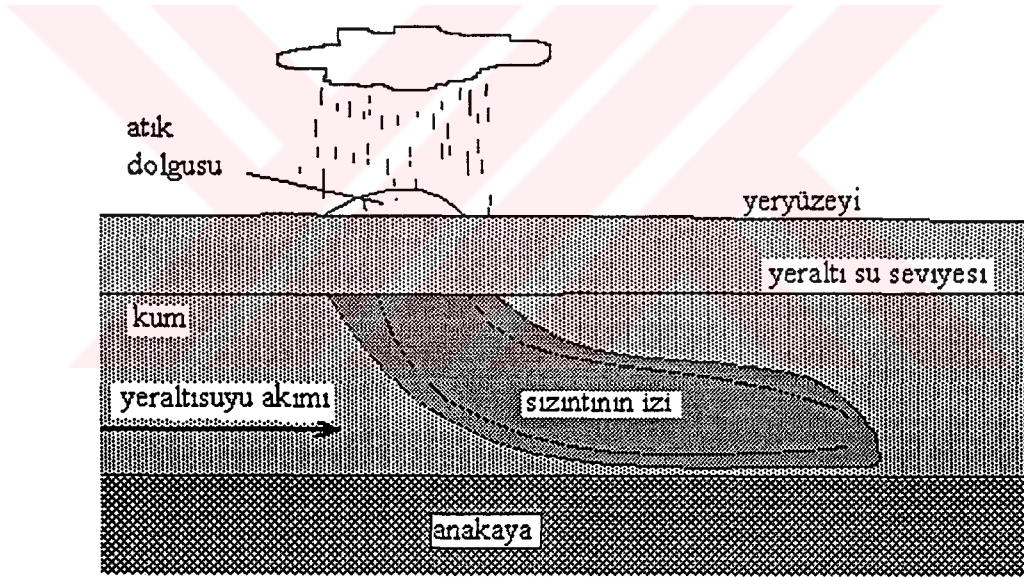
Tablo 3.2 Tipik Permeabilite, Porozite, Efektif Porozite Değerleri

Jeolojik Birim	Permeabilite (m/s)	Porozite	
		Toplam	Efektif
Volkanik veya Metamorfik kayalar		0-5	
Bazalt	çatlaklı	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻¹³	0-10
	boşluklu	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁸	40-50
	yoğun	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹³	1-8
	geçirgen lava	10 ⁻² - 10 ⁻⁷	5-50
Tüf		10 ⁻¹ - 10 ⁻¹⁷	5-50
Granit		10 ⁻³ - 10 ⁻⁸	10-40
	boşluklu	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹³	0-2
		10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵	0-45
Kuarsit		1	
Gnays	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹³	0-2	
Tortul Kayalar			
Kireçtaşı / Dolomit	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹	0-20	
Kireçtaşı	çatlaklı	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁹	0-20
	oolitik	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷	1-25
	karst	10 ⁺² - 10 ⁻⁶	5-50
	mermer	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁸	0-2
	tebeşir	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹	8-45
	boşluklu	10 ⁻³ - 10 ⁻⁵	
		10 ⁻⁴ - 10 ⁻¹⁰	10-50
Kumtaşı / Siltaşı	10 ⁻⁴ - 10 ⁻¹⁰	10-50	10-48
Şeyl	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹³	0-10	
Kömür	10 ⁻⁶ - 10 ⁻¹¹		
Konsolidasyon geçirmemiş birimler			
	Çakıl	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴	25-60
	Kum		7-40
	temiz	10 ⁻² - 10 ⁻⁶	25-55
	siltli	10 ⁻³ - 10 ⁻⁷	24-40
Silt	10 ⁻⁶ - 10 ⁻¹⁰	35-60	
Lös	10 ⁻⁵ - 10 ⁻¹¹		
Lakustrin silt / kil		10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹³	40-70
	çatlaklı	10 ⁻⁸ - 10 ⁻¹¹	
Deniz Kili	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹²	40-70	
Kil / Silt Sıkıştırılmış	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹¹	30-50	<0.1
Turba	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹	60-92	

Bu tabakalarda akım özelliği makro ölçekte, Darcy'nin akım kurallarına uygunluk göstermektedir. Akım sistemine dışarıdan müdahaleler olmadığı sürece, su toplama bölgelerinden boşalma ve birikme alanlarına doğru uniform bir akım

gözlenebilmektedir. Dışarıdan su çekilmesi, kuyu açılması yada hidrolik engeller oluşturabilecek inşaat faaliyetleri yapılması gibi fiziksel dış müdahaleler ve jeolojik yapıda rastlanılan yapraklanma, faylanma ve derin masifleşme türü kusurlar akımı ve akiferin rejimini etkilemektedir. Boşluklu akifer ortamlarda kirleticinin yayılması, mekanizma olarak öncelikle permeabiliteden başlamak üzere efektif poroziteden ve dispersiyondan etkilenecek oluşmaktadır.(Şekil 3.5). Yüksek permeabiliteye sahip geniş bölgelerde kirleticinin hızla yayılması ve tabaka içlerine doğru girerek kimi zaman ceplerde kalması söz konusu olabilmektedir.

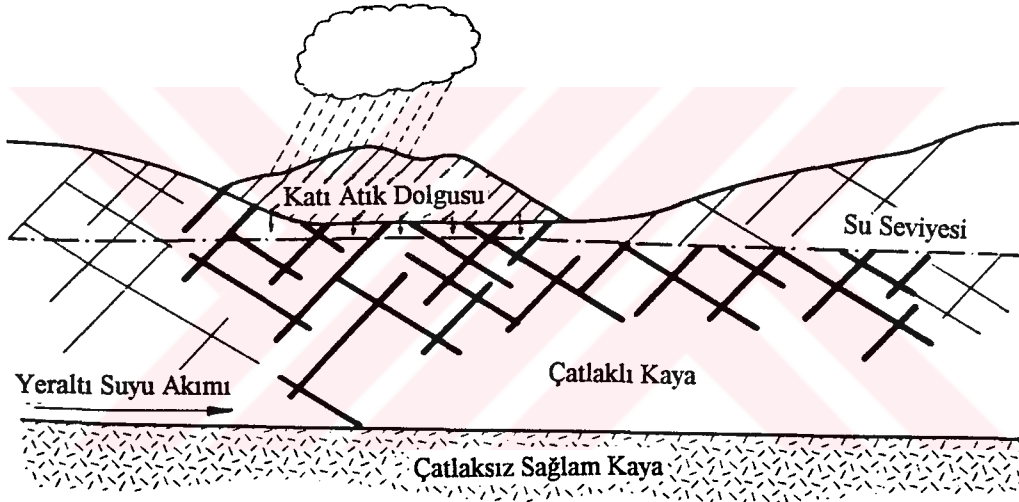
Mikro ölçekte bakıldığında kirletici ve su molekülleri, danecikler etrafında dolambaçlı bir akım yolu izlemektedir. Akım yönünde ilerlendikçe kirletici etken yeraltı suyu ile karışarak yayılmakta, bu durumda akıma kirleticinin katıldığı noktadan uzaklaştıkça akımın içerdiği kirletici bileşen konsantrasyonunda azalma izlenebilmektedir (Şekil3.5).



Şekil 3.5 Daneler Arası Akımın Gerçekleştiği Bir Akiferin İçinde Kirleticinin Yayılması. USEPA (1980).

Bazı jeolojik oluşumlarda birincil boşluklar olmadığında, kırılma ve çözülme çatlaklarından yol bularak gelişen yeraltı suyu akımları oluşabilmektedir. Tortullaşmış ve metamorfizma geçirmiş kayalarda bu tür akımlara daha çok rastlanılmaktadır. Çok kırıklı bölgelere sahip kayalarda Darcy kanunu ve sürekli akım kabulü, yeraltı suyu akımını temsil edebilmektedir. Fakat büyükçe kırıklar, kavernler içeren kayalarda ise sürekli akım kabulü ile çalışmak, ortamdaki yeraltı suyu akımını temsil etmekten uzak olmaktadır. Jeolojik kontrollerle bu ortamdaki akım davranışının açıklanmasına

çalışılmıştır. Akiferlerin tektonik kıvrımları olan antklinal ve senklinal bölgelerinde diğer bölgelerden daha yüksek permeabilite değerlerine sahip oldukları saptanmıştır. Söz konusu bölgeler, artık gerilmelere maruz kalmış olmaları nedeniyle daha çok kırılan yapılaraya sahip oldukları belirlenmiştir. Kırıklılık içeren akiferler özellikle yatay yönde yüksek anizotropiye sahip olabilmektedirler. Birincil ve ikincil kırık yönlenmelerinde genellikle düşey kırık kalıbına uygun jeolojik formasyonların bulunması anizotropinin sebebi olarak açıklanmaktadır. Yüksek anizotropik yapı ve heterojenlikten ötürü akifer içindeki kirliliğin hareketi oldukça karmaşık duruma gelebilmekte ve taşınım çok hızlı gerçekleşebilmektedir (Şekil 3.6). Bu hızlı yayılma özellikle geniş kırıklı ortamlarda genel akımın hızındaki artışa paralel olmaktadır. Bu tür kirlilik yayılımına, genelde karst akifer oluşumlarında rastlanılmaktadır.



Şekil 3.6 Çatlaklı Kaya Ortamındaki Akiflerden Kirliliğin Yayılması

Yeraltı suyu akımının, atık sahaları altında nasıl oluştuğunu açıklayabilmek için akiferin çevresel jeolojik koşullarını ve su taşıyan tabakayı sınırlayan oluşumları çok iyi tanımlamalıdır. Hidrolojik yönden bir tabakalaşmanın sadece kaya veya zemin çeşidine göre "sınırlayıcı tabaka" olarak nitelendirilmemesi gerekmektedir. Bunun yanında sınırlı ve küçük deneylerle saptanmış verilere dayanmanında yeterli olmayacağına dikkat çekilmektedir.

Atıkların depolanmasında kullanılacak, sınırlanmış bir tabakayı tanımlarken birimlerin ayrıntılı hidrojeolojik özellikleri belirlenmelidir. Kısaca birimin katmanlaşarak oluşması sırasında ve sonrasında, geçirdiği jeolojik süreç iyi saptanmalıdır.

Yeraltı suyu akımı sistemi, jeolojik birimlerin içerisinde birimlerin hidrolik özellikleri sayesinde fiziksel olarak geçmektedir. Herhangi bir akıma ait problemin çözümde yapılacak ilk girişim, sistemin sınırlandırıldığı jeolojik çerçevenin titizlikle belirlenmesi olacaktır. Tabakalaşma ortamı ve komşuluğundaki oluşumlar, tabakalaşma süreci ve tarihçesi, jeolojik birimlerin özellikleri gibi bilgilerin iyi anlaşılması sayesinde, hidrojeolojik prensipleri uygulayarak, yeraltı suyu akımını gerçekçi ve akılcı biçimde tanımlayabilmek mümkün olabilecektir.

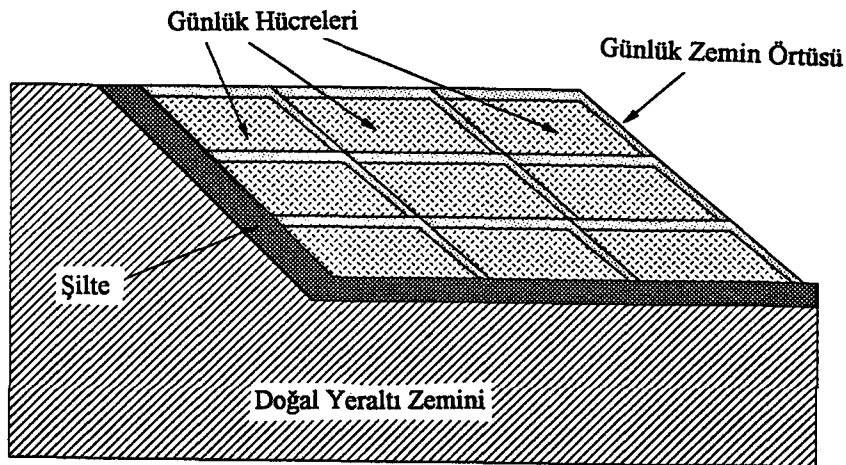


BÖLÜM 4

KATI ATIK DEPOLAMA TESİSLERİ VEYA ÜNİTELERİ

4.1 Giriş

Kullanılamayan ve istenmeyen atıkların en son depolandıkları yerlere atık dolguları yada daha güncel adıyla -katı atık depolama tesisi- denmektedir. Bu yüzyılın ortalarına kadar hemen hemen tüm atıklar, kontrolsüz biçimde açık alanlara boşaltılmaktaydı. Hacmi azaltabilmek için atıkların yakılması sıkça rastlanılan bir uygulama idi. Atıklar önceleri doğal topografyası uygun olan sahalara kontrolsüz ve açık şekilde boşaltılmaktaydı. En çok kurumuş akarsu yatakları, taşkın havzaları ve ender de olsa terk edilmiş maden işletmeleri (Kum.çakıl ocakları) gibi yerler tercih edilmişlerdi. II. Dünya savaşının ardından "Sıhhi Atık Depolama" uygulamalarının ilk örnekleri verilmeye başlanılmıştır. Böyle bir saha kalınlıkları 5,00 m.'yi bulan atık depolama hücrelerinden oluşmaktaydı. Her bir hücre, atıkların düzgünce depolanması sonrasında 150/300 mm.lik örtü tabakasıyla kapatılmaktaydı. Günümüzde özel tasarımı şilte tabakaları ve suni köpüklerle tecritin gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 4.1'de sıhhi atık depolama ünitesinin altında yer alan şilte sistemi gösterilmektedir. Erken dönemdeki sıhhi atık depolama birimlerinin tabanında özel oluşturulmuş şilteler bulunmamaktaydı.



Şekil 4.1 Katı Atık Depolama Tesisi

Sihhi atık depolama tesisleri sayesinde çöplerden üreyen sinek ve asalakların sayılarında azalma ve halk sağlığını tehdit eden durumların ortadan kalkması sağlanmıştır. Bunun yanında istenmeyen, çirkin çöp yığınlarının yerine görünümde estetik açıdan değişimler ve iyileşmeler kaydedilmesi sağlanmıştır.

1970'lerden itibaren şilteler "Sihhi Atık Depolama" sahalarında sürekli kullanılmaya başlanmış, ilk çift kısımlı şilteye sahip sahalar 1978'de yapılmıştır. Çok kısımlı şiltelere ve oluşan çöp suyu sızıntısını toplayabilen drenaj sistemlerine sahip sofistike depolama tesisleri ise ilk kez ABD 'de, USEPA'nın yürürlüğe koyduğu katı atık yönetmeliklerinin uyarınca gündeme gelmiş ve kurumun yaptırım gücünü kullanması ile 1980lerin sonunda uygulamaları görülmeye başlanmıştır [14].

Bölüm 2.2 'de belirtildiği gibi günümüzde katı atıkların depolanacağı ünitelerin tasarımı ülkelerin düzenlemeler ve yönetmeliklerle, yaptırımlar sağlamaları suretiyle geliştirilmiş ve uygulanmaya başlamıştır.

4.2 Katı Atık Depolama Tesislerinin Amaçları

Katı atık depolama tesislerinin yapım amaçlarını, açık bir cümleyle tam olarak ifade edebilmek mümkün olmamaktadır. Tesisleri tasarlayan mühendis açısından amaç, yeterli ve sağlıklı bir atık depolamayı uygun maliyetle gerçekleştirmek olurken, böyle bir sahaya yakın komşu olan biri için ise tesisin çevresine hiç zarar vermemesi olabilmektedir. Böylece farklı bakış açılarından değişen bir amaçlar yığını ile karşılaşabilmektedir.

Katı atık depolama tesislerinin içinde "çöp suyu sızıntısı" oluşup, oluşamayacağı katı atık depolama üniteleri için en sık akla gelen sorulardan biri olmaktadır. Burada tesisin içinde, çöp suyu sızıntısının oluşum mekanizmasının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekliliği vardır. Tesisin, ekolojik dengeye ve yeraltı suyu kalitesine etkisinin başlıca nedenlerinden birinin bu tip gaz ve sıvı oluşumları olduğu belirtilmektedir [15]. Tesisten sızıntı oluşumu, ani boşalmalar sebebiyle olabileceği gibi beklenen bir yayılmanın uzantısı olarak da ortaya çıkabilmektedir. Bu tür yayılmaları engellemek ve tesisi tecrit edebilmek için şilte tipi geçirimsizlik sağlayabilecek engel tabakaları kullanılabilmektedir.

Şilte tabakalarının işlevi geçirimsizliği sağlamak olmasına rağmen, hiçbir şilte tabakasının, oluşan kimyasallara karşı kesinlikle geçirimsiz diye nitelendirilmesi

mümkün olamamaktadır. Tesisin içinde atıkların kimyasal bozulmaları sonucunda serbest kalan kimyasallar, kendilerine engel oluşturmak için teşkil edilen şilte tabakalarından advection ve difüzyon yolu ile geçmeye çalışmaktadırlar. Bir katı atık depolama tesisinden sonsuz zaman aralığı içinde, bünyesindeki kimyasalların sebep olduğu sızıntıyı geçirmemesi gibi idealize bir amacı gerçekleştirmesi beklenmemelidir.

Tasarımın yapılabilecek en iyi ve yeterli düzeyde gerçekleşmesinin sağlanması için çaba göstermek daha akılcı olabilecektir. Tesisin içinde oluşacak çöp suyu sızıntısının, içerdiği kimyasallar ve oluşabilecek çevresel etkiler titizlikle tespit edilmeye çalışılarak, bu yoldaki ilk tutarlı adım atılmış olacaktır. Böylece katı atık depolama tesisin varlığından ötürü doğabilecek olumsuz etkiler asgariye indirgenebilecek, çevreye olan etki ihmal edilebilir düzeylerde gerçekleşebilecektir. Bu konuda mühendisin sağlayacağı optimizasyon, farklı tarafların asgari etkilendikleri bir çözümün üretilmesinden ibaret olacaktır.

Katı atık depolama tesislerini genel anlamda, halk sağlığını ve çevreyi olası etkilenmelere karşı korumak için çöplerin biriktirildiği yerler olarak, tanımlamak mümkün olabilmektedir. Girişimlerin belirli riskler taşımaksızın gerçekleştiremeyeceği savından hareketle, katı atık depolama tesislerinin ve hücrelerinin tasarımda istenilen performansı gösteremeyebileceği olasılığı gözden kaçırılmamalıdır. Dolayısıyla tasarımcının yapması gereken, tesisin asgari risklere maruz kalacak şekilde projelendirilmesidir. Bunun için karşılaşılabilecek riskler iyi tanımlanmalıdır. Risk üstleniminin kaçınılmaz bir tasarımcı ve uygulayıcı sorumluluğu olduğu unutulmamalıdır. Geoteknik mühendisi kendine düşen bu risk üstlenimini görevinin önemli bir parçası gibi kabul edip, içinde bulunduğu koşulları iyice algılayabilecek bir bilgi akışı dizgesi oluşturarak, riski üstlenebilmelidir[15]. Adı geçen bilgi akışı dizgesi, tesisin beklenen şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol edebilmek amacıyla ölçüm aygıtları sistemlerinden oluşan izleme programları yapılarak sağlanabilecektir.

Yasalar ve yönetmelikler katı atık depolama tesisleri tasarımı için gerekli minimum teknolojiyi riske bağlı olarak genel anlamda tanımlamışlardır. Bu sebeple düzenlemelerin uygulanmasından risklerin yeterince düşük tutulabileceği gibi bir sonuç beklenmemelidir. Mühendis yasalar ve yönetmeliklerden bağımsız olarak gereken en uygun çevresel risk düzeyini tespit etmelidir. Bu uygulamayla hem yaptırımlarla istenilen sınırlar içinde kalınabilecek, hemde tesisin kendine özgü sorunlarından doğabilecek risklerin karşılanması mümkün olabilecektir.

4.3 Katı Atık Depolanabilecek Alanların Seçimi

Katı atık depolama tesisleri için yer seçimi oldukça kapsamlı bir konudur. Atık kaynağına yakınlık, atığın taşınması ve nakil uzaklıkları, iklim, jeoloji, hidrojeoloji, yüzey hidrolojisi, havaalanlarına yakınlık, demografiler, sahanın kullanım amaçları, çevrede oturan halkın sağlığına yapabileceği etkiler ve diğer faktörler alan seçiminde gözönünde bulundurulmalıdır. Kamuoyu, kendi yerleşim alanlarında ve çevresinde bu tür tesisler kabul etmesini sağlamak, teknik detaylardan daha önemli bir faktör olarak ortaya çıkabilmektedir. Kamuoyu kontrolsüz, açık sahalara çöpün dökülerek, bırakılmasını istememektedir. Çevre duyarlılığının ve bilincinin geliştiği günümüzde, çöplerin üretildikleri ana kaynaklarda sınıflandırılarak biriktirilmeleri ve yeniden kullanım döngüsüne sokulmaları gerekliliğinden bahsederek, tüm çabalara rağmen geriye kalan atıkların da sağlıklı biçimde katı atık depolama tesislerine yerleştirilmeleri gerektiği kamuoyuna anlatılmalıdır.

Katı atık depolama tesislerinin inşaa edileceği alanların seçimi ile ilgili geoteknik problem, alanın mühendislik özellikleriyle tanımlanması ve analizinden oluşmaktadır. Zemin profilinin saptanması, yeraltı suyu koşullarının belirlenmesi, hakim zemin çeşidinin mühendislik ve mukavemet özelliklerinin bulunması, bölgedeki malzemenin inşaat malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağının tespit edilmesi için çalışmalar yapılmalıdır (Tablo 4.1) [4]. Tabakaların hidrolik özellikleri ve sınırları iyi saptanmalıdır. Akiferlerin piyezometrik seviyeleri ölçülmelidir. Yeraltı suyunun kalitesi, geokimyasal davranışı belirlenmelidir. Mukavemet, geokimyasal bozulma ve permeabilite özellikleri karşılaştırmalı deneylerle, yeterince sahayı temsil edebilecek numuneler kullanılarak bulunmalı ve analiz edilmelidir. Alanın, katı atık depolama tesisi olarak gösterebileceği potansiyel performans, özellikle yeraltı suyunda oluşabilecek etkiler ve stabilitede meydana gelecek değişimler gözönüne alınarak, toplanmış bilgiler ışığında bir rapor şeklinde derlenmelidir.

İdeal bir katı atık depolama sahasının, atık kaynağına yakın, geleneksel taşıma olanaklarıyla nakledilebilir olması, topografik eğiminin az ve taşkın havzası olmaması gerekmektedir. Sahayı taşıyan jeolojik iskeletin, taşıma gücünün yeterli ve hidrojeolojik özelliklerinin, iyi olması gereklidir. Anlatılan ideal ortamları aramak yerine, azami uygunluk aranmalı, uygun bulunan özelliklerin yanındaki yetersiz özelliklerin iyileştirilmesi yoluna gidilmelidir. Bazen alanın karmaşık davranışlar gösterdiği ve neredeyse özelliklerinin saptanmasının imkansız olduğu durumlarla karşılaşmaktadır. Böyle durumlarda alanın katı atık depolamaya uygun olmayacağını varsaymak yerinde olacaktır.

Tablo 4.1 Alan Seçiminde Kullanılan Kriterlerin Tanımı ve Belirleyici Özellikleri [4]

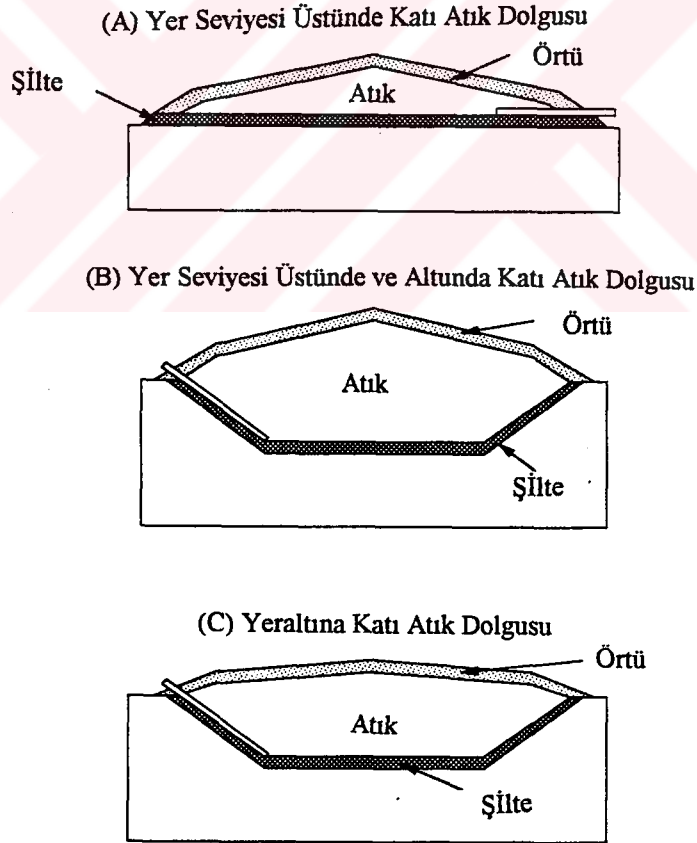
KRİTER	ALT-KRİTER	TANIM	BELİRTİ
ZEMİNLER	• Permeabilite • pH • Katyon değişim kapasitesi • Yüzey zemini	• Zeminin içinden geçebilen su akımı oranını gösteren özellik • Azitlik ve Bazlık göstergesi (pH=7 Nötr) • Zeminin katyon değişimi sırasında verebileceği maksimum katyon miktarı • Yeryüzeyündeki konsolide olmamış malzemeler	• Zeminin permeabilitesi kirlenmenin ortama yayılımı etkiler; bu nedenle düşük permeabiliteli zeminler tercih edilmektedir • pH zeminin ağır metalleri çekmesi ve reaksiyona girmesindeki yatkınlıkta belirleyici görevi üstlenir. yüksek pH değerleri tercih edilmektedir • Zeminin atıklarla gireceği reaksiyonların şiddetini ve tehlikeli karışımların parçalanıp parçalanmayacağını gösterir ve yüksek kapasite değerleri tercih edilmektedir
JEOLOJİSİ	• Anakaya ve outcropping • Süreklilik ve kütleli permeabilite • Faylar	• Açık süreksizlikler ve çözülme kanalları ile ilgilidir • Yerdeğiştirmelerin meydana geldiği sismik hareketliliğe sahip süreksizlik bölgeleri	• Karbonatlı kayaların çözülme eğilimleri yüksektir, kırıklı kayaların bu kusurlu bölgelerde kirlenmesi hızlanabilecektir • Kirlilik yayılımını kontrol eder • Kurulacak tesisin potansiyel stabilitesini doğrudan etkiler

YERALTI SUYU	• Akifer/Kuyu göçmesi • Akifer kullanımı	• Jeolojik oluşumla ilgili, bir grup kullanıma elverişli, ancak göçebilir yeraltı suyu kuyu ve pınarları • Akiferin kullanılış amacı, suyun ne kadar uzağa ve nasıl iletiildiği, çekilen suyun miktarı ve çekim sıklığı	• Çok miktarda su taşıyan akiferlerin bulunduğu bölgelerden kaçınılmalıdır • Su teminini güçleştirir, bol su çekilen akiferlerin çabuk göçmesi sözkonusudur, sınırlı miktarlarda çekim yapılan akiferler daha az risklidir
	• Yeraltı suyu kalitesi • Yeraltı suyu akış sistemi	• İçilebilir su standartlarına kıyasla suyun doğal kalitesi • Hız ve yönlenebilirliğe bağlı olarak yeraltı suyunun hareketi	• Düşük kaliteli su bulunan bölgelerin nispeten daha az değerlidir • Suyu kullanılmayan, akımın yüzeye yönlendiği, yeraltı suyunun derinlerde olduğu akiferler tercih edilir.
	• Mevsimsel en yüksek su seviyesi	• Yeraltı suyunun yükselbileceği maksimum değer	• Doygun olmayan seviyeler birer engelleme tabakası olarak çalışırlar, bu kısımlara seviye değişimlerine bağlı su dolması riski vardır, yasal düzenlemeler bu oranı en az 1.5 m. olarak vermektedirler
SAHANIN İZLENMESİ	Sahanın ölçü aletleri ile izlenmesi	• Yasal düzenlemeler çerçevesinde yapılan yeraltı suyu gözlemleri ve ölçümler	• İzlenmesi kolay bölgeler, örneğin göllere bağlanan ve serbest drenaj yapabilen kumlu çakıllı kısımlar
ÖRTÜ	• Örtü malzemesi	• Günlük depolana atığın üzerine kapatmak için yayılan doğal zeminden örtü malzemesi	• İşlenmesi kolay ve geçirimsiz malzemeler tercih edilmektedir
ŞEV DURUMU	• Şev Durumu	• Arazinin yatay doğrultudan saptığı eğimlerin ortalama değeri	• Kirliliğin yayılma miktarını, tesisin kolay işletilmesini etkiler

YÜZEY VE YERALTI SUYU HİDROLOJİSİ	• Bölgesel akımı, ağları ve göller için değerini belirtir • Akifer / Kuyulara yakınlığı • Taşkın Havzalarına yakınlığı • Su Çekilme (Boşalma) Bölgelerine yakınlığı	• Önemli su toplama sistemlerine yakınlığı ve sistemin bölge için değerini belirtir • Su taşıyan akifer ve kuyu sistemlerine yakınlık • En az 100 yıl boyunca taşkın altında kalmamış alanları ve taşkın altında kalma risklerini anlatır • Alanın suyun doğal ve dolaylı drenajının nasıl olduğunu anlatır	• Büyük kirlenme zincirlerinin oluşması riskini kontrol eder • Akifer ve kuyuların göçmesi riskinin atkiler tehlikeli atıkların taşınımını etkiler • İçmesuyu teminini etkiler
TOPOĞRAFYA	• Şevin tutunabilirliği ve yapılabirliği • Taşımın ve Aşınma	• Zemin parçacıklarının yüzeysel su ile hareketi ve taşınımı (lokal erozyon) • Yağışın veya çöpsuyu sızıntısının alandan uzaklaştırılması ve alana diğer drenaj ağlarından gelen suyun oranı ve özelliğini anlatır	• Toprak erozyonunu tesisin inşasını ve işletilmesini engelleyebilecektir • Alana serbest drenajla gelen ve giden suyun miktarındaki değişimler tesisin çalışmasını doğrudan etkileyecektir.

4.4 Katı Atıkların Kontrol Altında Depolanması Teknolojisi

Katı atık depolama tesislerinin dolguları zemin üzerine yada içerisine yapılabileceği gibi, bunun kombinasyonunda uygulanabilmektedir (Şekil 4.2). Yeraltı su seviyesinin zemin profili içinde sık bir hat izlediği durumlarda zeminin hemen üzerinde dolgular oluşturmak daha uygun bir yöntem olabilmektedir. Bu yöntemde dolgu inşaa ederek oluşacak çöp suyu sızıntısının gravitasyonel drenajı mümkün olabilecektir. Gravitasyonel drenajın oluşması faydasının yanı sıra, dolgunun zamanla nerede olduğunun unutulması güçleşmekte ve ıslahı gerektiğinde müdahale etmek kolaylaşabilmektedir. Zeminin hemen üzerine dolgu yapılırken, modern bir katı atık depolama tesisinin vazgeçilmez parçaları olan şilteler ve çöp suyu sızıntılarını toplayacak drenaj ağı sistemlerinin yapımı da tek aşamada kolayca tamamlanabilmektedir.



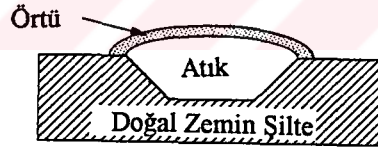
Şekil 4.2 Katı Atık Depolama Tesisleri.

Zeminin içersine veya yeryüzeyi seviyesi altına inşaa edilecek dolgular sayesinde daha çok katı atık depo edebilmek mümkün olabilmektedir. Kazıdan çıkan malzeme inşaat malzemesi olarak yada günlük dolguların atmosferden tecriti amacıyla serilmek üzere kullanılabilir. Böyle sahaların kimi zaman peysaj mimarları tarafından rekreasyonel amaçlı park olarak değerlendirilebilmesi mümkün olabilmektedir.

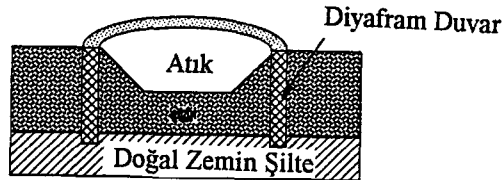
Atığın depolandığı yerde, içsel tepkimelerden ötürü, kirletici özellikli kimyasallar serbest kalmakta, bu kimyasalların gaz veya sıvı fazında dolgu içinde ilerlemeye çalışmaları söz konusu olabilmektedir. Bu istenmeyen oluşumların zararlı etkiler doğurması birkaç farklı sistem yardımıyla kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Bu kontrol sistemlerinin birincil amaçları aşağıdaki gibidir:

- 1- Atığa, üstteki örtü ve yandaki tabakalardan suyun sızmasını en aza indirmek;
- 2- Atığın içinde oluşan gazı ve çöp suyu sızıntısını toplayarak, uzaklaştırmak;
- 3- Oluşan çöp suyu sızıntısının yüzeye çıkmasını ve çevreye yayılmasını olabildiğince azaltmak.

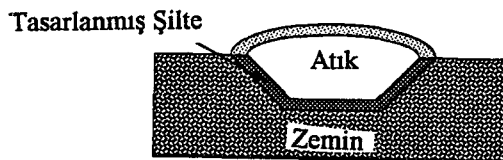
Doğal Zeminden Şilteye Depolanmış Atık



(B) Doğal Zeminden Şiltenin Üzerine Depolanmış Atık

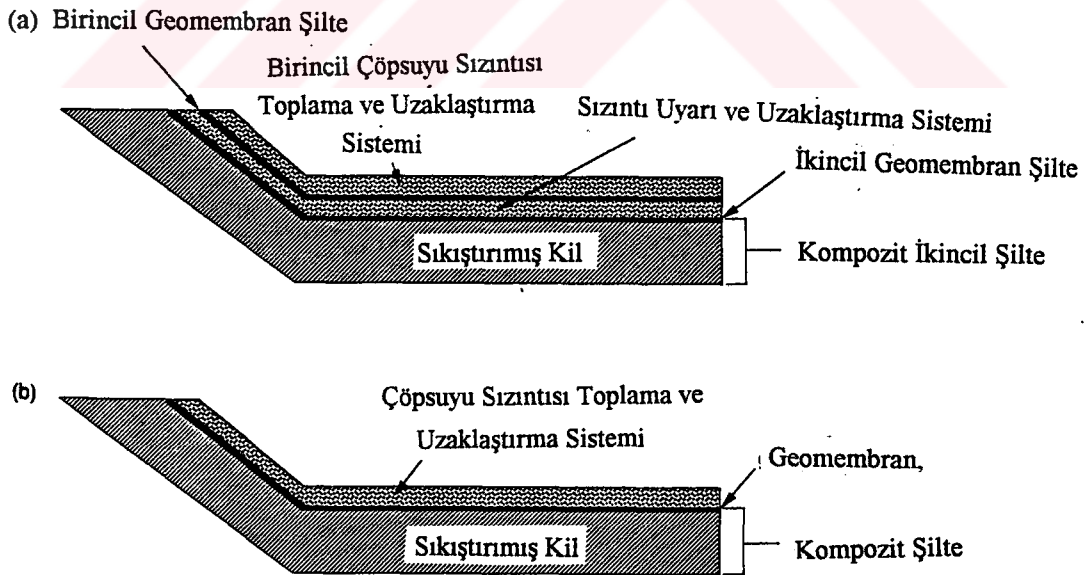


(C) Tasarlanmış Şilte Sistemi İçerisine Depolanmış Atık



Şekil 4.3 Katı Atık Depolama Tesislerinin Geçirimsizlik Şilteleri

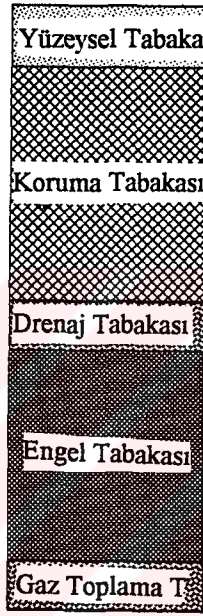
Geçmişte doğal zeminler şilte olarak kullanılmışlardır [16]. Günümüzde doğal zeminler heterojen yapıları, farklı hidrolik iletkenliklere sahip olmaları çatlakları, kırıklıkları gibi sebeplerle şilte olarak kullanılmamaktadırlar. Nadiren doğal zeminlerden şiltelerle düşey diyafram duvarlar birarada kullanılmaktadır. Daha çok kullanılmaya başlanan Şekil 4.3'de görülen tip tesisler ile kirleticinin yayılması ve çevreyi etkilemesi kontrol altına alınabilmektedir. ABD'de, USEPA ve altgrubu RCRA öncülüğünde yasal düzenlemelerle ülke genelinde uyulması gerekli asgari atık depolama teknolojileri ile ilgili katı kurallar konulmuştur. Örneğin Şekil 4.4'de altbaşlık C ve D listesindeki atıklardan kaynaklanacak çöp suyu sızıntısı oluşumunun yayılmasını engellemek için tasarlanacak şiltelerin asgari sağlaması gereken koşullar belirtilmiştir. Bu yönetmelikte tehlikeli atıkların depolanacağı tesisler için çifte şilte kullanması şart koşulmuştur. Çift kısımlı şiltelerin ilk kısmında oluşan çöp suyu sızıntısının toplanması amaçlanırken, iki geomembran şiltenin arasındaki kısım ise meydana gelebilecek kaçakları saptayabilecek erken uyarı mekanizması için oluşturulmuştur (Şekil 4.4a). ABD'de altbaşlık D listesinde yer alan atıkların, kısaca tehlikeli olmayan atıkların depolanacağı tesislerde ise, USEPA tarafından Şekil 4.4b'deki gibi şilte tasarımı yapılması istenmiştir. Bu tabakalar, çift kısımlı şiltelere kıyasla daha basit bir çöp suyu sızıntısı toplama sistemine sahip, kompozit yapıdadır. Avrupa topluluğunca tavsiye edilen standartlarda ise genelde tek kompozit şiltelerin toplama sistemi olarak kullanılması yeterli görülmüştür [17].



Şekil 4.4 USEPA'nın Geçirimsizlik Şiltelerinin Sağlamasını İsteddiği Minimum Şartlar

USEPA, tehlikeli atık depolama tesisleri için sıkıştırılmış şiltenin en az 0.9m. kalınlıkta ve permeabilitesinin 1×10^{-7} cm/sn 'den küçük olmasını, kriter olarak

belirtmiştir. Aynı kurum, drenaj yapan tabakalarda ise permeabilitenin 1 cm/sn 'den büyük olmasını ve sızıntı uyarısının ilk 24 saat içinde alınabilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yönetmeliklerde, geosentetiklerin drenaj malzemesi olarak, -özellikle geonet ticari adıyla yaygın olmak üzere- sızıntı uyarıcı tabakalar yapımında, ve yamaç şevleri üzerinde uygulandığı görülmüştür. Kullanılması önerilen geomembranların en az 0.76 m. kalınlıkta olmaları gerektiği belirtilmektedir. Tehlikeli olmayan atıkların depolandığı tesislerdeki yönetmeliklerde benzer içeriktedir. Bu yönetmeliklerde sıkıştırılarak hazırlanmış zemin şiltelerin kalınlığının 0.60 m. olabileceğine benzer bazı esnekliklere yer verilmiştir.

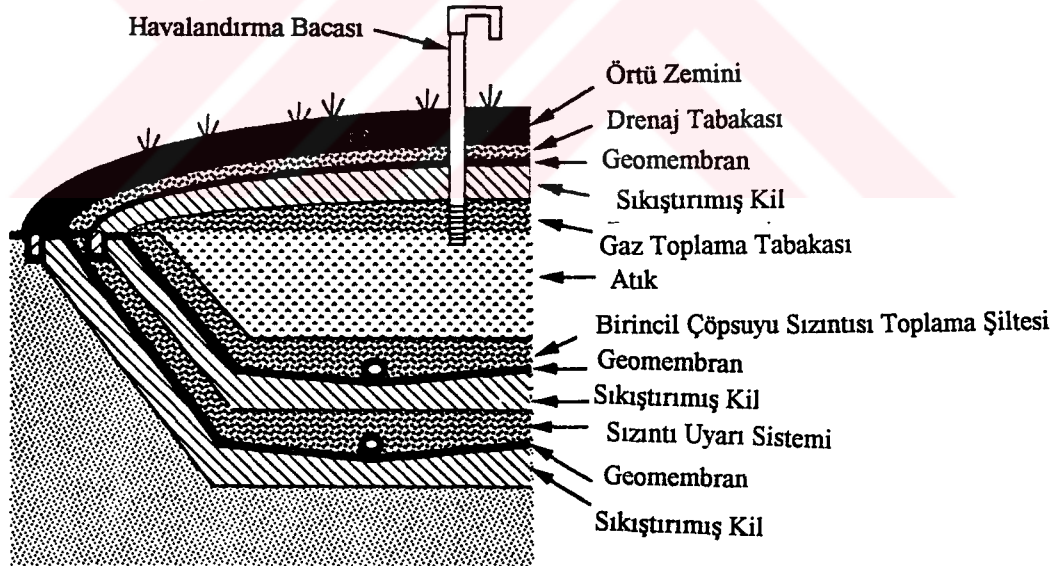


Şekil 4.5 Örtü Sisteminin Bileşenleri

Bir katı atık depolama tesisinin, en az altında bulunan şilte kadar önemli bir kısımda, dolgu hücrelerine atığın yerleştirilmesinden sonra tecrit amacıyla oluşturulan örtü tabakasıdır. Bu örtü tabakası birkaç farklı bileşenden oluşmaktadır (Şekil 4.5). Bu tecrit amaçlı örtünün en üstünde, erozyonu kontrol etmek üzere oluşturulan yüzeysel örtü tabakası bulunmaktadır. Kimi yerlerde bu tabaka çimlendirilerek rüzgar etkisiyle taşınım engellenebilmektedir. Kurak bölgelerde çakıl ve blok boyutlu malzemelerle kaplama yapılarak erozyona karşı koruma temin edilebilmektedir. Yüzeydeki örtü tabakasının hemen altında yüzeydeki çevreyi, atıktan izole etmek görevini üstlenmiş olan koruma tabakası yer almaktadır. Yüzeyden sızan sularıda tutan koruma tabakası, evaporasyon yada bitkilerin evotranspirasyonla doğal yollardan suyu tekrar atmosfere gönderme görevine yardımcılık etmektedir. Yoğun yağış alan yörelerde, özel drenaj tabakaları teşkil edilmektedir. Drenaj tabakası şu üç amaca hizmet etmektedir:

- 1- Örtü tabakasında süzülme olmadan bir an önce suyu drene etmek;
- 2- Şiltedeki su seviyesini azaltarak süzülme azaltmak;
- 3- Örtünün stabilitesini bozabilecek su basıncını sınırlandırmak.

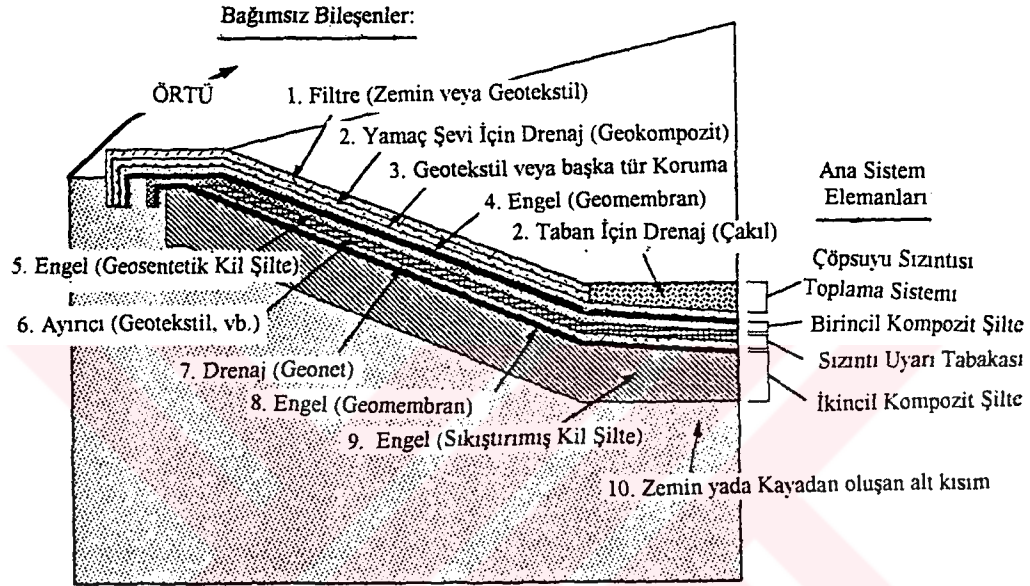
Kurak bölgelerde olanlar hariç, katı atık depolanan tesislerdeki örtü tabakalarında birer engel tabakası bulunmaktadır. Bu engel tabakaları, sadece bir geomembran tabakadan, düşük permeabiliteli sıkıştırılmış zeminden yada kompozit geomembran-zemin tabakasından oluşabilecektir. Geosentetik kil şiltelerde (GCL) örtü tabakalarında kullanılan yeni ve başarılı performanslar gösteren bir malzeme olarak yerini almıştır. Engel tabakası en az şilte tabakası kadar permeabiliteye sahip olmalıdır. Bunun sebebi ortama girecek suyun, çöp suyu sızıntısını toplamak için kullanılan sistemin kapasitesini zorlamasını engellemektedir. Tehlikeli ve zararlı gazların oluşabileceği katı atık depolama tesislerindeki, gaz toplayan tabakalar örtü tabakasının son kısmı olarak oluşturulmalıdır.



Şekil 4.6 Çifte Kompozit Şilte ve Çok-kısımlı Örtü Sistemine Sahip Bir Tesis

ABD'de tasarlanan ve inşa edilen katı atık depolama tesislerinin anatomisi genelde Şekil 4.6'daki gibidir. Burada ilk tabaka ile sızıntıyı kontrol için oluşturulan tabaka arasında yer alan, sıkıştırılmış kil tabakası, birinci tabakadan gelebilecek sıvı akımının hızını azaltmak ve olabildiğince engelleyebilmek görevini üstlenmiştir[16]. Sıkıştırılmış kil tabakaları Şekil 4.6'da görülmektedir. Yamaç

şevlerinde görülen sıkıştırılmış kil tabakalar altındaki geosentetiğe zarar vermemeleri için pratikte konulmaktadır. Böyle durumlar için geosentetik kil şilte de denilen, birincil şilte tabakada kullanılabilecek benzeyen, ince bir kil şiltenin serilmesi önerilmektedir (Şekil 4.7). Sistemin hafif ekipmanlar yardımıyla kolayca yerleştirilmesi, altta oluşturulmuş tabakalara zarar vermesini engelleyebilecektir [14].



Şekil 4.7 Geçirimsizlik İçin Yapılan Şilte Sistemlerine Bir Örnek [16]

Sıkıştırılarak oluşturulmuş kil şiltelerde suyun zaman içindeki hareketine bağlı konsolidasyon oturması riskinin, geosentetik kil şiltelerde ihmal edilebilecek düzeyde gerçekleştiği öne sürülmektedir. Konsolidasyon oturmasından dolayı sıkıştırılmış kil şilteyi terk ederek, çöp suyu sızıntısının kaçak yapmasına karşı erken uyarı sağlamak amacıyla oluşturulmuş kontrol tabakasına giren su, yanlış uyarı algılanmasına yol açabilmektedir.

Geomembranlar üretim hatasına ve yerleştirmeye bağlı kusurları olmadığı takdirde, ideal geçirimsiz malzemeler olarak düşünülebilirler. Araştırmalar geomembranın yüzeyi ile dokanak durumunda bulunan suyun, neredeyse ihmal edilebilecek düzeylerde ve oldukça düşük hızlarda, sentetik tabakadan difüzyon yoluyla geçmeye çalışacağını ifade etmektedir. Şilte tabakaların bileşeni olarak, dünya çapında yaygınlaşan geomembranların performansını etkileyen ve kendine özgü sayılabilecek problemlerin ana kaynağını üretim kusurları oluşturmaktadır. Bunlar

üretim sırasında oluşan delinmeler, ezilmeler, yarılmalardan dolayı oluşmuş kusurlardır. Çoğu zaman noktasal sızmalara yol açan olumsuzluklara sebep olabilmektedirler. Bu tür deliklerin miktar, boyut, dağılım ve yoğunlukları, üretim tecrübeleri ve performans gözlemlerine dayanılarak tespit edilmeye çalışılmaktadır. Örneğin elektriksel rezistivite deneyleri ile sızma araştırmaları ve kontrolleri yapılabilmektedir. Bu üretim kusurları, üretimi yapan fabrikaların yaptıkları araştırmalar, inşaat sigorta şirketlerinin gözlemleri v.b. katkılarla her ticari ürün için ortalama değerler biçiminde standartlaştırılmış cetveller oluşturularak derlenmeye çalışılmıştır.

Hemen hemen bütün katı atık depolama tesislerinde küçük de olsa sızıntılarla karşılaşmaktadır. Sızıntıların çoğuna geomembran malzemelerin serili olduğu tabakaların süreksizlik gösteren noktalarında, geomembranların bağlantı dikişlerinde, bazı drenaj borularına ait çıkıntıların tabaka dokusunu bozduğu yerlerde, v.b. rastlanabilmektedir.

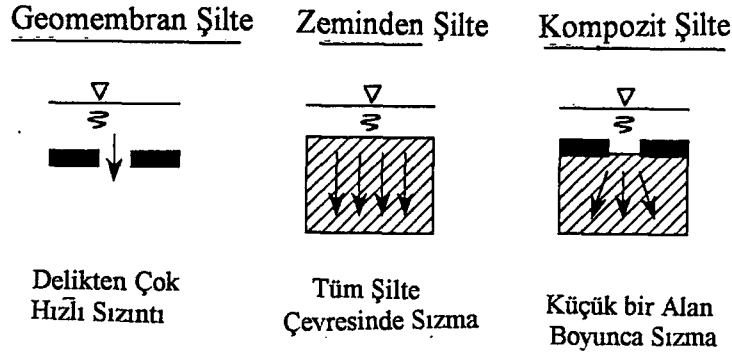
Geomembranlardan meydana gelen sızmalarla ilgili olarak yapılan performans gözlemleri ve diğer araştırmalardan aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1- Bağımsız kalite sigortası gibi yaptırım mekanizmaları olmadığı durumlarda, inşaa edilen katı atık depolama tesislerinin tamamına yakın kısmında, uygulaması yapılmış geomembran tabakalarının, kontrol edilen her 10 m.lik bağlantı dikişinde ortalama en az bir sızma oluşturacak kusura rastlanılmıştır.

2- Sağlıklı koşullar altında imal edilmiş ve bağımsız kalite sigortası denetimi uygulanan katı atık depolama tesislerinin tamamında, uygulaması yapılmış geomembran tabakalarının, kontrol edilen her 300 m.lik bağlantı dikişinde ortalama en fazla 1 sızma oluşturacak kusura rastlanılmıştır.

Aynı araştırmalar sonucu yapılan istatistiksel çalışmalarda, tipik panel genişliği ve bağlantı dikişi kusurlarına sahip, bunun yanında kısaca kalite sigortası olarak adlandırılacak bağımsız denetime açık şekilde inşaa edilmiş geomembran şiltelerde ortalama 3-5 sızıntı / ha. dağılım bulunmuştur.

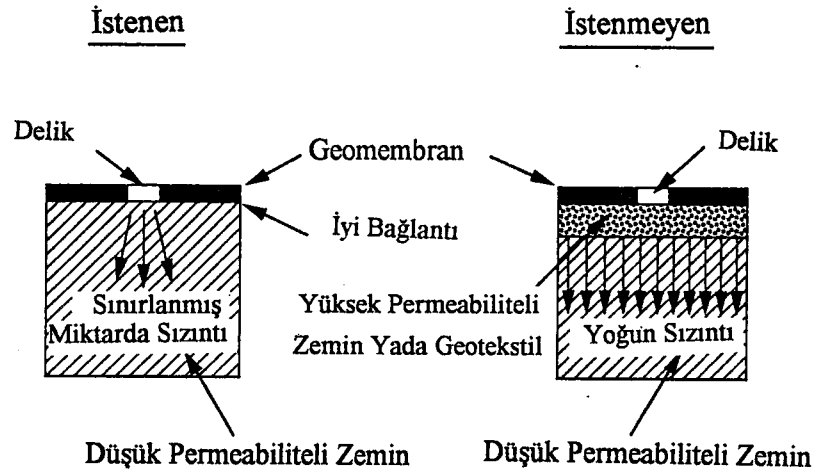
Kompozit bir şilte tek başına, geomembran şiltenin karşılaşacağı problemlerin üstesinden gelebilmektedir. Şiltelerin nasıl çalıştığı ile ilgili bir fikir verebilmek ve karşılaştırma yapabilmek için Şekil 4.8 verilmiştir.



Şekil 4.8 Geomembran, Zemin(Kil), Kompozit Şilte İçin Sızma Kalıpları

Eğer geomembran şiltelerde bir delikle karşılaşılırsa, alttaki zemin tabakasının sıvının ilerleyişini engelleyemeyecek özelliklere sahip olduğu düşünülerek, sıvının bu yolla bir tabakadan diğerine kolayca geçebileceği varsayılmaktadır. Bu bilgiye göre, sadece tek bir zemin şilte için, sızmanın tüm şilte boyunca gerçekleşeceği kabulü yapılmaktadır. Kompozit şiltede ise sıvı noktasal bir delikle karşılaşınca, ortamı kolayca terk edebilecek ama karşılaştığı düşük permeabiliteli yeni ortamda ilerlemesi doğal olarak kısmen yavaş olabilecektir. Düşük permeabiliteli zemin, daha çok sıvının ilerlemesini engelleyebilecektir. Böylece geomembranda olabilecek bir delik dolayısıyla başlayacak sızıntı, altında bulunan düşük permeabiliteli zemin sayesinde en aza indirgenebilecektir. Benzer şekilde karşılaşılabilecek tüm kusurlara rağmen düşük permeabiliteli zemin tabakasından sızacak su, geomembran tarafından durdurulabilecektir. Her iki olasılıkta da oluşabilecek bir sızıntı akımı, ciddi biçimde düşük hızlarda yada ihmal edilebilecek düzeylerde gerçekleşebilecektir.

İyi bir kompozit şilte oluşturma en önemli kuralının geomembranın zeminin üzerine iyi hidrolik dokanakla yerleştirilmesi olduğu belirtilmektedir [16]. Bu duyarlı dokanağı bozabilecek, yüksek permeabiliteli malzemelerin geomembran ile düşük permeabiliteli zeminin arasına yerleştirilmemesi gerekmektedir (Şekil 4.9). Dikkat edilecek bir diğer husus ise, alttaki zemin içinde bulunabilecek blok ve kaya parçası gibi iri malzemenin, geomembranı delmemesi için çıkartılması yada yastıklama temin edebilecek uygun düşük permeabiliteli malzeme ile olası zarar verme durumunun engellenmesine çalışılmalıdır. Başarılı bir hidrolik dokanak yüzeyi temin edilebilmesi için, üzerine geomembran serilecek, sıkıştırılmış zemin şiltenin yüzeyi çelik tandemli silindirle pürüzsüze yakın şekilde düzeltilmelidir. Ayrıca geomembran serildikten sonra kırışmaması için üzerine acilen bunu sağlayacak bir örtü tabakası serilmelidir.



Şekil 4.9 Geomebran ile Sıkıştırılmış Zemin Arası Sağlanması İstenen -İyi Hidrolik Dokanak(Bağlantı)- ve İstenmeyen Durum İle İlgili Sızma Kalıbı

Geomembran, zemin ve kompozit şiltelerden gerçekleşen akımın miktarını hesaplamak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bazı çalışmalara ait sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu çalışmada bilimadamları, piyezometre kotu, h , 300 m.; zemin şiltelerin permeabilitesi k , 10^{-8} cm/sn (en iyi), 10^{-7} cm/sn (ortalama), 10^{-6} cm/sn (en kötü); geomembran şiltelinin 0.1 cm^2 'lik deliklere sahip olduğu, ve dağılımın hektar başın 2 (en iyi), 20 (ortalama) veya 60 (en kötü) tane delik bulunduğu varsayımlarına dayanılarak çalışmalarını yapmışlardır.

Tablo 4.2 Araştırmalar Sonucu Bulunan Akım Oranları

Şiltelinin Türü	Akım Oranı (L / ha / gün)		
	en iyi durum	ortalama durum	en kötü durum
Sadece Geomembran	2 500	25 000	75 000
delik / ha	2	20	60
Sadece Sıkıştırılmış Zemin	115	1 150	11 500
K (cm/sn)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
Kompozit	0.8	47	770
delik / ha	2	20	60
K (cm/sn)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
dokanak	zayıf	zayıf	zayıf

Hesaplamalardan görülmüştür ki genel olarak geomembran yada zemin şiltenin her birinden geçen akımın kompozit şilteden oluşan akım oranının 100 kat üstünde olduğu tespit edilmiştir. Olabilecek kötü koşulların modellendiği, permeabilitenin 10^{-6} cm/sn gibi en kötü değerinde, geomembranda hektar başına 20 delik bulunan oldukça olumsuz durumlarda bile, iyi koşullar altında inşa edilmiş bir zemin şiltenin veya kaliteli bir geomembran şiltenin geçirdiği akım miktarından oldukça uzakta değerler tespit edildiği görülmüştür.

Kompozit şiltelerin ne zemin şilte kısmı, nede geomembran bileşenin mükemmel bir performans göstermeleri için çok iyi inşaa edilmiş olmalarının pek gerekmediği belirtilmektedir. Yüksek standartlarla inşaat uygulamalarının, gerçekleştirilemeyeceği durumlar için, bu durumun tasarımcıya büyük kolaylık sağlayabileceği iddia edilmektedir.

Günümüzde kompozit şiltelerin oldukça iyi performans gösterdikleri izlenmektedir. Sızıntı erken uyarısı sağlamak ve kontrol için teşkil edilen tabakalarda bazı araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunda kontrol tabakasına sızan suyun büyük kısmının, birincil kompozit şiltede yer alan kil bileşenin konsolidasyonu ile serbest kalan sudan oluştuğu saptanmıştır [14]. Örneğin 0.60 m. kalınlıkta doygun bir zemin tabakası kalınlığının % 3 'ü miktarında, iki yıl boyunca sıkıştırıldıktan sonra, konsolidasyona bağlı olarak serbest kalmış suyun oluşturduğu akım ortalaması oranının 270 L/ha/gün olduğu hesaplanmıştır. Bulunan değer uzun zamanlı sızıntı oranı miktarından oldukça büyüktür.

Geosentetik kil şilte (GCL) ticari adıyla üretilen tecrit malzemeleri, birincil kompozit şilte in önde gelen bileşeni olarak başarıyla kullanılmışlardır. Bu uygulamarda konsolidasyon oturması sonucu serbest kalan suyla karşılaşılmamıştır. Bazı araştırmalar bu uygulamanın yapıldığı alanların tamamına yakın kısmında sızıntı erken uyarı tabakalarında akıma rastlanmadığını göstermiştir[15]. Sözü edilen faydalarından dolayı, başta ABD olmak üzere çifte şiltelerin mühendislik tasarımında geosentetik kil şilte (GCL) lar, birer kompozit şilte olarak yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır.

Kompozit şiltelerde, kil ve zemin bileşenin yüzeyleri arasında görülen kayma gerilmesi bazen zorlanmalar yaratabilmektedir. Burada oluşan kayma gerilmesinin, genelde oldukça düşük değerlere sahip olacağı saptanmıştır. Dokanak yüzeyi boyunca pozitif boşluksuyu basıncı gelişmesi, bu etkiyi çoğu zaman azaltmaktadır. Geoteknik

mühendisleri, yaptıkları kesme kutusu deneyleri, şev analizleri için, geomembran ile zemin arasındaki uygun sürtünme açısını saptamalıdır. Gerekli görülebilecek durumlarda, geomembranın zemine ankrajlar yardımıyla tespit edilmesi gerekebilecektir.

Geosentetik kil şilte (GCL) da görülmesi olası bir başka problem ise termal etkilenmeden kaylanmaktadır. Özellikle yaz mevsiminde uygulama sırasında, sentetik geomembran 65° C'lik sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Sıcaklık sebebiyle geomembranın altında bulunan kil kuruyarak, çatlayabilmektedir. Geomembran soğuduğunda, nem yoğunlaşarak istenmeyen su cepleri oluşabilmektedir. Bu yoğunlaşmanın ardından, şev topuğuna doğru süzülme türü bir akım oluşacak ve birikme meydana gelebilecektir. Bu birikme, şevin stabilitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Problemi oluşmadan engellemeye çalışmalıdır. Geomembran yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan uygulanmalı, üzerine diğer tabakalar yerleştirilerek kapatılmalıdır. Beklemenin gerekli olduğu durumlarda geomembranın üzerine koruyucu şilte serilmelidir.

4.5 Bir İşletme Olarak Katı Atık Depolama Tesisleri

Hemen hemen bütün katı atık depolama tesisleri, masif atık blokları yerine atıkların hücrecikler biçiminde aşamalı olarak depolandığı elemanlar bütününden oluşmaktadır. Böylece alana depolanabilecek potansiyel atıkların miktarı fazla olabilmekte ve aşamalı inşaat sayesinde atık depolama tesisi efektif bir işletmeye dönüşebilmektedir. ABD'deki, yasalar çerçevesinde arazi sahiplerinin katı atık depolama tesisi işletme izni almaları çok uzun sürmekte ve pahalıya mal olmaktadır. Arazinin atık depolamaya uygun hazır duruma getirilmesi işlemide bir o kadar pahalı olmaktadır, hükümetin işletme izni vermesi ise yıllar sürebilmektedir. ABD'de çift kısımlı şilte sistemine sahip bir atık depolama tesisinin hektarı 370.000 USD ile 740.000 USD'a mal olmaktadır. Genelde işletmeciler, başlangıç yatırımının sınırlı düzeyde tutulması gerektiğini düşünerek, bir noktadan başlayıp belli kısımları kapsayacak şekilde çalışmalara başlamayı tercih etmektedirler [14]. Çeşitli uygulamayı kolaylaştırıcı faktörlerden ötürü büyük bir kütle biçiminde katı atık depolama tesisi yapmak yerine, hücreler ile aşamalı katı atık depolama tesisleri oluşturularak, işletmeyi çalıştırmanın faydalı olduğu gözlenmiştir.

Yeraltında bulunan katı atık depolama tesislerin de atıkların nakli ve yerleştirilmesi için, toprak dolgu rampaların yapılması gerekebilmektedir. Atık nakli sırasında kamyonların rampa üzerinde hareketleri ve bu sırada inişte yaptıkları frenler

mühendisleri, yaptıkları kesme kutusu deneyleri, şev analizleri için, geomembran ile zemin arasındaki uygun sürtünme açısını saptamalıdır. Gerekli görülebilecek durumlarda, geomembranın zemine ankrajlar yardımıyla tespit edilmesi gerekebilecektir.

Geosentetik kil şilte (GCL) da görülmesi olası bir başka problem ise termal etkilenmeden kaylanmaktadır. Özellikle yaz mevsiminde uygulama sırasında, sentetik geomembran 65° C'lik sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Sıcaklık sebebiyle geomembranın altında bulunan kil kuruyarak, çatlayabilmektedir. Geomembran soğuduğunda, nem yoğunlaşarak istenmeyen su cepleri oluşabilmektedir. Bu yoğunlaşmanın ardından, şev topuğuna doğru süzülme türü bir akım oluşacak ve birikme meydana gelebilecektir. Bu birikme, şevin stabilitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Problemi oluşmadan engellemeye çalışmalıdır. Geomembran yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan uygulanmalı, üzerine diğer tabakalar yerleştirilerek kapatılmalıdır. Beklemenin gerekli olduğu durumlarda geomembranın üzerine koruyucu şilte serilmelidir.

4.5 Bir İşletme Olarak Katı Atık Depolama Tesisleri

Hemen hemen bütün katı atık depolama tesisleri, masif atık blokları yerine atıkların hücrecikler biçiminde aşamalı olarak depolandığı elemanlar bütününden oluşmaktadır. Böylece alana depolanabilecek potansiyel atıkların miktarı fazla olabilmekte ve aşamalı inşaat sayesinde atık depolama tesisi efektif bir işletmeye dönüşebilmektedir. ABD'deki, yasalar çerçevesinde arazi sahiplerinin katı atık depolama tesisi işletme izni almaları çok uzun sürmekte ve pahalıya mal olmaktadır. Arazinin atık depolamaya uygun hazır duruma getirilmesi işlemide bir o kadar pahalı olmaktadır, hükümetin işletme izni vermesi ise yıllar sürebilmektedir. ABD'de çift kısımlı şilte sistemine sahip bir atık depolama tesisinin hektarı 370.000 USD ila 740.000 USD'a mal olmaktadır. Genelde işletmeciler, başlangıç yatırımının sınırlı düzeyde tutulması gerektiğini düşünerek, bir noktadan başlayıp belli kısımları kapsayacak şekilde çalışmalara başlamayı tercih etmektedirler [14]. Çeşitli uygulamayı kolaylaştırıcı faktörlerden ötürü büyük bir kütle biçiminde katı atık depolama tesisi yapmak yerine, hücreler ile aşamalı katı atık depolama tesisleri oluşturularak, işletmeyi çalıştırmanın faydalı olduğu gözlenmiştir.

Yeraltında bulunan katı atık depolama tesislerin de atıkların nakli ve yerleştirilmesi için, toprak dolgu rampaların yapılması gerekebilmektedir. Atık nakli sırasında kamyonların rampa üzerinde hareketleri ve bu sırada inişte yaptıkları frenler

şilteli tecrit sistemini etkilemektedir. Rampa geometrisinin, dışbükey eğri şeklinde oluşturulması sayesinde servis yolu üzerinde doğabilecek kuvvet iletimi problemli çözülebilecektir. Araçların depolama hücresine yavaş girmeleri, atığı yavaşça boşaltmaları sağlanmalıdır. Servis yolunun inşasında, araç sürücülerinin görüş alanlarının daraltılmamasına özen gösterilmelidir.

4.6 Katı Atık Depolamada Geoteknik Yönetim

Belli başlı süreç ayrıntıları geoteknik, bakış açısıyla dikkatlice planlamalıdır. Çöp suyu sızıntısını toplayacak tabakanın üzerine yerleştirilecek ilk tabaka genellikle seçilecek atıklardan oluşturulmalıdır. Burada kirletici içeriği ve miktar itibarıyla değil hemen üstüne yerleştirileceği tabakaya zarar vermeyecek yapıda atıkların seçilmesi kastedilmektedir. Örneğin büyük ve sivri atık parçaları, alttaki koruma ve tecrit tabakasını delebilecektir. Çok ince malzeme içeren endüstriyel çamur türü atıkların, toplama sistemini tıkayacağı unutulmamalıdır.

Atıklar, katı atık depolama tesisine, ek kayma gerilmeleri oluşturamayacak şekilde depo edilmelidir. Oluşabilecek ek kayma gerilmelerinin, toptan göçmeye yol açabileceği ve stabiliteyi bozabileceği unutulmamalıdır. Hücrelerin aşamalı olarak teşkili ile stabilitenin nasıl değişebileceği dikkatlice analiz edilmelidir. Katı atık depolama tesisleri geoteknik tasarımının önemli parçalarından biri stabilite korunurken, aşamalı hücreler teşkil edilerek tesisin işletilmesi için süresel planlama yapılmasıdır. Bu noktada, geoteknik mühendisinin katı atıkların nasıl depolacağı konusunda yapacağı planlama, işletmenin yönetsel çatısının oluşturulmasına benzetilerek, "Katı Atıkların Geoteknik Yönetimi" kavramı kullanılmaya başlanmıştır [18].

Hücrelerin günlük işlemler ardından, sinek ve asalak üremesi engellemek amacıyla kapatıldıklarına daha önce değinilmişti. Ancak bu günlük örtüler, hücrelerin bütünselliğini bozan süresizlikler yaratabilmektedir. Bu süresizlikler bir tür hidrolik engel gibi davranabilmektedir. Bu durum sıvının atık içinde serbestçe süzülmemesine sebep olmaktadır. Bazı hücreler suya doymuş iken, bazıları oldukça kuru durumda bulunabilmektedir. Su muhtevalarındaki büyük farklılıklar, farklı oturma problemleri, çöp suyu sızıntısının birikebileceği cepler ve sıvının toplanamaması gibi sorunlar oluşturabilecektir. Toplanan çöp suyu sızıntısının, su muhtevaları farklı tabakalar arasından yükselmesi riskine karşı günlük üst örtü tabakasının, yüksek permeabiliteli malzemeden oluşturulması gerekliliği vardır. Eğer düşük permeabiliteli örtü tabakaları yapılırsa, çöp suyu sızıntısı katı atık depolama tesisinin üst örtüsü boyunca toplanıp,

aşağı doğru süzülmesi gerekmesine rağmen, yanal örtülerin şevleri üzerinden kanalcıklar oluşturarak akabilecektir.

Soğuk iklimli bölgelerde, kil şiltenin donmaya karşı korunması için, çöp suyu sızıntısını toplayan örtü tabakasının üstüne atık serilerek yeterli don derinliği sağlanmalıdır. Çöp suyu sızıntısını toplayan sistemlerin sadece içsel sıvı oluşumunu değil, yağışlarla gelebilecek suyu da toplayıp iletecek şekilde tasarlanması gerektiği hatırlanmalıdır. Geniş hücreler oluşturulurken, olası yağışların etkilerinden korunmak amacıyla çöp suyu sızıntısı toplayan sistemler aşamalı olarak inşa edilebilecektir.

Çöp suyu sızıntısını toplayan drenaj sistemindeki boruların periyodik olarak bakımı ve temizliği yapılmalıdır. Böylece sistemden beklenen performansı göstermesi sağlanırken, servis ömründe uzatılmış olabilecektir. En azından çok önemli kısımların temizlenmesine gösterilecek özenle bağlantı kısımlarında olabilecek tıkanmaların daha kolay ulaşarak giderilebilmesine imkan sağlanılabilecektir.

BÖLÜM 5

ŞİLTE SİSTEMLERİ

5.1 Kil Şilteler

Düşük permeabiliteye sahip doğal malzemeden yapılan şiltelere, -zemin şilte- veya -kil şilte- gibi değişik adlar verilmektedir. Oluşturulan şiltelere her ne kadar 'kil şilte' deniyorsa da, bazı doğal şiltelerde yüksek miktarlarda farklı malzeme bulunabilmektedir. Şiltenin 'kil' olarak adlandırılmasının en önemli sebebi beklenen geçirimsizlik görevini, düşük permeabilite karakterinden dolayı kilin üstlenmesinden dolayıdır. Kil şilteler üç grupta ele alınarak incelenebilmektedir:

- 1- doğal haliyle kullanılan kil şilteler;
- 2- sıkıştırılmış kil şilteler;
- 3- geosentetik kil şilteler.

Kil şilteler, sıvıların akışına karşı hidrolik engel oluşturmak için yapılmaktadır. Bunun yanında gömülmüş atık yığınlarına suyun sızmasını önlemek (örtü sistemleri) ve oluşan çöpsuyu sızıntısını kontrol etmekte için de şilteler yapılmaktadır. Bu görevlerin başarıyla yerine getirilmesi için, kil düşük permeabilite özelliğini uzun süre korumalıdır. Kil şiltelerin uzun ömürlü ve yeterli olabilmesi için sızıntıyı etkilenmeden kontrol edebilmekten, duraylı olmaya kadar pek çok şartı sağlaması gerekmektedir.

5.2 Doğal Kil Şilteler

Doğal kil şilteler, kil yönünden zengin, doğal yapıları itibarıyla düşük permeabilite malzemeden oluşturulmaktadır. Atıklar, doğal şiltenin üzerine veya içine gömülebilmektedir. Doğal şilteler normalde önemli miktarda kil mineraline ve 1×10^{-6} - 1×10^{-7} cm/sn'den küçük yada eşit permeabilitelere sahip olmaktadır. Doğal şilteler günümüzde, tasarlanmış şilteleri çevreleyen kısımlar olarak kullanılmaktadır. Eski uygulamalarda atık depolama tesisinde sadece doğal şilteler bulunmaktaydı.

Doğal şiltelerin sürekli ortamlar olmamaları, kırıklılık düzlemleri, girişimler, çatlaklar ve boşluklar içermeleri nedeniyle, permeabilitelerini uniform tutamamaları, oldukça kritik durumlar oluşturabilmektedir. Doğal şiltenin homojenliğinin ve uniformluğunun sürekliliği, yerel ve bölgesel hidrojeolojik koşulları içeren bir seri araştırma yapılarak tartışılmalıdır. Örneğin, en azından bir akiferden pompajla su çekimi yapılırken, çevredeki gözlem kuyularının su seviyelerinde oluşacak değişimler izlenmelidir.

Doğal şiltelerin permeabilitesi laboratuvar ve In-situ permeabilite deneylerinin kombinasyonu olan bir çalışmayla bulunmalıdır. Laboratuvar deneyleri genellikle esnek-membranlı hücrelerde yapılmaktadır. Bu deneyde ince cidarlı çelik tüple alınmış, örselenmemiş zemin numuneleri kullanılmaktadır. Numune suyu ince membrandan alarak, doygun duruma geçmeye çalışmaktadır [19]. Yapılan deneylerin sonuçları, numunenin alındığı ortamdaki hidrolik özürler açıkça belirlenmeden sağlıklı fikirler verememektedir. Çatlaklar, delikler, fisürler ve sürtünme boşlukları gibi kusurlar, ölçülmüş permeabilite değerinin artmasına neden olabilmektedir.

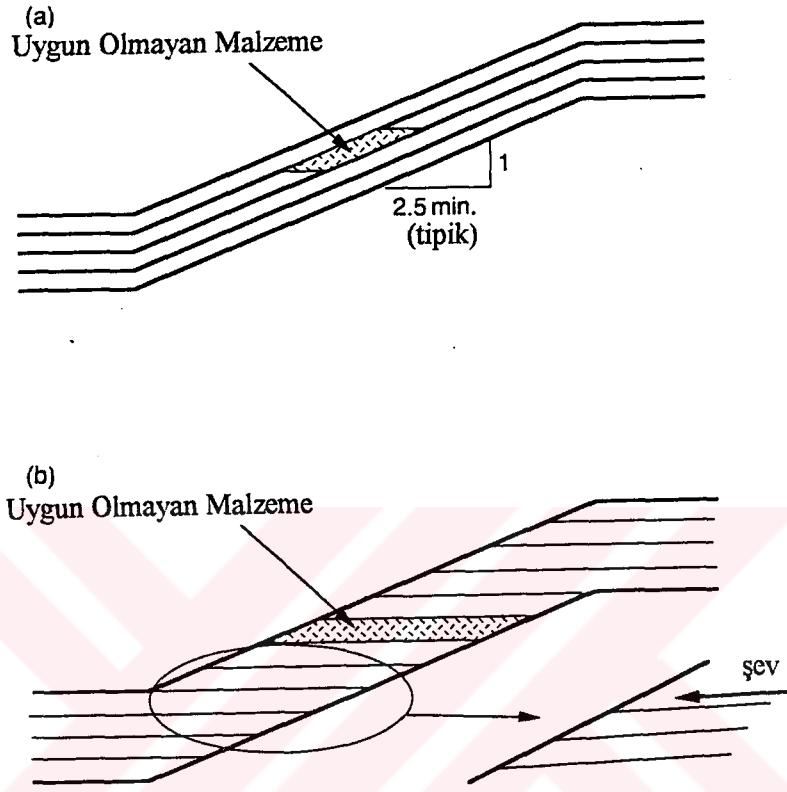
In-situ permeabilite deneyleri verdikleri sağlıklı sonuçlar yüzünden hidrolik iletkenlik araştırmalarının en önemli kısmını oluşturmaktadır. Açılan çeşitli sondaj deliklerinde sabit veya düşen seviyeli deneyler yapılagelmektedir. Toplanan verilerin, işlenmesi için değişik yöntemler önerilmiştir [20]. Kaç tane in-situ deney yapılacağı, öngörülen bütçe, bölgenin hidrojeolojik koşulları, istenen yaklaşıklık oranı gibi faktörlerle bağlı olarak saptanmaktadır. Tipik olarak 10 - 20 deney yeterli görülebilmektedir. Deney yapmak amacıyla açılmış sondaj kuyularının, deney sonrasında doldurulması ve tıkanması gerekmektedir. Terk edilen sondaj kuyuları, bazen istenmeyen tabakalar arası hidrolik bağlantılara yol açabilmektedir.

Doğal şiltelerin sürekli ve düzenli jeolojik yapıları olduğunu ve permeabilitesinin tüm doğrultularda uniformluk gösterdiğini ispatlamak çok pahalıya mal olmakta ve çeşitli zorlukları bulunmaktadır. Bu nedenle doğal şiltelerin, katı atık depolama tesislerinden ve diğer atık yığınlarından kaynaklanacak kirliliğin yayılmasını engellemek için yalnız başlarına, kullanılmaları önerilmemektedir.

5.3 Sıkıştırılmış Kil Şilteler

Sıkıştırılmış kil şilteler, bentonit yada sentetik polimer gibi işlenmiş yada prefabrike birimler içerseler de, öncelikli olarak doğal malzemeden yapılmaktadırlar.

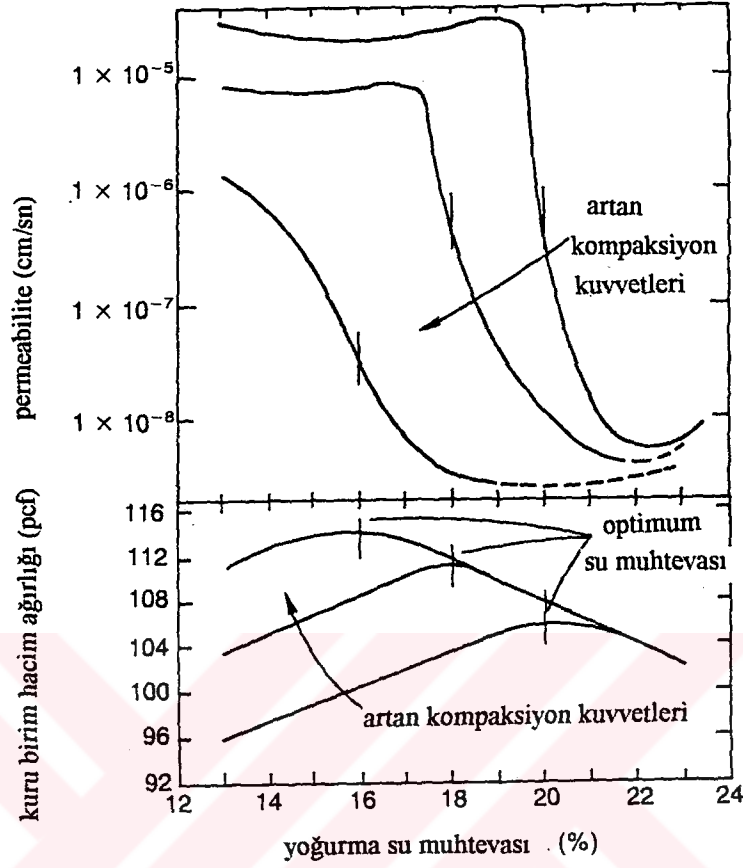
Kil şilteler ince "tabaka" parçaları halinde inşa edilmektedir. Yamaç şevleri, şeve paralel yada yatay tabakalardan oluşturulmaktadır (Şekil 5.1). Şev eğimi 2.5:1 veya 3:1 den dik olan durumlarda, şeve paralel tabakalar yapılmaması önerilmektedir.



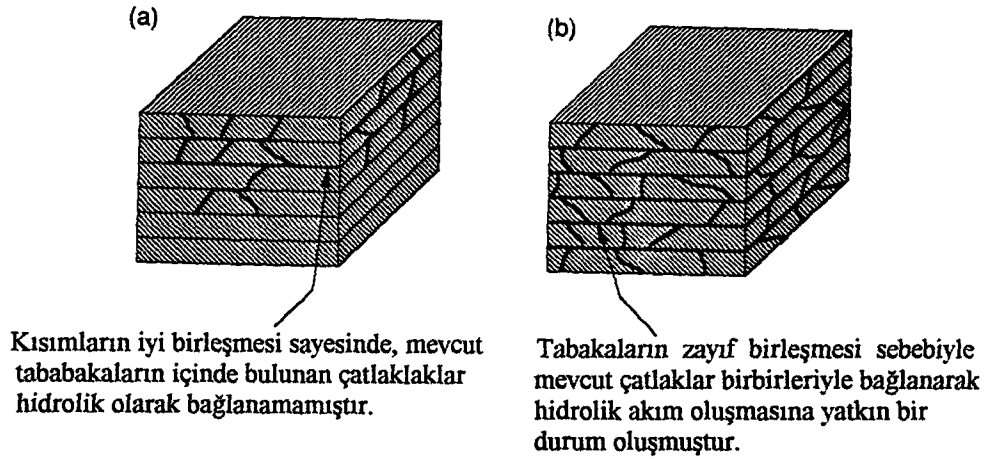
Şekil 5.1 (a) Paralel ve (b) Yatay Tabakalardan Oluşturulmuş Yamaç Şevleri

5.3.1 Sıkıştırma Koşulları

Kompaksiyonla sıkıştırmanın amacı, zemin dokusundaki boşlukları gidererek homojen ve sürekli bir yapı oluşturmaktır. Bu amaçla uygun zemin birimlerinin sıkıştırılması, 1×10^{-7} cm/sn değerinden düşük permeabiliteler elde edilmesini de temin edebilmektir. İstenilen permeabilitenin temin edilmesinde, zeminin doğal su muhtevası, kompaksiyon yöntemi ve uygulanan enerji ana faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Optimum su muhtevası değerinin, ıslak tarafında kompaksiyon yapıldığında kolayca düşük permeabilite değerleri elde edilebildiği görülmüştür [21]. Şekil 5.2'de kompaksiyonda zemine daha sıkı bir doku kazandırmak için yapılan eklemeyle artan su muhtevasının, uygulanan enerjiyle değişimi gösterilmiştir. Oluşturulan tabakaların birbiriyle iyice kaynaşması gerekmektedir. Araştırmalar daha düşük hidrolik iletkenlik temini için birimlerin iyi bağlanması gerekliliğini vurgulamıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.2 -Yoğurma- Su Muhtevasının ve Sıkıştırma Enerjinin Permeabiliteye Etkisi

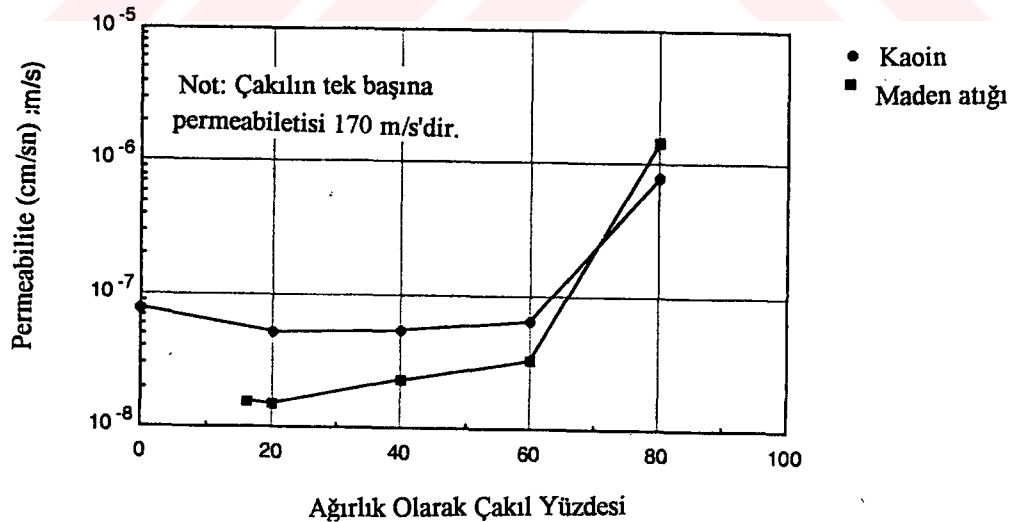


Şekil 5.3 Sıkıştırılmış Kil Şiltelerde Tabakalar Arası Dokanakların Durumu

5.3.2 Malzemenin Özellikleri

Kullanılacak malzeme için en önemli şart, teşkil edilecek şiltede 1×10^{-7} cm/sn ve altında permeabilitenin temin edilebilmesi olarak belirlenmiştir. Genelde malzemenin granülometrisinin, ince dane oranı % 20-30'dan büyük, çakıl oranı % 30 dan az, plastisite indeksi % 7-10 dan büyük ve en büyük dane boyutu 25-50 mm olan parçalardan oluşması istenmektedir. Granülometrik veriler kuru elek analizi deneyinden (ASTM D4318) elde edilmelidir. Bazı yerel özellikler bu oranların daha geleneksel değerlerde olmasını gerektirebilecektir. Şartların sağlanamadığı hallerde bentonit gibi katkıların kullanılabileceği belirtilmektedir.

Malzemenin içerdiği çakıl oranının, olumsuzluklar yaratması bentonit ve maden çamuru katkılarıyla dokulanmadaki boşluklar doldurularak, giderilmeye çalışılabilecektir. Araştırmalarda optimum su muhtevası değerinin ıslak tarafında kalınacak şekilde zemin ve çakıl karıştırılmış, standart proktor yöntemiyle sıkıştırıldıktan sonra konsolidasyon ringinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.4'de gösterildiği gibi, çakıl oranının % 50-60'a kadar çıkabileceğini göstermiş olsa da çakıllı kısımların segregasyonu riski söz konusudur. Bu nedenle muhafazakar olmasına rağmen % 30 çakıl oranı sınırının korunması yaygın olarak kabul görmektedir.



Şekil 5.4 Kildeki Çakıl Oranının Permeabiliteye Etkisi

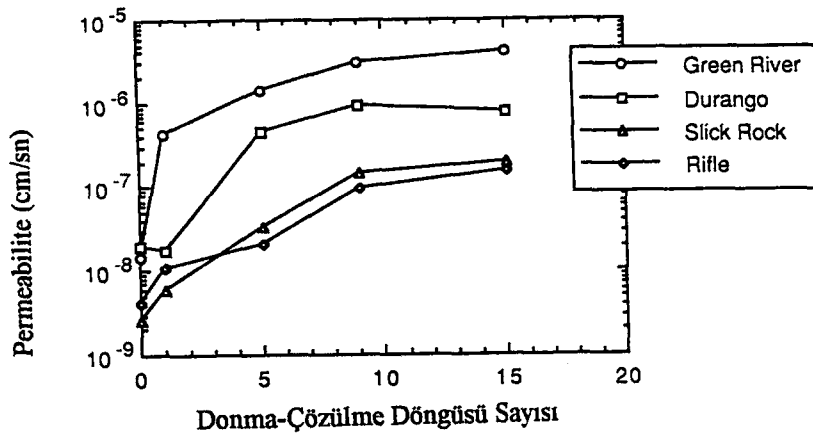
Yörede bulunan malzemenin özellikleriyle, yeterli şartları sağlayamaması durumunda ticari kil katkı malzemeleri (bentonit) ile takviyesi gerekebilmektedir

Zemin, 230 mm. (9 inch) 'ten kalın olmayacak şekilde gevşek halde serilmelidir. Kalınlık ölçü kazıkları ile kontrol ediliyorsa, ölçümün ardından kazık boşlukları iyice tıkanmalıdır. Son uygulamalarda lazerli elektronik ölçme aletleri kullanılmaktadır. Buharlaşma ile kaybedilebileceği düşünülen potansiyel su, kompaksiyonun yapılacağı tabakanın yüzeyine yayılarak emdirilmeli ve uygulama öncesi son tesviyeler yapılmalıdır.

Kompaksiyon için ağır, genişçe ayaklı sıkıştırıcılar kullanılmalıdır. Kompaktörde denilen sıkıştırma makinaları, genelde en az 18 ton ağırlıkta ve en az 200 mm. genişlikte yere basan ayakları olmalıdır. Sıkıştırma için en az 5 geçiş yapılması gerekmektedir. Burada bir geçiş, sıkıştırma yapılarak alanın tümü üzerinden geçilen tam turu anlatmaktadır. ABD'de CAT 815B ve CAT 825C ticari kodlu iş makinaları, bu amaçla çok yaygın kullanılmaktadır.

Bu tür kompaksiyon işlerinde, silindirme ile statik sıkıştırma, titreşimli yöntemlerden daha uygun olmaktadır. Kuru alanlar daha ağır silindirlerle sıkıştırılmaya ihtiyaç duyarlarken, nemli zeminlerin bünyesindeki suyun kaçmasını engellemek için çok ağır olmayan silindirler kullanılarak işlenmesi gerekebilmektedir.

Sıkıştırılması tamamlanan kısım donma ve kuruma etkilerine karşı korunmalıdır. Kuruma olayı, kilde kırıklar ve çatlaklar oluşturabilmektedir. Donma-çözülme döngüsü dokuyu ve yapıyı bozarak, permeabiliteyi artırabilmektedir (Şekil 5.6) [22]. Kuruma etkisi, tabakaya plastik örtüler serilerek engellenebilecektir. Plastik örtü çok ısınmış olmamalıdır, yada periyodik olarak zeminin yüzeyi ıslatılabilecektir. Doğal etkilere açık kalan yüzeyin, olumsuz etkilenmemesine özen gösterilmelidir.



Şekil 5.6 Donma-Çözülme Döngüsünün Sıkıştırılmış Kilin Permeabilitesine Etkisi

İnşaatin sonrasında malzemenin yeterli performansı gösterip göstermediği ve kompaksiyonu yeterli olup, olmadığının tespiti için çeşitli deneyler yapılabilmektedir. Bağımsız sigorta denetimine tabi yükleneciler, bu deneylerden oluşan performans ölçümlerini düzenli olarak yapmaktadırlar.

5.3.4 Su Muhtevası ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı İlişkisi

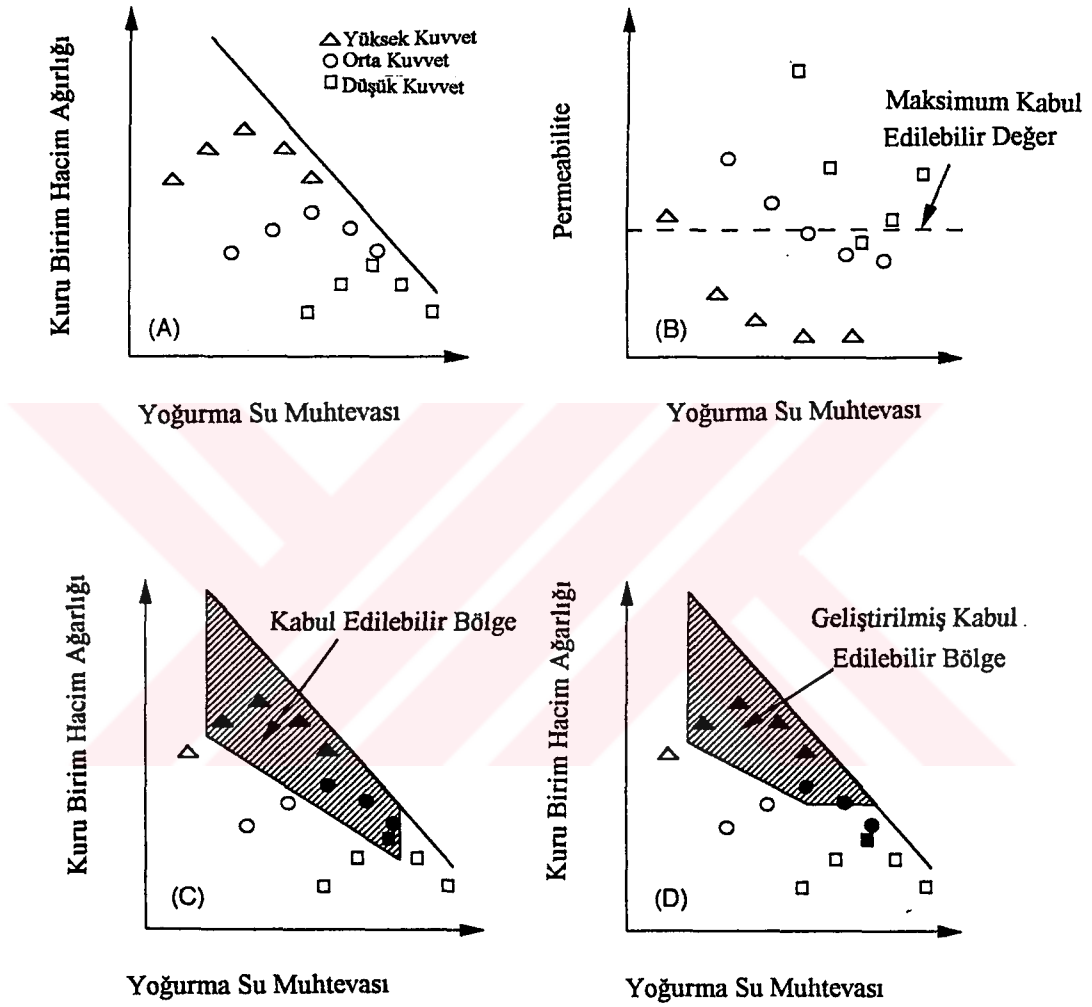
Sıkıştırılmış kil şilte tasarımında kabul edilebilir su muhtevası, kuru birim hacim ağırlığı oranı aralığının saptanması oldukça kritik aşamalardan birini oluşturmaktadır. Çok kuru zeminlerde, istenilen hidrolik geçirimsizliği temin etmek oldukça zor olabilmektedir. Çok ıslak zeminlerde, uygun mukavemet ve stabiliteyi sağlayarak çalışmak mümkün olamayabilmektedir.

Kabul edilebilir su muhtevası aralığı tesbitinin ardından, zemin yeterli enerjiyle sıkıştırılmalı ve büyük (macro) boşluklar kapatılarak sürekli ve homojen ortamın oluşturulmasına çalışılmalıdır. Zeminin kuru birim hacim ağırlığı değeri, efektif kompaksiyonun kontrol edilmesinde referans olarak kullanılmaktadır.

Zeminin su muhtevası ve sıkıştırmada uygulanan enerjinin çok değişken oldukları gözlenmektedir. Kısaca, laboratuvarında sağlanan sıkıştırmanın duyarlı biçimde tüm bir tabakada sağlanması oldukça güç olmaktadır. Tam sonucun elde edilememesine karşı, yapılması gerekli yaklaşıklık için aşağıdaki yöntem önerilmiştir [20]. Sağlanması tasarlanan su muhtevası aralığı biraz geniş tutularak, zemin üç farklı enerji değeri ile sıkıştırılabilecektir. Bu üç farklı değerden en büyük olanı modifiye proktor, ortalama olanı standart proktor ve küçük olanı -indirgenmiş- proktor deneyinden bulunabilmektedir. -İndirgenmiş- proktor, standart proktor deneyinin bir varyasyonudur. Buradaki tek fark sıkıştırma çekicinin 25 kez yerine, 15 kez düşürülmesi ile yapılan kompaksiyon deneyinin yapılmasıdır. İndirgemenin sebebi, düşük enerji seviyeli bir deneysel veri üreterek regresyonu duyarlı kılabilmeğdir.

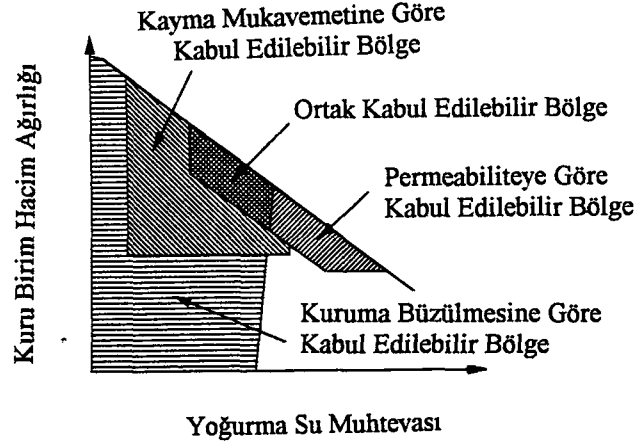
Önerilen yöntem Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Önce 5-6 numune üzerinde, üç farklı proktor deneyi, ayrı ayrı yapılarak değişik enerji seviyelerine ait optimum su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı eğrileri çizilmiştir.(5.7a). Sonra, sıkıştırılmış zeminlerden alınan numuneler doaygunlaştırılıp konsolidasyon deneyi yapılmıştır(5.7b). Sıkıştırma eğrisi tekrar çizilmiştir (5.7c). Grafikteki içi dolu kutucuklar yeterli durumları, içi boş kutucuklar yüksek geçirgenliği olan numuneleri anlatmaktadır. İstenen koşullara göre, pratikte kabul edilebilecek bir bölge grafiklerde gösterilmiştir.

Bu bölge bazı mukavemet değerleri ve inşaat tecrübelerinden alınan bilgilerle geliştirilerek, daraltılmıştır (Şekil 5.7). Şekil 5.8'de permeabilite, kayma mukavemeti ve kuruma büzüşmesi kriterlerine bağlı olarak, kabul edilebilir ortak bölgenin nasıl oluşturulduğu gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Kabul Edilebilir Bölge Oluşturulması İçin Oluşturulmuş Yöntem [20]

Kompaksiyon için kullanılan iş makinalarının boyundan en az üç kat fazla en ve boya sahip alanlarda, özel tabakalar inşa edilerek, deneysel çalışmalar yapılabilmektedir. Deneyler performans izlenmesi ve kalite kontrolü için uygulanmaktadır. Çalışmalarda, tabakaların üzerinden herhangi bir jeolojik yük kaldırılmadığı, dolayısıyla doğal gerilme durumuyla çalışıldığı hatırlanmalıdır. Bu nedenle, sonuçlarda yapılacak güncelleştirmelerin ardından değerlendirme yapılması gerektiği, unutulmamalıdır.



Şekil 5.8 Permeabilite, Kayma Mukavemeti ve Kuruma Büzülmesine Bağlı Ortak Kabul Edilebilir Bölge Oluşturulması

5.3.5 Kil Şiltelere Atık Kimyasalların Etkileri

Sıvı atıklar toprak şiltelerin içine işleyerek yapılarının bozulmasına ve yıkılmalarına neden olmaktadır. Asitler ve bazlar, nötr inorganik ve organik sıvılar ve çöpsuyu sızıntısına, şilte üzerinde farklı etkiler oluşturacakları için ayrı ayrı değinilecektir.

Kuvvetli asitler ve bazlar katı formdaki malzemeyi eritip, çözerek içinde kanallar oluşturabileceği için, permeabilitenin yükselmesine neden olabileceklerdir. Özellikle hidroflorik ve fosforik asit türünden asitler, çok agresif ve zemin yapısını yıkıcı etkiler gösterebilmektedir. Asit konsantrasyonu, reaksiyon süresi, ortamdaki sıvı/katı oranı, kil çeşidi ve sıcaklık yapının etkilenmesine neden olan faktörlerden bazılarıdır. Çöpsuyu sızıntısının, pH değeri üçten küçük veya onbirden büyükse oldukça sakıncalı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Yüksek asiditeye sahip sıvının killi ortamdan ilk geçişinde önce permeabilite biraz azalmakta, ardından artmaya başlamaktadır [20].

Nötr inorganik sıvıların etkisi Gouy-Chapman teorisi ile açıklanmaya çalışılmıştır [21]. Difüzyona maruz çift tabakanın kalınlığının (T), boşluk sıvısının dielektrik sabiti (D), elektrolit konsantrasyonu (n_0) ve katon değerliğine (v) bağlı olarak aşağıda ifade edilen şekilde değiştiği öne sürülmüştür (bağıntı (5.1):

$$T a \sqrt{\frac{D}{n_o v^2}} \quad (5.1)$$

Sulu çözeltilerde, dielektrik sabiti değeri genelde aynı olmaktadır. Böylece (n_o) ve (v) ana parametreler haline gelebilecektir. Diffüzyonun olduğu tabaka su aldıkça ve katyonları çoğaldıkça hidrolik iletkenliği azalmaktadır. Çünkü akım kanalcıkları büzülerek kapanmaktadır.

Çoğu organik kimyasallar, sudan daha düşük dielektrik sabiti değerlerine sahip olabilmektedir. Düşük (D) değeri, (T) 'ninde azalmasına (bağıntı 5.1), dolayısıyla permeabilitenin artmasına neden olabilecektir. Düşük dielektrik sabitlerine sahip sıvılar, kil parçacıklarının folükülasyonuna, zeminin büzülmesine ve çatlakların yayılmasına yatkın ortamlar olabilmektedirler [23]. Böyle oluşan çatlaklara, teknik olarak -pıhtılaşma çatlakları- denilmektedir.

Yapılan bir çok araştırma, organik kimyasalların permeabilitenin artmasına yol açtığını göstermiştir [24]. Bu araştırmalardan ve tecrübelerden toplanan bilgilere göre, aşağıdaki şartları sağlayan organik kimyasalların, zemin şilteyi pek etkilemediği gözlenmiştir:

1- Çözelti içinde % 50'den çok su var ise,

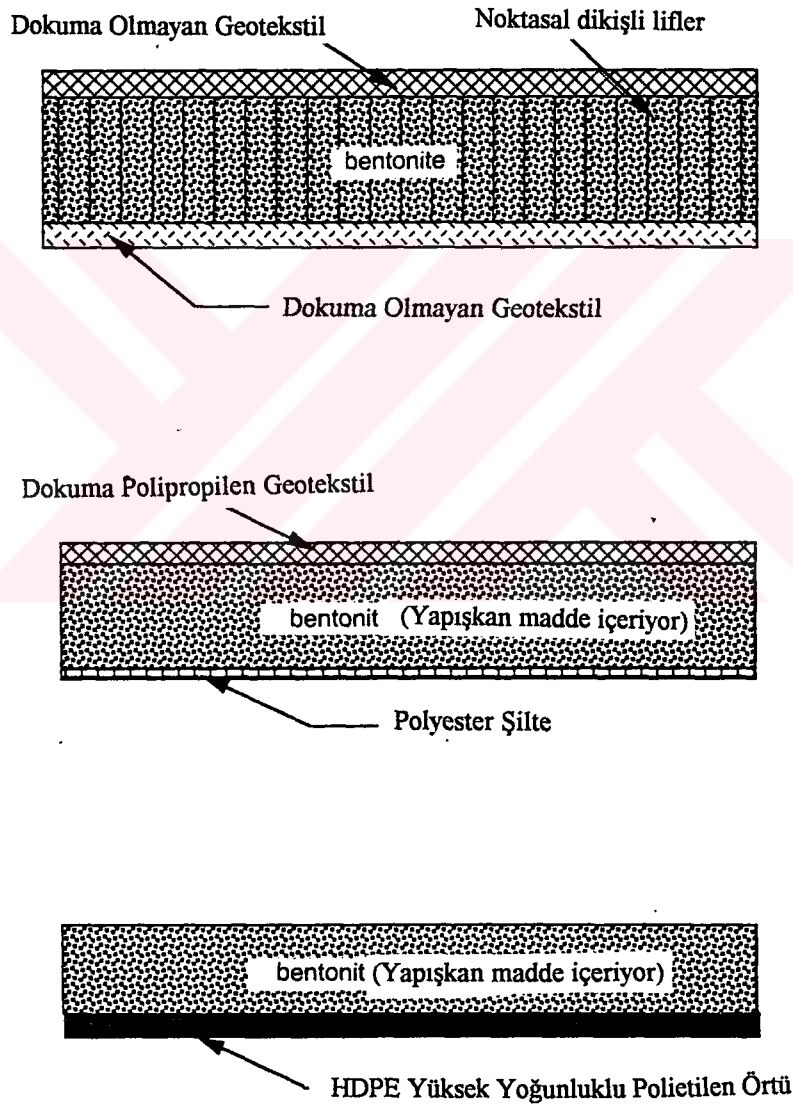
2- Farklı fazlarda maddeler ortamda bulunmamaktaysa.(Örneğin bütün organik sıvılar suda çözülür ve farklı fazlarda bulunmazlar.)

5.3.6 Kil Şiltelerin Performansı

Yapılan gözlemlerin çoğunda kil şiltelerin hidrolik engelleme görevlerini efektif olarak yerine getiremediklerini göstermiştir. Malzeme olarak kil sorun yaratmamaktadır. Doğada bulunduğu şekilde kullanılan kil şiltelerin iyice araştırılmamış olmasının, yetersiz inşaat kontrolleri ve sıkıştırmada ki belirsizlikler, esas problemi oluşturdukları öne sürülmektedir. İyi kalitede ve işlevini yerine getirebilecek kil şiltelerin yapılabileceği araştırmalarla gösterilmiştir [23]. Bilim adamları inşa ettikleri birebir ölçekli sıkıştırılmış kil şilte üzerinde 1×10^{-7} cm/sn'den küçük permeabiliteler ve uniform yapılar temin edebilmişlerdir.

5.4 Geosentetik Kil Şilteler (GCL)

Yeni sayılabilecek bir malzeme olan geosentetik kil şilteler, özel yöntemlerle fabrikalarda üretilmektedir. Son yıllarda, katı atık depolama tesislerinin şilte ve örtü kısımlarında tecrit ve hidrolik engel olarak kullanılmaya başlanmışlardır. Geosentetik kil şiltenin anatomisi iki geotekstil arasına veya tek geomembranın bir yüzüne sıkıştırılarak yapıştırılmış kilden (özellikle bentonitten) oluşmaktadır. Dünya genelinde dört büyük sentetik üreticisi firma geosentetik kil şilteleri üretip, pazarlamakta ve yeni ürünler geliştirmektedir.



Şekil 5.9 Geosentetik Kil Şilteler

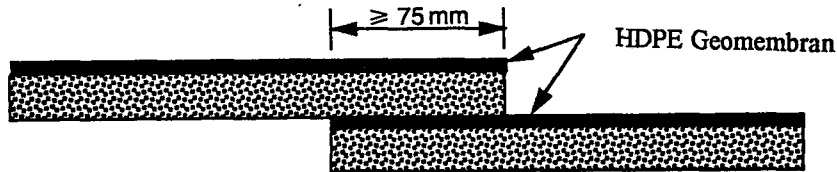
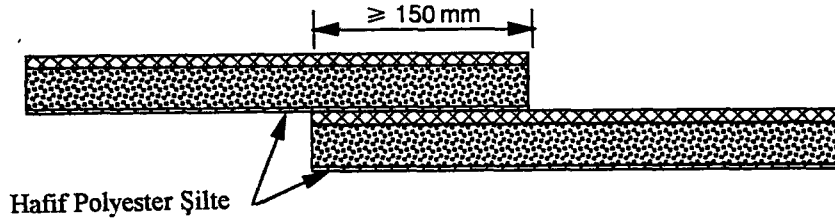
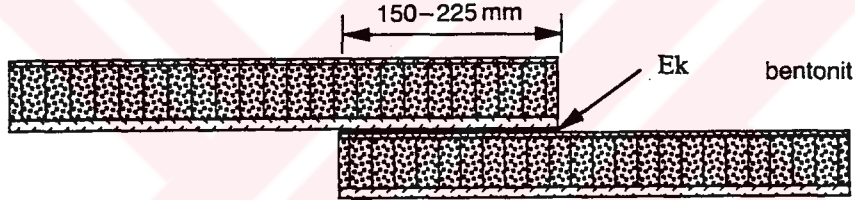
Kil hasırı, bentonit hasırı, bentonitli kil şilte, yapay kil örtü, yapay kil şilte gibi kavramlar bu malzemeyi anlatmak için kullanılagelmiş, son zamanlarda geosentetik kil şilte terimi genel bir kabul görmüş ve kullanılmaya başlanmıştır.

5.4.1 Geosentetik Kil Şilte Çeşitleri

Şu anda dört çeşit geosentetik kil şiltenin seri üretimi yapılmaktadır. Bentofix®, Bentomat®, Claymax® ve Gundseal ticari adlarıyla satılan bu ürünlerin anatomisi Şekil 5.9'da belirtilmiştir. Geosentetik kil şilteler genelde iki farklı yapıya sahiptirler:

1- Bentofix®, Bentomat®, Claymax® tipi geosentetik kil şiltelerde, iki geotekstil arasında bentonit tabakası bulunmaktadır.

2- Gundseal tipi geosentetik kil şilte ise yapışkan (adesif) bir maddeyle karıştırılmış bentonitin, geomembranın bir yüzüne yapıştırılmasıyla üretilmektedir.

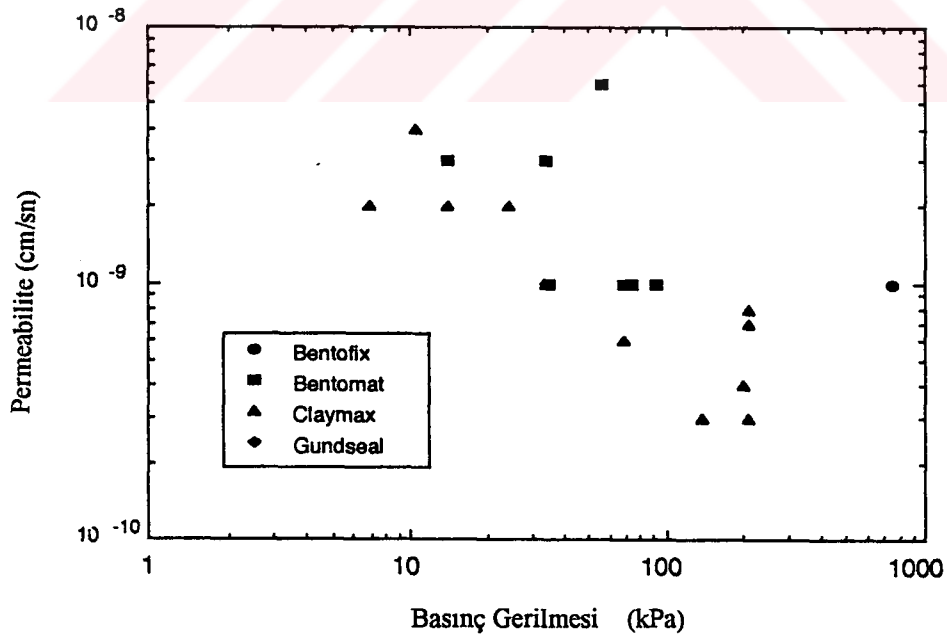


Şekil 5.10 Geosentetik Kil Şiltelerin Birleştirilmesi

Geosentetik kil şiltelerin hemen hepsinde, her santimetrekarelik kısım içerisinde yaklaşık 5 kg bentonit bulunmaktadır. Malzemeler 4-5 m. genişliğinde, 20-30 m. uzunluğunda paneller halinde üretilmektedir.

Ürün fabrikada rulo biçiminde sarılıp, uygulanacağı alana getirilmekte, rulosu açılan geosentetik kil şilte yerine serilerek işlem tamamlanmaktadır. Bütün geosentetik kil şilte panelleri, uçlarından birbirlerine bağlanarak alan kaplanmalıdır. Malzeme panelleri birbirlerine doğal olarak yapışma özelliğine sahiptir (Şekil 5.10). Eğer su bu aralıklara sızar ve geçmeye çalışırsa, geosentetik kil şiltede bulunan doğal bileşen kil şişerek, üst üste gelen kısımların kapanmasını sağlamaktadır. Hiçbir mekanik bağlantı yapmaya gerek duyulmadığı için, geosentetik kil şiltelerin çok pratik ve hızlı bir uygulanabilirliğe sahip oldukları belirtilmektedir.

Geosentetik kil şiltelerin yerleştirilmesinin ardından, ivedilikle üzerlerinin kapatılması gerekmektedir. Aksi takdirde geosentetik kil şilte ıslanabilecek, kil kısım istenmeyen biçimde şişecek, kendinden yapışmayı sağlayacak mekanizma işleyemez duruma gelebilecektir. Kısaca, yağmurlu havalarda geosentetik kil şilte yerleştirmemeli ve malzemeler açıkta bırakılmamalıdır.



Şekil 5.11 Geosentetik Kil Şiltelerin Basınç Altında Permeabilite Davranışları

5.4.2 Geosentetik Kil Şiltelerin Mühendislik Özellikleri

Geosentetik kil şilteler üretildikleri fabrikaların laboratuvarlarında, bağımsız denetim ve standartlaştırma birimlerince yapılan deneylerle kontrol edilmektedirler. Söz konusu kurumlar, permeabilite deneylerini "flexible-wall permeameter (esnek duvarlı permametre) üzerinde, belli efektif gerilme dilimleri altında yapmaktadır. Geomembrana bentonit kili yapıştırılarak üretilen, Gundseal tipi geosentetik kil şilteler üzerinde, belirli artımlarla delikler açılarak deneyler gerçekleştirilmektedir. Belirtilen deneylerden derlenen bilgiler, Şekil 5.11'da sunulmuştur [20]. Numunelerin, üzerlerindeki basınç kuvvetine bağlı olarak, suya karşı permeabilitelerinin 1×10^{-10} ile 1×10^{-8} cm/sn arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Bir karşılaştırma yapmadan önce, farklı basınç ve çevresel koşullar altında değişken deneysel ortamlar oluşacağı, toplanacak bilgilerin homojen olmayabileceği unutulmamalıdır.

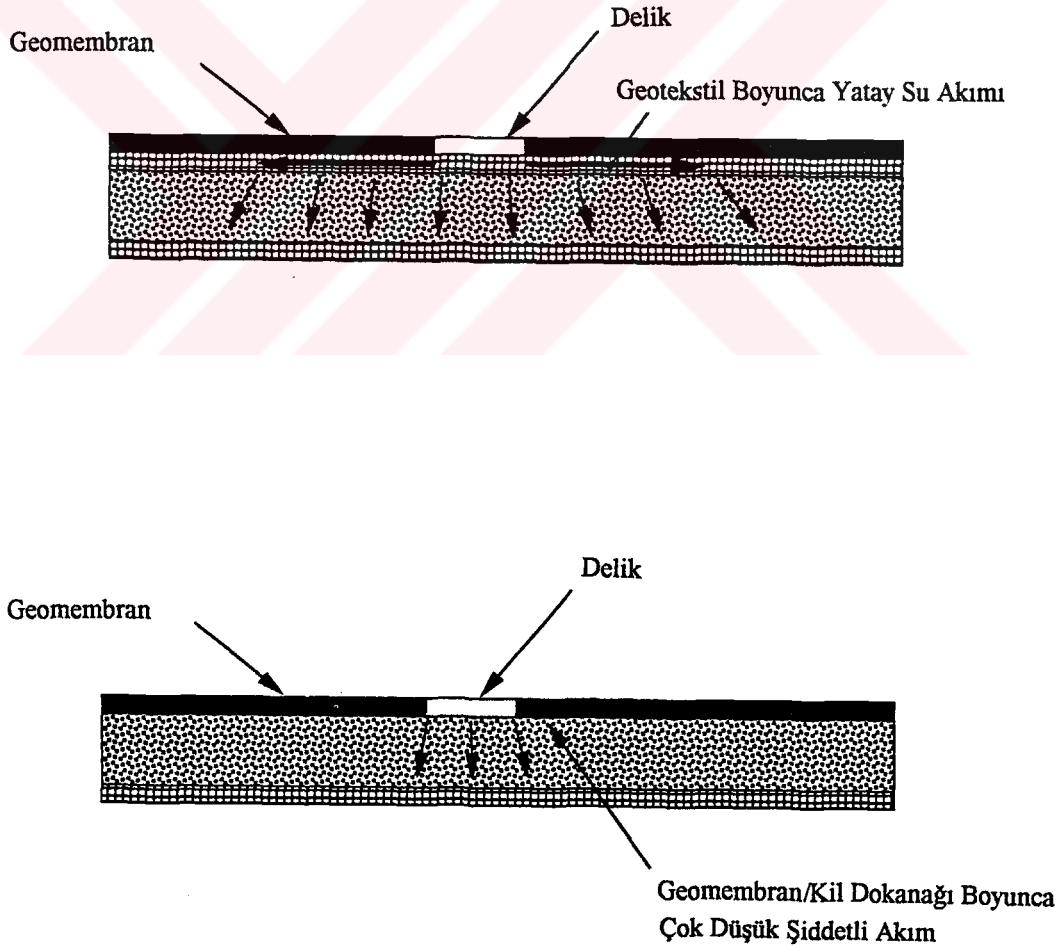
Bir başka araştırmada geosentetik kil şilteler monoblok ve üst üste kapanarak birleştirilmiş katmanlar oluşturulmuştur. Tabakalar bir takım tankların içine yerleştirilmiş ve deneylere tabi tutulmuştur. Araştırmacı suyla doldurulan tanklardan sızan su miktarını denetleyerek, malzemenin drenaj oranlarını belirlemeye çalışmıştır. Bulunan drenaj oranlarının, monoblok kontrol numuneleri ve diğer birleştirilmiş numunelerde birbirlerine çok yakın ve neredeyse aynı olduğunu saptamıştır [20]. Bu araştırmaya göre geosentetik kil şiltelerin kendiliklerinden yapışmalarının, yeterince sağlam ve uygun durumda gerçekleştiği ileri sürülmüştür.

Geosentetik kil şiltelere, farklı bileşimlere sahip kimyasallar yedirilerek, bazı sızma deneyleri de yapılmıştır. Deneylerde, kimyasalın ortama girişinden hemen önce, bentonitin suyla doyunlaştırılması durumunda, geosentetik kil şiltelinin olası, olumsuz etkiye karşı permeabilitesini koruduğu gözlenmiştir [25]. Eğer bentonit kısım suyla doyun duruma gelmeden, kimyasal ile karşılaşılırsa permeabilitenin zamanla azaldığı belirlenmiştir. Kısaca bünyesine aldığı suyun etkisiyle şişen bentonit, dokusunu geçirimsizlik oluşturacak biçimde yapılandırmaktadır. Tasarımcı, ortamın hidrasyon koşullarını dikkatlice belirleyerek, olası kritik koşullarda meydana gelebilecek işlevsel eksiklikleri giderebilmelidir.

Geosentetik kil şiltelerin delinerek zarar görmeye, kurumaya, donma/çözülme mekanizmalarının tekrarlanmasına karşı tepkileriyle ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Laboratuvar koşulları altında, çoğunlukla iyi hidrate olmuş durumlarda küçük delinmelerin, şişen bentonit tarafından kapatıldığı saptanmıştır. Kuruma sonucu küçük çatlaklar oluştuğu, ama tekrar nemlenme sonucu bu çatlakların neredeyse kapandığı

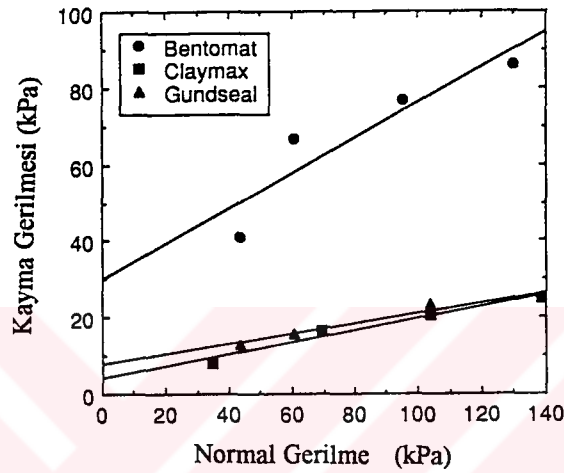
gözlenmiştir. Donma/çözülme salınımlarının, geosentetik kil şiltenin performansını fazla etkilemediği izlenmiştir. Bentonitin çok yüksek şişme kapasitesine sahip olması, bu tür kusurların geosentetik kil şiltenin kendisi tarafından giderilmesini sağlamaktadır.

Geosentetik kil şiltelerin, kompozit malzemelerle aynı ortamda nasıl davranacakları konusunda da bazı çalışmalar yürütülmüştür. Geniş tanklar içinde yapılan deneylerde geotekstil, geomembran, geonet ve kil kullanılmıştır. Araştırmalar serbest drenaja yatkın geotekstilin, geomembranla dokanak halinde bulunduğu durumlarda, geomembranda buluna delikten sızacak olan akımın geotekstil düzlemi boyunca yayılacağını göstermiştir. Geomembranın kil ile dokanak yaptığı kompozit durumlarda aynı olumsuzluğun meydana gelmediğini, delik çevresinde akımın yatay bir düzlem boyunca yayılamayıp, noktasal kaynağın etrafında durdurulduğu saptanmıştır (Şekil 5.12). İyi hidrolik dokanaklar oluşturduğunda, kompozit elemanların ideale yakın geçirimsizlik gösterecekleri öne sürülmektedir.



Şekil 5.12 Geomembran ve Geosentetik Kil Şilte Arası Kompozit Birimlerin Hidrolik Davranışı

Geosentetik kil şilteler üzerinde, drenajlı direk kesme deneyleri de yapılmıştır. 60 mm. çaplı dairesel numuneler hazırlanmış, normal gerilme altında doygunlaştırılan numuneler yavaşça kesilmiştir. Göçme zamanını tespit için ayrı ayrı drenajlı konsolidasyonlu gerilme deneyleri yapılmıştır. Tipik olarak süreler 4-8 gün bulunmuştur. Buna rağmen rezidüel davranışın saptanabilmesi için deney dört hafta boyunca sürdürülmüştür [20]. Toplanan veriler Şekil 5.13'de sunulmuştur.



Şekil 5.13 Doygun Durumdaki Geosentetik Kil Şiltelerin Drenajlı Doğrudan Kesme Verileri

Geosentetik kil şiltelerin günümüzde, çifte şilte sistemlerinin kil bileşeni ve katı atık depolama tesislerinin yüzeysel örtü tabakası olarak iki önemli kullanım alanları vardır. Artık geosentetik kil şilteler tek başlarına hidrolik engel tabakaları ve örtüler olarak tasarımcılar tarafından kullanılır ve tavsiye edilir duruma gelmişlerdir.

5.4.3 Geosentetik kil şiltelerin fayda ve sakıncaları

Geosentetik kil şilteler, sıkıştırılarak hazırlanmış kil şiltelerin alternatifi olarak ortaya çıkmışlardır. Bu yüzden geosentetik kil şiltelerin, sıkıştırılmış kil şiltelere karşı üstünlükleri araştırılarak, karşılaştırma yapmaya çalışılmalıdır.

Bu karşılaştırmaların derlendiği Tablo 5.1 aşağıda verilmiştir. Geosentetik kil şiltelerin, en önemli faydaları arasında, hafif olmaları, basit ekipmanlar ve işgücüyle kolay uygulanabilirlikleri, kuru uygulanmaları nedeniyle kurumanın neden olabileceği olumsuzluklardan uzak bulunmaları, konsolidasyon oturması yapmadıkları için bünyelerinden ortama su yayılmaması sayılabilecektir.

Tablo 5.1 Geleneksel Sıkıştırılmış Kil Şilteler ile Geosentetik Kil Şiltelerin Karşılaştırması

SIKIŞTIRILMIŞ KİL ŞİLTE (CCL)	GEOSENTETİK KİL ŞİLTE (GCL)
• Kalın (0.6-1.5 m.) • Arazide yapılır • Tasarımdaki öngörölmüş koşulları sağlamk zordur • Delinmesi imkansızdır • Ağır ekipmanlarla inşa edilir • Her alanda özel zemin etüdları yapılması gerekir • Alana özgü zemin parametreleri bilinmelidir • Yüksek çöpsuyu sızıntısı ve kimyasal emme kapasiteleri olabilir • Diğerlerine kıyasla daha uzun kirlenme ömürleri vardır • Kalın oldukları için çok hacim kaplarlar • Maliyetleri oldukça değışken ve yüksektir • Zeminin çekme mukavemeti düşüktür • Kuruyabilir ve Çatlayabilir • Onarımı oldukça zordur • Donma-çözölme döngüsünden kolayca zarar görebilir • Şiltenin Performansı Kaliteli İnşa Edilmiş olmasına Bağlıdır • İnşaatı nispeten yavaş gerçekleşir	• İnce (Genelde 10 mm. den küçük) • Prefabrike üründür • Tasarıma uygun inşası oldukça kolaydır (GCL Topu açılır ve araziye yaydırılır) • Tahribi ve Delinmesi mümkündür • Hafif inşaat makinaları ile inşa edilebilir • Tekrarlı arazi deneyleri ve uzun süreli etüdlar yapılması gerekmez • Prefabrike ürün olduğu için özellikleri belirlidir • Düşük çöpsuyu sızıntısı ve kimyasal emme kapasiteleri vardır • Diğerlerine kıyasla daha kısa kirlenme ömürleri vardır • İnce oldukları için az hacim kaplarlar • Maliyetleri belirli ve nispeten düşüktür. • Yüksek çekme mukavemetleri vardır • İslanmadıkları sürece çatlakları olmaz • Onarımları çok basittir • Donma-çözölme döngüsünden zarar görmesi oldukça zordur • Geosentetik Kil Şiltenin Hidrolik Özellikleri İnşaat Kalitesine karşı duyarlı değildir • İnşası oldukça hızlı ve pratiktir

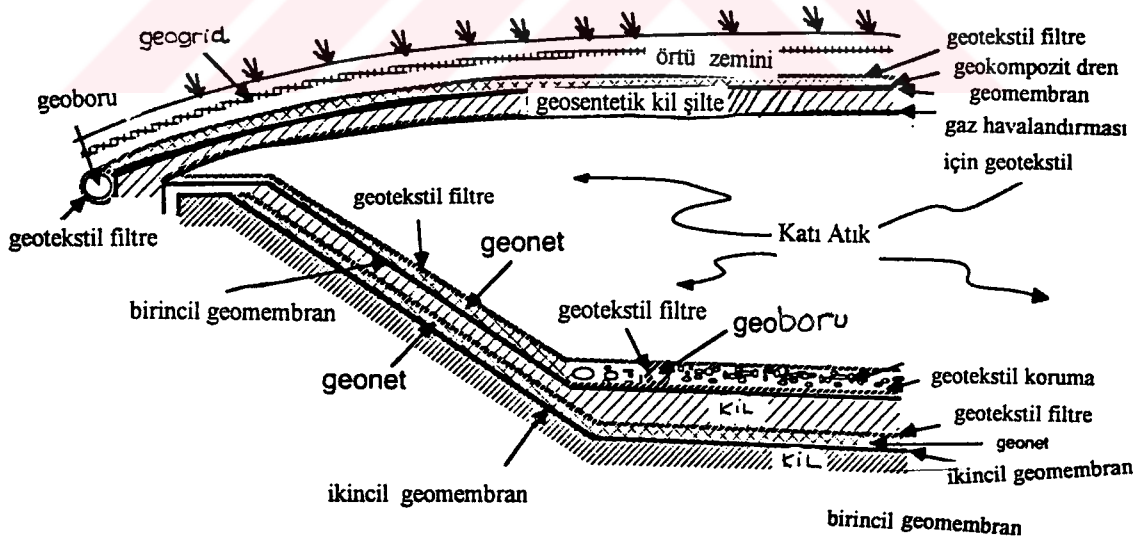
Bununla birlikte geosentetik kil şiltelerin, bilinen en önemli sakıncaları ise, yeni olan bu konudaki tecrübe birikiminin yetersizliği, ince olanların delinme sonucu kolay yaralanabilir olması, kompozit çalışma ortamlarında belirsiz davranışlar göstermeleri, kalın doğal tabakalara kıyasla daha az çöpsuyu sızıntısını bünyelerine çekebilmeleri ve doygun bentonitin stabilitesindeki belirsizlikten kaynaklanmaktadır.

Geosentetik kil şilte ve sıkıştırılmış kil şiltelerin çeşitli fayda ve sakıncaları olduğu belirtilmiştir. Mühendis karşı karşıya bulunduğu problemin, özgün şartlarını iyi bilebildiği oranda, yerinde seçimlerle hangi kil şilte sistemini kullanacağını seçmeye çalışmalıdır.

5.5 Geomembran Şilteler

Amerikan malzeme deneyleri kurumu (ASTM), geomembranı şöyle tanımlamaktadır: İlgili geoteknik mühendisliği malzemeleri ile bir arada, insan yapısı proje, yapı ve sistemlerde sıvı hareketlerini kontrol amacıyla, düşük permeabiliteli engel ve tecritler oluşturmak için kullanılan yapay, sentetik membranlara geomembran denir. Geomembranlar sıvılar ve buharın geçmesini engellemek için ulaştırma ve çevre mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geomembranların üretim teknolojisi, ilk kez 1930 larda yüzme havuzlarının altına yerleştirilen polivinil klorür (PVC) şiltelerin kullanılmasından bu yana oldukça büyük gelişmeler kaydetmiştir. Geomembranlar, geosentetiklerin ilk örnekleri olarak geoteknik mühendisliğinde kullanılmaya başlanmıştır. Geomembranlar önceleri dolgu barajların geçirimsiz zonlarının takviyesinde, istinat yapılarında, tünel ve altyapı tesislerinin sudan tecrit edilmesi işlerinde, en son ise çevre geotekniğinde katı atık depolama tesislerinin, şilte sistemlerinde kullanılmışlardır. Çevre geotekniğinde geomembranların yalnız başlarına kullanılmadıkları, kompozit sistemlerin elemanları oldukları hatırlanmalıdır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Şilte ve Örtü Sisteminin Bulunduğu Bir Tesisin En Kesiti

5.5.1 Çevre Geotekniğinde Mühendisliğinde Geomembran Kullanımı

Son yıllarda yapılan araştırmaların birleştikleri önemli bir nokta olan, katı atık depolarının bünyesinde oluşan sıvıları yeraltına aktarmalarının olabildiğince çok azaltılması gerekliliği, yasal düzenlemeleri yapan kuruluşlarca da benimsenmiştir. Şiltelerin güçlendirilmesinde alternatif malzeme olarak önerilen geomembranlar, gelişmelere paralel olarak yasal düzenlemelerde de yerini almış ve yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Permeabilitelerin araştırıldığı çalışmalarda, kil malzemenin değişik organik/inorganik çözeltilere karşı sudan daha çok duyarlı olduğu ve hidrolik iletkenliğinde artımlar saptandığı belirtilmiştir. Yapılan deneylerin çoğunda % 100 lük konsantrasyonlarda çözeltiler ve sabit-duvarlı permeametre kullanılmış olmasına rağmen, sözkonusu artımların, dolaylı etkilerinin önemli boyutlarda sorunlar oluşturabileceği kaydedilmiştir.

USEPA Temmuz 1992'de yayımladığı düzenlemeyle, katı atık depolama ve biriktirme tesislerinde kullanılan geomembranlı kompozit şiltelerin, kil şiltelerden daha güvenilir çöpsuyu sızıntısı kontrolü temin ettiklerini belirtmiştir. Düzenlemenin devamında, USEPA yüklenicilere ve tasarımcılara zorunluluk getirmemekle beraber, özellikle tehlikeli atıkların depolanacağı tesislerde geomembranlı kompozit şilte kullanmalarını önermektedir (Şekil 5.14).

5.5.2 Geomembran Çeşitleri

Günümüz teknolojisiyle, üç farklı polimer esaslı hammadde (termoset elastomerler, termoplastikler ve bitümler) kullanılarak geomembranlar üretilmektedir. Termoset elastomerler kullanılarak üretilen geomembranların, panel bağlantılarının yapılmasında zorluklar çıktığı için çevre geotekniğinde kullanılmamaktadır. Bitümlü geomembranlar Kuzey Amerikada oldukça seyrek, Batı Avrupa ülkelerinde özellikle Fransa'da belli oranlarda kullanılmaktadır. Kısaca en yaygın kullanılan geomembranlar, termoplastik esaslı olanlardır. Termoplastik geomembranlar ısı işlemlere yatkınlıkları sebebiyle, ergitilip tekrar dondurulduklarında kilin tiksotropi özelliğine benzer biçimde başlangıçtaki davranış durumlarına dönebilmektedirler. Saptanılan özellik kaybı, ihmal edilebilir düzeylerde gerçekleşmektedir. Termoplastik geomembranların yaygın kullanılan bazıları aşağıda sıralanmıştır [26]:

- Yüksek yoğunluklu polietilenler (HDPE),
- Çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE),
- Klorine polietilen (CPE),
- Klorosülfona polietilen (CSPE),
- Polivinil klorür (PVC),
- Etilen interpolimer alaşım (EIA), PVC ile beraber dokunarak güçlendirilmiş

halde kullanılmaktadır.

5.5.3 Geomembranlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Yöntemleri

ASTM 1985 de, zemin ve kaya alt komitesinin D18.20 kodlu geçirimsiz engellerle ilgili çalışma grubunun araştırma alanı içinde kalan geomembranlara özellikle ilgilenilmek üzere, D35 kodlu çalışma grubunu oluşturmuş. Böylece, ilk kez ABD'de geomembranlarında dahil olduğu yeni adı, D35 geosentetikler komitesi olan araştırma grubu kurularak, ülke genelinde kalite kontrolü ve standartlaştırma için ilk adımlar atılmıştır. Komitenin görevi, belli bir inşaat malzemesinin özellikleri çerçevesini çizerek, standartlaştırmaktır. Buna ek olarak, üretimin tescil edilmesi suretiyle, olası ekonomik ve işlevsel kayıplar azaltılabilmektedir. Plastik, lastik, çatı kaplama ve su kanalları ile ilgili ASTM komisyonları da geomembranlar için standartlar yayımlamışlardır. Kullanımdaki amaç önceliği göz önüne alınmalıdır. Fiziksel, mekanik, termal özelliklerin nasıl bulunacağı kimyasal ve biyolojik dayanımının nasıl ölçüleceği ASTM yayınlarında ayrıntılı ve yeterli şekilde tanımlanmıştır.

5.5.4 Geomembranların Mekanik Tasarımı

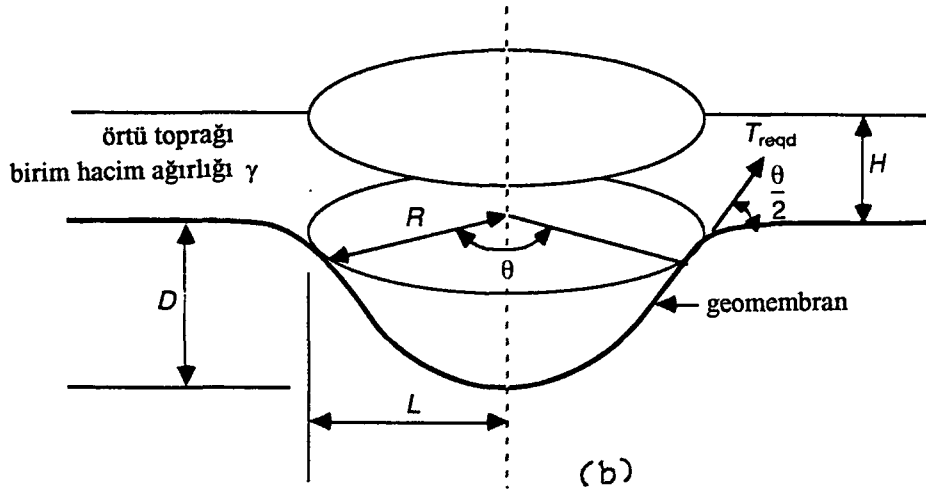
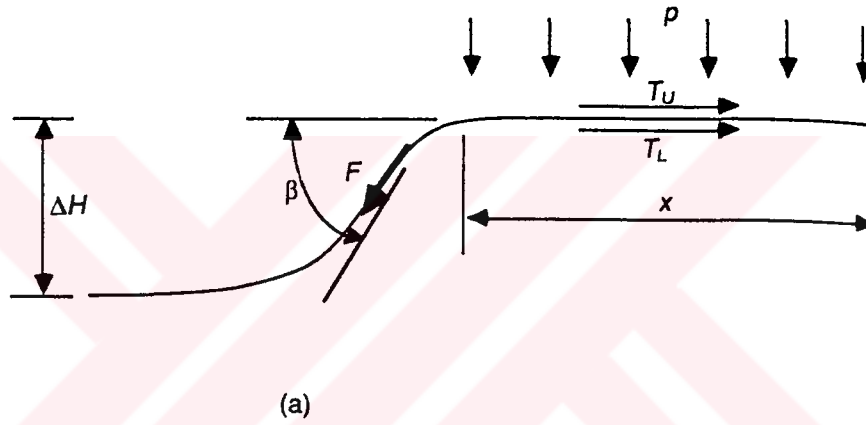
Geomembranla mekanik tasarım için ASTM, USEPA, ETC, BS vb. kurumlar ve üretici firmalar kılavuzlar yayımlamışlardır. Tüm tasarım felsefelerinin anafikrinde olduğu gibi burada da öz, kabul edilebilir durumun, tasarımdaki durumdan belli bir güvenlik katsayısı kadar uzakta bulunması gerektiğidir. Bu geleneksel görüş aşağıdaki denklemle ifade edilebilecektir:

$$\text{Güvenlik katsayısı} = \frac{\text{Kabul edilebilir özellik (Deneysel)}}{\text{İstenen özellik (Tasarım)}} \quad (5.2)$$

Geomembranların mekanik tasarımı, deneylerle toplanabilen veriler ışığında, farklı model ve işlevselliği göre yapabilmektedir. Bunlardan önemli olanlar aşağıda verilmiştir:

- (a) Eğilme momentine bağlı, kalınlık tasarımı,
- (b) Oturma etkisine bağlı mukavemet tasarımı,
- (c) Dengesiz kayma gerilmesine bağlı ankraj tasarımı.

Her duruma ait serbest cisim diyagramları Şekil 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Sağlaması istenilen tasarım denklemleri kısaca aşağıdaki gibidir:



Şekil 5.15 Değişik Geomembran Tasarımları İçin Serbest Cisim Diyagramları
(a) Eğilme Momentine Bağlı Kalınlık Tasarımı, (b) Oturmaya Bağlı Dayanım Analizi

Eğilme momentine karşı kalınlığı bulmak için:

$$t_{\text{reqd}} = \frac{p x}{\cos \beta \sigma_{\text{allow}}} (\tan \delta_u + \tan \delta_L) \quad (5.3)$$

$$F.S = \frac{t_{\text{act}}}{t_{\text{reqd}}} \quad (5.4)$$

oturma için dayanım:

$$\sigma_{\text{reqd}} = \frac{2 D L^2 p}{3 t (D^2 + L^2)} \quad (5.5)$$

$$F.S = \frac{\sigma_{\text{allow}}}{\sigma_{\text{reqd}}} \quad (5.6)$$

Çekme gerilmesi için:

$$T_{\text{reqd}} = [(C_a U + C_a L) + p \cos \omega (\tan \delta_u - \tan \delta_L)] L W \quad (5.7)$$

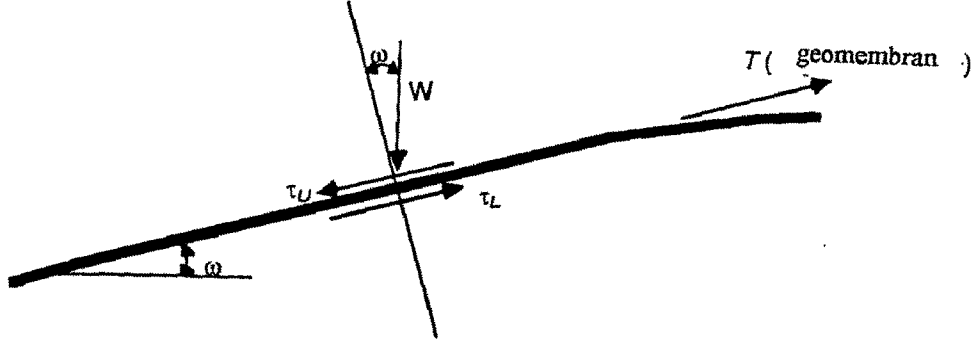
$$F.S = \frac{T_{\text{allow}}}{T_{\text{reqd}}} \quad (5.8)$$

ankraj tasarımı için:

$$\sigma_{\text{allow}}(t) = p \tan \delta (L_{RO}) + 2(K_O \sigma_{\text{lave}})(\tan \delta)(d_{AT}) \quad (5.9)$$

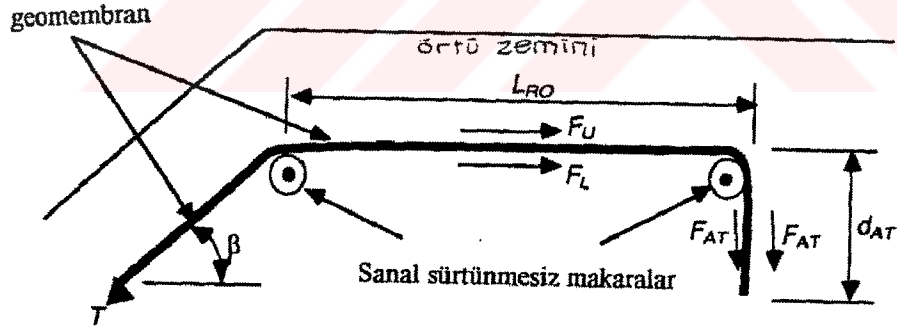
Burada L_{RO} ve d_{AT} için kapalı çözümler yapılmış ve uygun çarpanla arzu edilen güvenlik katsayısı sağlanmıştır. Yukarıdaki tasarım denklemleri ve serbest cisim diyagramı Koerner'in çalışmalarından alınmıştır [26]. t = geomembran kalınlığı, P =

mobilize basınç, mesela atığın tüm ağırlığı , σ_{allow} = Müsaade edilen geomembran gerilmesi.



(c)

$$\begin{aligned}\tau_U &= c_{aU} + (W \cos \omega) \tan \delta_U \\ \tau_L &= c_{aL} + (W \cos \omega) \tan \delta_L\end{aligned}$$



(d)

Şekil 5.16 Değişik Geomembran Tasarımları İçin Serbest Cisim Diyagramları
(c) Dengesiz Kesme Etkisi Altında Dayanım Tasarımı, (d) Gömülmeye Bağlı Ankraj Tasarımı

Yukarıdaki hesaplamalarla bulunan, güvenlik katsayıları için, kalınlık, gerilme, mukavemet, vb. deneysel değerlerin malzemenin arazideki davranışını yansıtmaması

gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, bazı özel laboratuvar deneylerince tespit edilen güvenlik katsayısı değerlerinin kullanılması gerekmektedir.

Geomembranlarla sürekli ortamlar oluşturulması için panellerle birleştirilmesi gerekmektedir [27]. Paneller ergitme kaynağı, termal füzyon veya yapışkan solüsyonlar yardımıyla bağlanabilmektedirler. Nasıl bir çelik yapıda birleştirme için kaynak işlemi ve kaynakçının yaptığı oldukça önemliyse, aynı şey geomembranların birleştirilmesi işinde de geçerli olmaktadır. Geomembranlı şiltelerin en önemli işlevsel bozuklukları, birleşme dikişlerindeki süreksizlikler boyunca görülmektedir. Yaygın kullanımı olan bazı yöntemler Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.2 Geomembrandan Paneller Oluşturulurken Uygulanan Çeşitli Dikiş Metodları

Dikişle Birleştime Metodları	Geomembran Tipleri						
	HDPE	VLDPE	CPE	CPE-R	CSPE-R	EIA-R	PVC
Ergitme Dolgusu	P	P	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ergitme Kaynağı	P	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Sıcak Hava	S	P	S	S	S	P	S
Oksijen Kaynağı	P	P	S	S	S	P	S
Solvent Kimyasalla	n/a	n/a	S	S	S	n/a	P
Özel Tutkalla	n/a	n/a	P	P	P	n/a	P
Solvent Adesifle	n/a	n/a	S	S	S	n/a	S

Not: P = Birincil Kullanılan Yöntem; S = İkincil Kullanılan Yöntem; n/a= Kullanılmayan yöntem

Geomembranların uygulandığı sahalardan örselenmemiş bağlantı numuneleri alınmalı ve tahribatsız laboratuvar deneyleri ile incelenmelidir. Her uygulamada karşılaşılabilecek değişik olumsuzlukların, böyle deneyler yardımıyla saptanmasına çalışmak yerinde olacaktır. Geomembran bağlantı dikişleri üzerinde yapılagelmiş ve yapılmakta olan bazı deneyler Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Tahribatsız Geomembran Dikiş Deney Yöntemlerine Genel Bir Bakış

Tahribatsız Deney Yöntemi	Birincil Kullanıcı Taraf				Genel Yorumlar				
	İnşaat Yüklenicisi	Proje Tasarlayan Mühendis	Bağımsız Gözlemci	Ekipmanın Ücreti	Deneylerin Hızları	Deneylerin Ücretleri	Sonuç Tipleri	Kayıt Tutma Yöntemi	Deneyin Operatörden Etkilenmesi
Basınçlı Hava	evet	-	-	200 \$	hızlı	-	evet-hayır	manuel	çok yüksek
Çekme Deneyi	evet	-	-	-	hızlı	-	evet-hayır	manuel	çok yüksek
Elektrik Kablosu	evet	evet	-	500 \$	hızlı	-	evet-hayır	manuel	yüksek
Çifte Dikiş (Pozitif Basınç)	evet	evet	-	200 \$	hızlı	orta	evet-hayır	manuel	düşük
Vakum Odası (Negatif Basınç)	evet	evet	-	1000 \$	yavaş	yavaş	evet-hayır	manuel	oldukça yüksek
Ultrasonik Yankı	-	evet	evet	5000 \$	orta	yüksek	evet-hayır	otomatik	ortalama
Ultrasonik Engel	-	evet	evet	7000 \$	orta	yüksek	kalitatif	otomatik	bilinmiyor
Ultrasonik Gölge	-	evet	evet	5000 \$	orta	yüksek	kalitatif	otomatik	ortalama
Elektrik alanı	evet	.	evet	20000 \$	yavaş	yüksek	evet-hayır	manuel/	düşük
Akustik Algılama	evet	evet	evet	1000 \$	hızlı	-	evet-hayır	otomatik	ortalama

5.5.5 Geomembranların Yeni Kullanım Alanları

Katı atık depolama tesislerinin geliştirildiği günümüzde, geomembranların kullanımında artışlar beklenmektedir. Artan dünya nüfusu, su kaynaklarının çok değerlendirilmesine sebep olmuştur. Bu durum varolan su kaynaklarının korunması gerekliliğinin önemini vurgulamaktadır. Bu nedenle, depolama rezervuarlarına ve yüzeysel biriktirme kanallarına duyulan ihtiyaç artmıştır. Suyun nakli için gerekli, iletim hatlarında oluşacak su kaçaklarının, çevreden kirleticilerin suya karışmasının engellenmesi gerekmektedir. İçilebilir tatlı su kaynaklarının çok değerli olduğu açıktır. Bu kaynakların atmosferik ve çevresel etkilerden korunması gereklidir. Son uygulamalarda geomembran saydam örtülerin bu kaynakların üzerine yayılarak asit yağmurları, vb. etkilerden korunmasına yönelik çalışmalar gözlenmektedir.

Hızla artan endüstrileşme, atıkların işlenmek üzere santrallere toplanması için, atık iletim kanallarının yapımı ve kullanımını gündeme getirmiştir. Aynı oranda gelişen çevre duyarlılığı, olası etkilerin azaltılabilmesi için geomembran teknolojisinde ilerlemeler sağlanmasının gerekliliği olduğunu vurgulamaktadır.

BÖLÜM 6

SIZINTI TOPLAMA VE UZAKLAŞTIRMA SİSTEMLERİ

6.1 Toplama ve Uzaklaştırmanın Gerekliği

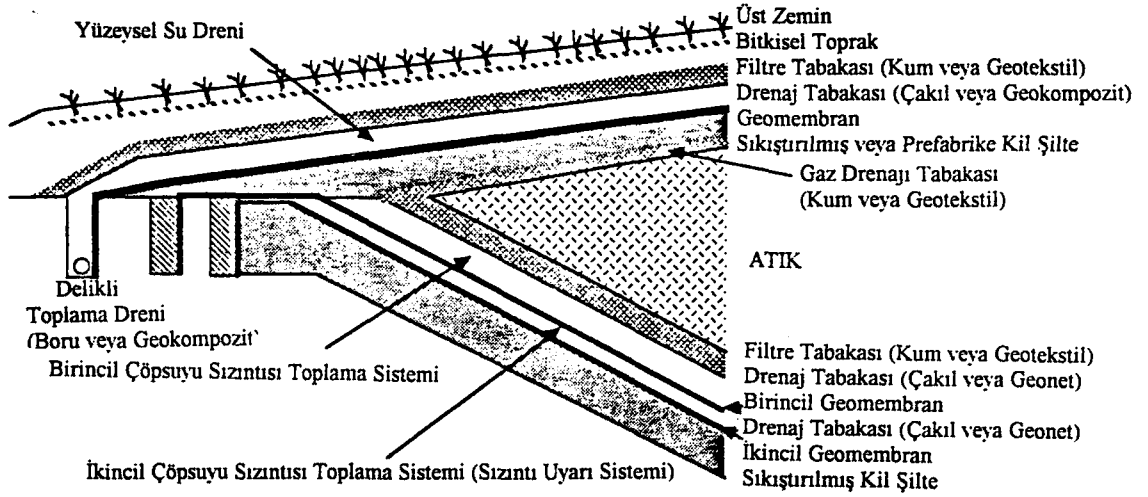
Bir katı atık depolama tesisin başarılı olarak çalışabilmesi, tesisin atık depolama ünitesi içinde oluşacak çöpsuyu sızıntısını toplayabilecek, uygun şekilde dağıtılabilecek yada uzaklaştırılabilecek sistemin bulunması ve çalışması oranında gerçekleşecektir.

Burada atıklardan oluşan sıvıların yönetimi kavramından söz etmek yerinde olacaktır. Bu kavram, atık içinde zamanla oluşacak çöpsuyu sızıntısının dağılmadan toplanması, uzaklaştırılması ve yeterli temizleme işlemine sokulmasının aşamalarını ve planlaması işini anlatmaktadır.

Sıvı genelde atmosferden yağış halinde yeryüzüne düşmektedir. Katı atık depolama tesislerinde ise atığın kendi iç tepkimeleri sonucu serbest kalan çöpsuyu biçiminde dolguda bulunabilmektedir. Çöpsuyunun boşluklardan sızması ve zamana bağlı davranışı, özelliklerine bağlı olarak değişik biçimlerde olmaktadır [4].

Tesise atığın yerleştirilmesinin ardından, çöpsuyu sızıntısı yerçekimi doğrultusunda, birincil toplama sistemiyle karşılaşana kadar süzülecektir (Şekil 6.1). Bu birincil tabaka, genellikle çakıldan oluşan bir drenaj tabakasını, kum yada geotekstilden oluşan filtreyi içermektedir. Çöpsuyu sızıntısının yerçekimsel akımı drenaj malzemesinin içine doğru olmalıdır. Drenaj tabakası suyu, birikeceği kuyuya doğru iletmeli, biriken su dalgıç pompanın yardımıyla menholden veya geniş çaplı borulardan toplanmalıdır. Drenaj ve filtre tabakaları, biriktirme çukuru, çekme menholü, boru sistemi -birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sisteminin- parçalarını oluşturmaktadır (Kısaca PLCRS de denmektedir.).

Bazı hallerde katı atık depolama tesisleri, çifte şilteye sahip olabilmektedir (Örneğin birincil ve ikincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemlerinde). İkincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemleri iki tabaka arasında bulunmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Katı Atık Depolama Tesisinde -Sıvıların Yönetimi- Anlayışıyla Yerleştirilmiş Değişik Drenaj Tabakalarından Oluşan Sistem

İkincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemlerine, genelde sızıntı kaçağı erken uyarı tabakası veya drenaj izleme tabakası da denilmektedir. İlk kısmı geomembrandan oluşmakta, diğer geçirimli kısımları çakıl veya geonet olabilmektedir. Eğer birincil sızıntı suyu toplama sistemi, kompozit malzemeden inşa edilmişse, ikincil kısımda geonetler ve filtre ayırıcı tabakalar yapılmalıdır. Doğal şiltelerin kullanıldığı hallerde kum ve filtre için çakıldan tabakalar oluşturmak, homojen ortam ve uyumlu çalışma temin etmek için gerekmektedir.

Birincil tabakayı aşabilen çöpsuyu sızıntısı yerçekimi etkisiyle düşey doğrultuda süzülmesi ve toplanıp uzaklaştırılacağı alana doğru hareket etmesi sağlanmalıdır. İkincil kısma sızacak su miktarı nispeten düşük olacağından, uzaklaştırma boruları küçük çaplı seçilebilecektir (Bu ikincil sızıntı suyu toplama sistemine tasarımda kısaca SLCRS denmektedir.).

Atığın üzerini atmosferden ve yağışla sızacak sudan ayıran bir yüzeyel örtü tabakası bulunmaktadır (Örtü Sistemi). Yüzey sularının toplanması ve drenajını sağlayacak bu kısım, geçirimsizlik temini için örtülen geomembran tabakası ile birlikte bir çeşit kapak görevi görecektir, yüzeyel örtü sistemi oluşturmaktadır. Drenaj için çakıldan veya geo-kompozit yaprak drenaj tabakaları yapılabilir. Tüm drenaj tabakalarının üzeri, altta bulunan yapının korunması için yeterli kalınlıkta kumla ve/veya geotekstil serilerek kaplanmalıdır. En üste örtü toprağı yayılarak,

uyumlandırma ve bitkisel örtü tabakası oluşturulması sağlanabilmektedir. Drenaj tabakası malzemesi olarak çakıl kullanılan durumlarda filtre tabakasının kum yada geotekstilden, geokompozitle yapıldığı durumlarda sadece geotekstilden oluşturularak homojenliğinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Drenaj tabakasına sızan yüzey suları, yerçekimi etkisiyle uç birikme noktalarında toplanmaktadır. Oradan delikli borular yardımıyla geokompozit uç drenlere iletilen su, doğal yeraltısu sistemine bırakılmak üzere uzaklaştırılmaktadır. Drenaj, filtre ve uzaklaştırma sistemlerinden oluşan bu kısma -yüzey suyu toplama ve uzaklaştırma sistemi- denmektedir (kısaca SWCRS da denmektedir.).

Katı atık depolama tesisinin içinde oluşan gazların atılması ve havalandırma yapılması da gerekmektedir [28]. Dolgu içinde oluşan gaz üst kaplamada yer alan geomembranın altındaki drenaj tabakasında cepler biçiminde toplanmaktadır. Bu toplanmanın yol açabileceği tehlikeler büyük olmaktadır. Gazın birikmesini engellemek için, uygun toplama ve havalandırma sistemi kurulmalıdır. Kumdan veya kalın geotekstillerden oluşturulacak drenaj tabakalarıyla gazın toplanması sağlanmalıdır. Drenaj tabakası boyunca birikerek yükselen gaz, kil/geomembran engelin altında yığılabilmektedir. Biriken gazların uygun aralıklarla açılan deliklerde kurulan havalandırma bacalarıyla, dışarıya atılması sağlanmalıdır.

Yukarıda anlatılan dört ana kısımdan oluşan sıvı/gaz toplama ve uzaklaştırma sistemlerinde görev alan doğal zeminden malzemelerin en önemli alternatiflerinin geosentetik ürünler olduğu unutulmamalıdır [15]. Teknik şartnameler ve yönetmelikler, zeminin görevini eşdeğer olarak yürütebileceklerinin gösterilebilmesi durumunda geosentetiklerin kullanılabileceğini belirtmektedirler. Doğal malzemelerle, geosentetik alternatiflerinin pratik ve ekonomik özellikleri arasında yapılan bir karşılaştırma Tablo 6.1'de derlenmiştir.

Yapılan maliyet karşılaştırmaları geosentetiklerin, doğal zeminden malzemelere üstünlükleri sebebiyle iyi birer alternatif olabileceklerini göstermektedir. Araştırmalar çok kalın çakıl, kum veya kil tabakalar yerine daha ince geosentetik elemanların, sadece düşey kesitte kazandırdıkları alanın çok değerli olduğunu göstermiştir. Örneğin atık depolama birim fiyatının 10 USD/kN olduğu bir eyalette (ABD'de), 30 cm.lik çakıl drenaj tabakası yerine 7 mm.lik geonet kullanımının sağladığı hacımsal kazancın 20 ha.lık alan için 2.000.000 USD olduğu saptanmıştır.

Tablo 6.1 Doğal Malzemelerle, Geosentetik Malzemelerin Genel Karşılaştırması

Tip	Faydaları	Sakıncaları
Drenaj Malzemesi		
Boru (Delikli)	Genel ve Sık Kullanım Geleneksel Tasarım Hızlı İletkenlik Tıkanmaya karşı dayanıklı	Düşeyde Çok Yer Kaplar Akma Deformasyonu Filtreye İhtiyaç Duyar
Zemin (Çakıl)	Genel ve Sık Kullanım Geleneksel Tasarım Dayanıklı	Düşeyde Çok Yer Kaplar Yavaş İletkenlik Noktasal Tıkanma, Biyolojik Tıkanma Filtre Zeminine Gerekir Yük Altında Kıpırdar
Geonet	Düşey Hacimden Yer Kazandırır Hızlı İletkenlik Tıkanmaya karşı dayanıklı Kıpırdamaz	İçeri Sokulur Akma Deformasyonu Geotekstil Filtre Gerekir Yeni Teknoloji
Geokompozit (Yaprak Dren veya Uç Dren)	Düşey Hacimden Yer Kazandırır Hızlı İletkenlik Tıkanmaya karşı dayanıklı Kıpırdamaz	İçeri Sokulur Akma Deformasyonu Geotekstil Filtre Gerekir Oldukça Yeni Teknoloji
Filtre Malzemesi		
Zemin (Kum)	Genel ve Sık Kullanım Geleneksel Tasarım Dayanıklı	Düşeyde Çok Yer Kaplar Noktasal Tıkanma, Biyolojik Tıkanma Yük Altında Kıpırdar
Geotekstil	Düşey Hacimden Yer Kazandırır Kolay Yerleştirilir Kıpırdamaz	Noktasal Tıkanma, Biyolojik Tıkanma Yeni Teknoloji

6.2 Çöpsuyu Sızıntısı Drenajının Hidrolik Özellikleri

Yüksek miktarda akım geçirebilen geonet,-sheet drain-geokompozitler ve uç dren geokompozitlerde oluşan akımın laminar koşulları sağlamadığı saptanmıştır [29]. Bu nedenle geleneksel Darcy kanununa ait, permeabilite ve hidrolik özelliklerin tasarımında kullanılamayacağı öne sürülmüştür. Türbülanslı akım koşullarının geçerli olduğu bu durumlarda, bilinen hidrolik eğim altında akım oranının açıkça belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Önce değişik drenaj tasarımlarında uygulanmak üzere, malzeme düzlemi boyunca akım kabulü yapılmıştır (Şekil 6.2a). Eğer geotekstil

kullanılacaksa veya zemin ortamında olduğu gibi laminar akım koşulları geçerliyse, aşağıdaki bağıntılar geçerli olabilecektir:

$$q = K i A = K i (W \times t) = (kt) i W = (\theta) i W$$

$$Q^t = q / W = \theta i \quad (6.1)$$

q = Akım oranı,

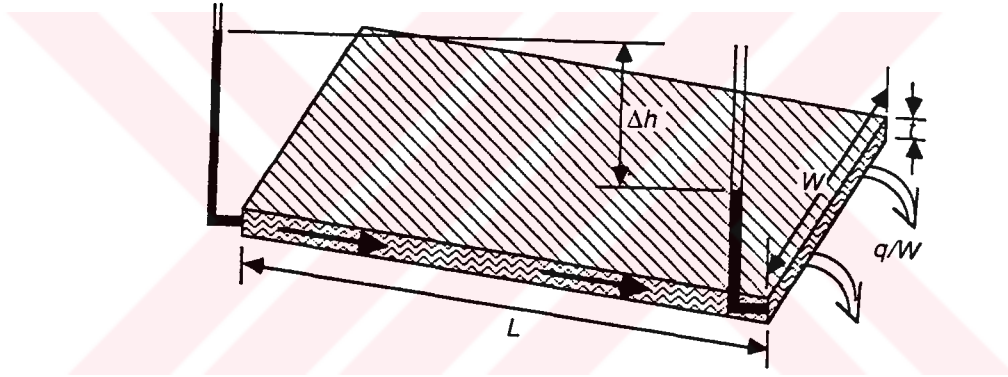
Q^t = Birim genişlik için akım oranı,

k = Permeabilite katsayısı,

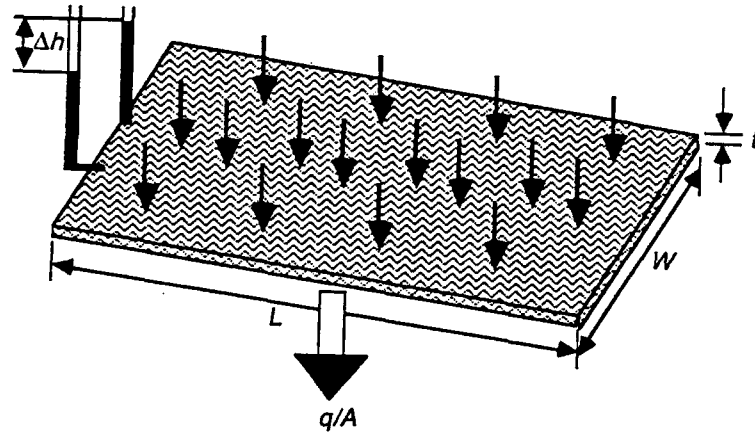
i = Hidrolik eğim

W, L, t = Değişik geometrik büyüklükler

$\theta = (kt)$ = Geçirgenlik



(a)



Şekil 6.2 (a) Malzeme Düzlemi Boyunca, (b) Malzeme Düzlemine Dik Akım Kabulü ile Drenaj Ağı Tasarımı

Eğer hidrolik eğim birim değerde ise, birim genişlik için akım oranı, Q^1 ile transmissivity, θ eşit olmaktadır. Eğer akım, geonet veya geokompozit ortamda türbülanslı olarak gerçekleşiyor, ancak bununla birlikte belirli hidrolik eğim ve normal gerilmeler altında ortamın çerçevesi belirli ise, doğrudan birim genişlik için akım oranı olan, Q^1 ile çalışılabileceği belirtilmiştir.

Tasarımın sızma ile ilgili kısmında, akımın malzeme düzlemine dik olarak geçtiği varsayılmıştır (Şekil 6.2b). Kum veya geotekstilden oluşan filtre tabakasında genellikle laminer akımlar olduğu için, doğrudan Darcy kanunlarından yararlanılabileceği öne sürülmüştür.

$$q = k i A = k A \Delta h / t = \Delta h A k / t \quad (6.2)$$

$$k/t = q / \Delta h A \quad (6.3)$$

$$Q^{11} = \Psi (\Delta h) \quad (6.4)$$

Q^{11} = Birim alan için akım oranı

Ψ = İletimlilik

Eğer laminar akımın koşullarından emin olunamıyorsa, permittivity, Ψ veya hacimsal akış gözönüne alınarak, sadece birim alan için akım oranı, Q^{11} ile çalışılabileceği kaydedilmiştir.

Bu hidrolik tanımlamalar kullanılarak, geleneksel güvenlik katsayısı yaklaşımıyla tasarım yapılabilecektir.

Drenaj Problemleri için:

$$F.S = \frac{Q^1_{\text{allow}}}{Q^1_{\text{reqd}}} = \frac{\theta_{\text{allow}}}{\theta_{\text{reqd}}} \quad (6.5)$$

F.S = Güvenlik katsayısı

Q^1 = Birim genişlik için akım oranı

θ = Geçirgenlik

Sızma için:

$$F.S = \frac{Q^{II}_{allow}}{Q^{II}_{reqd}} = \frac{\Psi_{allow}}{\Psi_{reqd}} \quad (6.6)$$

F.S = Güvenlik katsayısı

Q^{II} = Birim alan için akım oranı

Ψ = İletimlilik

Yukarıdaki bağıntılarda izin verilen değerler, uygunluğu kabul edilmiş deneylerden alınmalıdır. Bu konuda ASTM standartlarıyla yapılmış, güvenilir ve kabul edilebilen sınırlar içiresinde kalan verilerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir [30].

ASTM'ye bağlı D18 zemin ve D35 geosentetik komitelerinin, malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin standartlaştırılması çalışmalarıyla çerçevesi belirlenen kurallar ve yöntemler dizgesi, dünya genelinde uygulanmaktadır. Atık depolama tesisleri tasarımında karşılaşılan çöpsuyu ve diğer sızıntı problemlerinin çözümü için, kullanılacak parametrelerin tesbitinde yararlanılabilecek deneylerin bulunduğu bazı standartlar aşağıda belirtilmiştir:

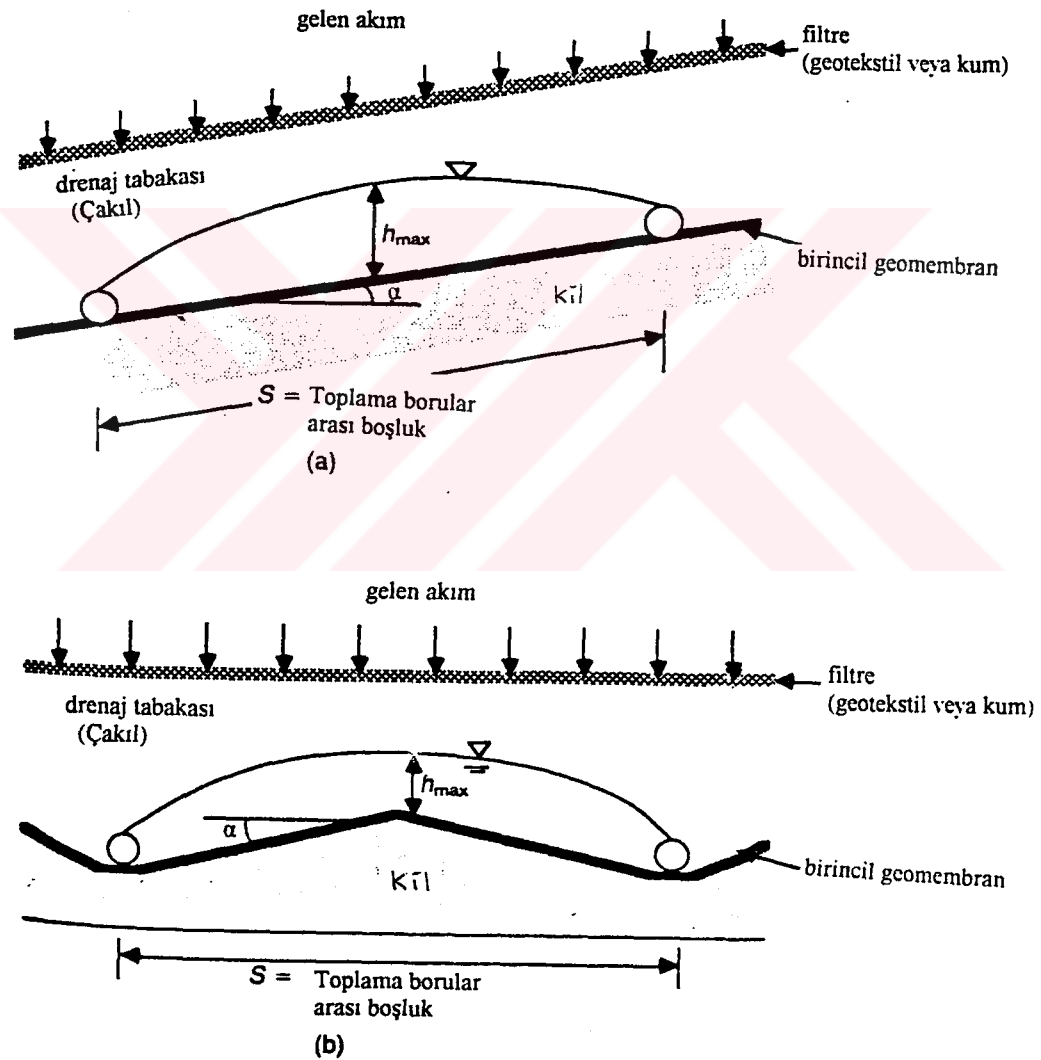
- D2434 zeminin permeabilitesi
- D2412 plastik borunun mukavemeti
- D4716 geosentetiğin geçirgenlik si
- D4491 geosentetiğin İletimlilik
- D4751 geotekstilin görünen boşluk boyutları

6.3 Birincil Çöpsuyu Sızıntısı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi (PLCRS)

Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemi Şekil 6.3'de gösterildiği gibi birincil geomembranın üzerinde yer almakta ve genellikle çakıldan oluşturulan drenaj tabakası, delikli bouldardan oluşan çöpsuyu sızıntısı toplama sistemi, uzaklaştırma sistemi ve koruyucu filtre tabakasından oluşmaktadır (Kısaca PLCRS'de denmektedir.)

6.3.1 Drenaj Koşulları

Katı atık depolama tesisinde, her bir hücrenin inşaatının ardından, Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemi ilkin bir çeşit construction dewatering system gibi hizmet vermeye başlamaktadır. USEPA 1985'te yayımladığı tehlikeli atık depolama için minimum teknoloji kılavuzunda birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemleri için aşağıdaki bazı özelliklerin sağlanması gerektiğini bildirmiştir[14]:



Şekil 6.3 Toplama Boruları Arası (a) Uniform Şev, (b) Engebeli Şev Olması Halinde Borular Arası Boşluğun Bulunması İçin Yapılan Tasarım Modeli

- Tabaka kalınlıklığı en az 30 cm. olmalı,
- Permeabilite değeri, 0,01 cm/sn yada daha yüksek tutulmalı,
- Şev eğimleri, % 2 veya daha büyük olmalı,
- Uzaklaştırma sistemi delikli borularla yapılmış olmalı,
- Drenaj zemini altında uygun filtre tabakası bulunmalı,
- Tabakalar sistemi, tüm taban ve yamaçları kapsayacak şekilde inşa edilmelidir.

Kılavuzun yayınlandığı tarihte, geokompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşmamış olduğu unutulmamalıdır. Bu düzenlemelere uyularak, katı atık depolama tesislerinin inşası sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, özellikle sürtünmesi düşük geomembranlar üzerinde kum, çakıl malzemeyle şevlerin oluşturulamamasından kaynaklanmaktaydı. Pek çok uygulamada kayma problemleri ile karşılaşıldığı belirtilmektedir. Kaymanın önlenmesi ve stabil yüzeyler oluşturulabilmesi için yapılan bazı öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Şev eğimi olabildiğince yatık tutulabilir.
- Sürtünmeyi artırmak için pürüzlü yüzeyi olan geomembranlar kullanılabilir.
- Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemini, (PLCS) geogrid ve geotekstil ile kaplayarak çakıl ve kumun döküleceği yüzey güçlendirilebilir.
- Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemini (PLCS) aşamalı yükselme ile hücreye atık konuldukça drenaj tabakası yapılabilir.
- Yamaç şevlerinde, geokompozit yaprak dren veya geonet kullanılarak, birincil çöpsuyu sızıntısı toplama sistemi (PLCS) oluşturulabilir.

6.3.2 Toplama Koşulları

Drenajda kullanılacak tabaka malzemesi ve kompozisyonunun tasarımında, minimum değerlerin üzerinde kalınması için bazı tasarım modelleri üretilmiştir. Bu modellerden biri Şekil 6.3'te verilen koşullara göre aşağıda olduğu gibi tanımlanmıştır [31]:

$$h_c = \frac{S\sqrt{c}}{2} \left(\frac{\tan^2 \alpha}{c} + 1 - \frac{\tan \alpha}{c} \sqrt{\tan^2 \alpha + c} \right) \quad (6.7)$$

h = Toplama boruları arasındaki maksimum çöpsuyu sızıntısı yüksekliği

S = Toplama boruları arası boşluk uzaklıkları

a = Borular arasındaki hakim topografik eğim

c = q/k [boyutsuz]

q = sızma yoğunluğu

k = Drenaj tabakasındaki çakıl veya blok malzemenin permeabilitesi

Bu formülasyonda, en önemli değişkenin, q olduğu belirtilmiştir. Birincil şilte sisteminin kurulmasının hemen ardından, Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sisteminin inşaat kurutma sistemi olarak çalışmaya başlamalıdır. Burada sızma yoğunluğu veya akım oranının en yüksek değeri ve yerel meteorolojik koşulların kullanılması gerektiği unutulmamalıdır.

Tablo 6.2 Çöpsuyu Sızıntısı İletecek Boruların İçyüzeylerinin, Pürüzlülüklerini Temsil Edecek Olan Manning Katsayıları

Boru Yüzeyinin Tipi	Temsili -n- Değeri
Elyaf, Cam veya Plastik	0,010
Ahşap veya Dökme Beton	0,013
Prizini Almamış Beton, Demir Döküm Borular, İyi Sıralanmış Tuğla Duvar	0,015
Kaynaklı yada Spiral Çelik Boru	0,017
Pürüzsüz, Düz ve Uniform Toprak Kanallar	0,022
Oluklu Kanallar, Tipik Kanallar, Kararlı ve Sakin Yataklı Akarsular	0,025
Karasız ve Yatakları Karışık Malzemeli Akarsular	0.035

Sonra, boru boyutları veya çapı saptanmalıdır. Genellikle çaplar, Manning denklemi ile aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Birimler SI'dır):

$$V = \frac{1}{n} R_H^{0,66} S^{0,50} \quad (6.8)$$

V = Akım hızı

A = En kesit alanı

R_H = Hidrolik yarıçap = (akım alanı / ıslak çevre) = D/4 (akım geçiren borular için)

D = Boruların iç çapı

S = Boru hattının eğimi

n = Manning'in pürüzlülük katsayısı (boyutsuz)

Yukarıdaki denklemde kullanılan n , katsayısının tipik değerlerini gösteren Tablo 6.2 aşağıda verilmiştir. PVC ve HDPE gibi polimer esaslı borularda n katsayısı, diğer döküm rijit borulara kıyasla düşük olabilmektedir.

Boru şebekesinin yük taşıma kapasitesi, kontrol altında tutulmalıdır. Bunun için genellikle Iowa denklemi (Bağıntı 6.9) kullanılmaktadır.

$$\Delta X = \frac{D_L K W_c}{(EI/r^3)(0,061 E^1)} \quad (6.9)$$

ΔX = Borunun çapındaki değişim, yatay deplasman.

D_L = Şekil değiştirme faktörü (1-1,5)

W_c = Birim boru uzunluğuna düşen prizma yükü

K = Yataklanma katsayısı (0,83-1.10)

E = Borunun malzemesinin elastisite modülü

I = Borunun malzemesinin eylemsizlik momenti

r = Borunun ortalama çapı

E^1 = Zemin tepkisi modülü

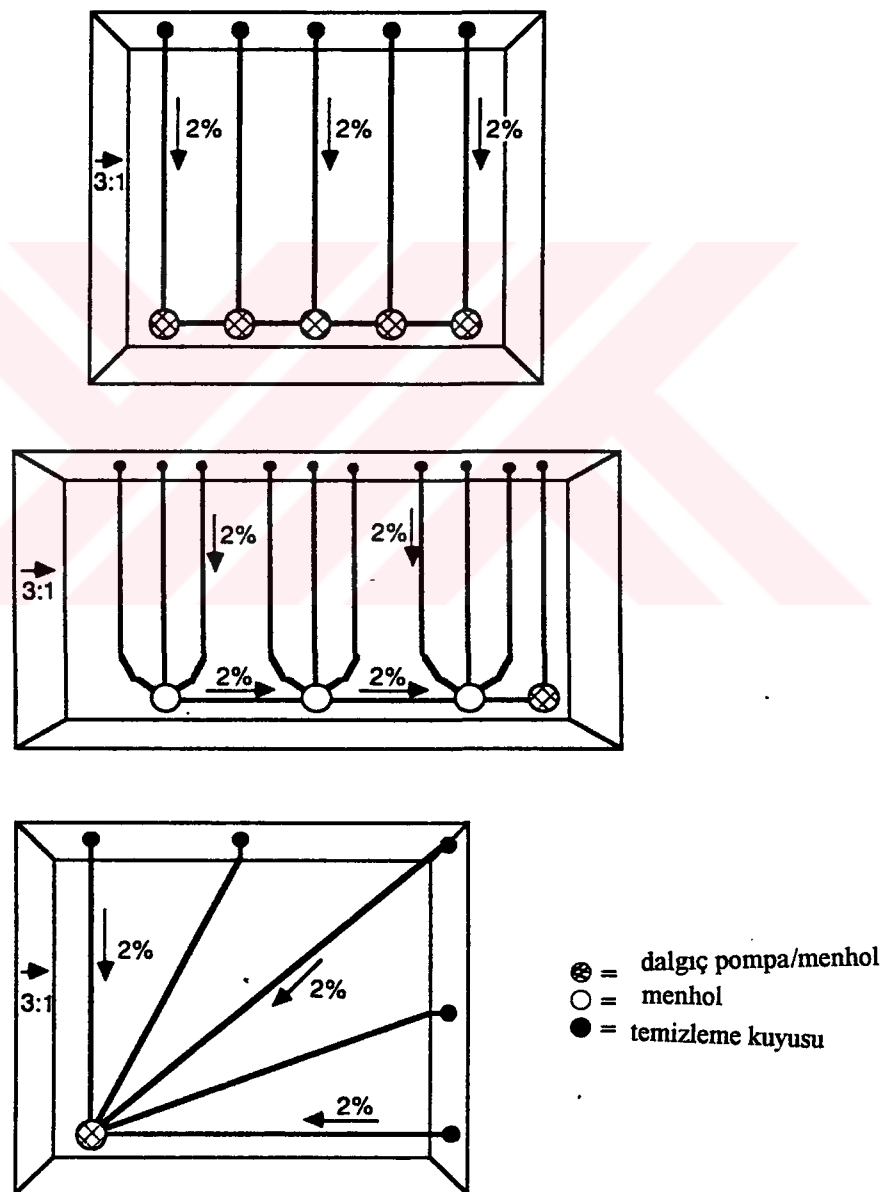
Bu denlemde W_c değeri, borunun üzerindeki atık ağırlığına göre, E^1 ise USBR'nin yayımladığı tablolardan alınabilmektedir. Yatay şekil değiştirmenin, düşey kısalmaya yakın olduğu ve boru çapının % 5'i civarında olduğu varsayılmaktadır. Plastik boruların limit şekil değiştirmesinin, rijit borulardakinden daha fazla olabileceği unutulmamalıdır.

6.3.3 Uzaklaştırma Koşulları

Hücrelerin altında farklı biçimlerde toplama ve uzaklaştırma şebekelerinin kurulması tasarlanabilmektedir (Şekil 6.4). Şebekelerin, hemen hemen tamamı yerçekimsel drenajla çöpsuyu sızıntısını bir hat yada noktaya toplamaktadır. Ardından nokta pompajla menholler vasıtasıyla uzaklaştırma gerçekleştirilmektedir. Uzaklaştırma sistemlerinin yapıları, aşağıdaki gibi çok farklı olabilmektedir [32].

- Atığın içinde düşey yönde yükselen menholler ile uzaklaştırma.
- Yamaç şevlerindeki geomembran hattının tam üstüne doğru yükselen boruların uçlarından çöpsuyu sızıntısının çekilmesi.

- Katı atık depolama tesisi altında, her bir hücre grubunun şilteleri boyunca eğimli boru şebekesi oluşturularak yapılmış bir uzaklaştırma sistemi gibi.



Şekil 6.4 Çöpsuyu Sızıntısı Uzaklaştırmak İçin Kullanılabilecek Üç Sistem

6.3.4 Filtrasyon Koşulları

USEPA, Minimum teknoloji kılavuzunda çöpsuyu sızıntısı toplama için oluşturulan çakıllı drenaj kısmının üstünde, en az 15 cm. kalınlıkta filtre tabakası oluşturulması gerektiği belirtilmiştir [30]. Filtre tabakası hücredeki atığın niteliği ve alttaki drenaj zeminine göre seçilmelidir. Geleneksel zemin filtresi tasarımlarında kullanılan bir bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$\frac{d_{15}(\text{filtrenin})}{d_{85}(\text{zeminin})} \leq 4 \text{ ila } 5 \leq \frac{d_{15}(\text{filtrenin})}{d_{15}(\text{zeminin})} \quad (6.9)$$

Delikli borular etrafında tasarlanacak filtreler için amaerikan ordusunca önerilmiş bazı tasarım kriterleri aşağıdaki gibidir:

yarıklı borular için,

$$\frac{d_{85}(\text{filtrenin})}{\text{yarık kalınlığı}} \geq 1,2 \quad (6.10)$$

delikli borular için

$$\frac{d_{85}(\text{filtrenin})}{\text{delik çapı}} \geq 1,0 \quad (6.11)$$

Filtre tabakalarında geotekstil kullanımının ekonomik ve efektif olmaları sebebiyle yaygınlaştığına daha önce değinilmişti. Geotekstillerle tasarım yapılırken dikkat edilecek bazı kurallar aşağıda belirtilmiştir:

zemin dayanımı için :

$$O_{95} < (2-3) d_{85} \quad (6.12)$$

yeterli permeabilite için

$$F.S = \frac{\Psi_{\text{allow}}}{\Psi_{\text{reqd}}} \quad (6.13)$$

O_{95} = % 95 geotekstilde oluşan açılmaların boyutu

Ψ_{allow} = Geotekstilin iletkenliği (ASTM D4491)

Ψ_{reqd} = Her sızan sıvının, beklenen iletkenliği

6.3.5 Filtre Tabakasının Tıkanması

Birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemleri katı atık depolama tesislerinin en önemli parçalarıdır. Bu kısımların tipik servis ömürleri 30-40 yıl seçilmektedir. Bu süre içerisinde tesisteki hücrelerin tamamlanmasının ardından, sistemde tıkanma riskine karşı yeterli önlem alınmalı ve periyodik kontroller yapılmalıdır. Tıkanma, çöpsuyunun boruların içinde korozyon etkisiyle tortular bırakmasından, biyolojik mikroorganizmalardan, vb.den dolayı olabilmektedir [32].

6.4 İkincil Çöpsuyu Sızıntısı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi (SLCRS)

İkincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemi, birincil ve ikincil şilte sistemleri arasında, meydana gelebilecek sızıntıların erken uyarıyla tespitini sağlamak için yer almaktadır. Oluşabilecek sızıntı, uzaklaştırma menhollerine doğru toplanacak ve periyodik kontrollerle sistemin yeterliliği denetlenebilecektir.

6.4.1 Drenaj Koşulları

Aynı birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemlerinde olduğu gibi USEPA'nın yayınladığı tehlikeli atık tesisleri için minimum teknoloji kılavuzunda aşağıdaki koşulların sağlanması istenmiştir.

- En az 30 cm. kalınlıkta olmalıdır.
- 0,01 cm/sn yada daha yüksek permeabilite değeri ne sahip olmalıdır.
- Tüm tesisin tabanı ve yamacını kaplamalıdır.

İkincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemine gelebilecek çöpsuyu sızıntısının miktarının, birincil çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemine oranla oldukça düşük olacağı saptanmıştır. Sistemde doğal malzeme kullanıldığı takdirde, üstteki PLCRS de karşılaşılan yamaç şevi ve boru döşenmesi problemleri ile karşılaşılmaktadır.

6.5 Yüzeysuyu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi (SWCRS)

Depolamanın tamamlanmış olduğu katı atık tesisleri geçici veya sürekli şilte sistemleriyle kaplandıktan sonra, yüzeysel akışın tesise girmesini engellemek ve akış rejimini düzenlemek için yüzeysuyu toplama ve uzaklaştırma sistemi oluşturulmalıdır [28]. Tesisin içindeki drenaj ağının ve geçirimsizlik sağlayacak kısımların düşük akım oranlarına cevap verebilecek biçimde tasarlandığı, yüksek debilerle zorlanmanın beklenen işlevselliğin karşılanamamasına sebep olacağı unutulmamalıdır.

6.5.1 Drenaj Koşulları

Drenaj sözkonusu olduğunda, genellikle USEPA'nın yayınladığı tehlikeli atık tesisleri için minimum teknoloji kılavuzundaki koşulların sağlanması istenilmektedir [30].

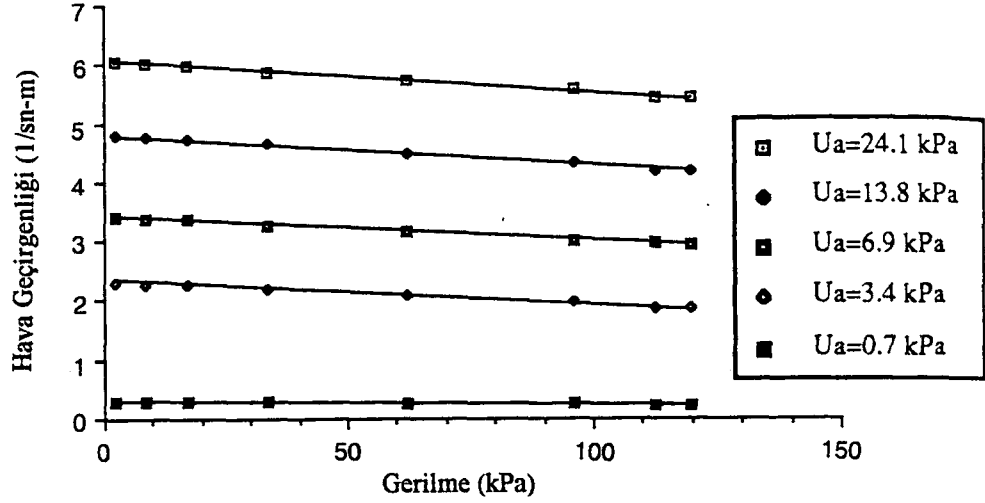
- En az 30 cm. kalınlıkta olmalıdır.
- 0,01 cm/sn yada daha yüksek permeabilite değerine sahip olmalıdır.
- En çok % 3'lük yüzey eğimi

Yüzeysel drenaj için genelde doğal malzemelerin kullanımı yaygın olmaktadır. Yüzeyde yer alan sistemin 30 cm.den az olamayacağı şartı geokompozitlerin kullanılmamasına sebep olmuştur. Bununla beraber, dış etkilere doğrudan maruz kalacak olan bir tabakanını, kalınca yapılmasının uygun olacağı belirtilmektedir. Ayrıca geomembran üst örtünün stabilitesi için üzerinde yeterince ağır bir tabakanın bulunması gerekmektedir.

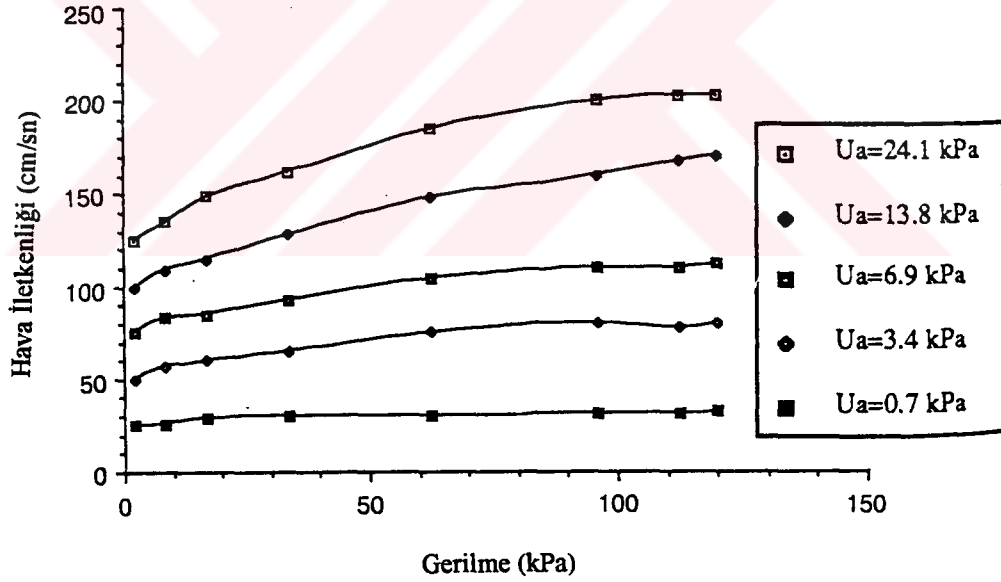
6.6 Metan Gazı Toplama ve Uzaklaştırma Sistemi

Atığın depolama tesisine yerleştirilmesi ve örtü tabakasıyla kaplanmasının ardından, içeride meydana gelen anaeorobik bozulmalardan dolayı çeşitli gazlar oluşmaktadır. Genelde rastlanılan en tipik gazlar arasında karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) olduğu belirtilmiştir. Havadan ağır olan karbondioksit, tesisin dibindeki şilte tabakasına çökmekte ve buradan çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma ağıyla dışarı atılmaktadır. Ancak, havadan hafif olan metan, tesisin içinde kendine bulduğu boşluklardan süzülerek yükselmektedir. Metan gazı zehirli olup, yüksek basınçlar altında patlayabilme özelliğine sahiptir. Üstteki geomembranın, hemen altına biriken metan gazının alınması gerekmektedir [30]. Üst örtünün en yüksek kısmına yığılan

metan gazı, uygun bir gaz toplama sistemiyle atmosfere serbest bırakılabileceği gibi enerji üretilen güç santrallerine götürülmek üzere biriktirilebilmeside söz konusudur.



(a)



(b)

Şekil6.5 600 gr/m² Yoğunluklu Dokuma Olmayan Delikli Geotekstilde, Normal Gerilmeler Altında Yapılmış (a) Hava Geçirgenliği, (b) Permeabilite Deneyleri [28]

Atıktaki kimyasallarda gazlar ve buharlar yayabilmektedirler. Bunlarında havalandırmayla atılması gerekmektedir. Konuyla ilgili detaylı şartnameler

bulunmamakla beraber, geleneksel güvenlik katsayısı kuralıyla tasrı yapılabilmektedir:

$$F.S = \frac{Q^1_{allow}}{Q^1_{reqd}} \quad (6.14)$$

Doğal malzemenin içinde gaz akımı, çöpsuyu sızıntısı akımından yaklaşık bin kat daha kolay olmaktadır. Gazın toplanmasının sağlayacak zemin tabakaları 15-30 cm. kalınlıkta seçilebilmektedir. Eğer geotekstilden gaz drenajı sistemi yapılacaksa, atığın gaz akımı karakteristikleri iyi bilinmelidir. 600 gr/m² yoğunluklu dokuma olmayan delikli geotekstil üzerinde, hava geçirgenliği ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar (Şekil 6.5) de verilmiştir [28]. Burada verinin, ortama giren gaz oranı ve uygulanan normal gerilmeye duyarlı olduğu görülmüştür.

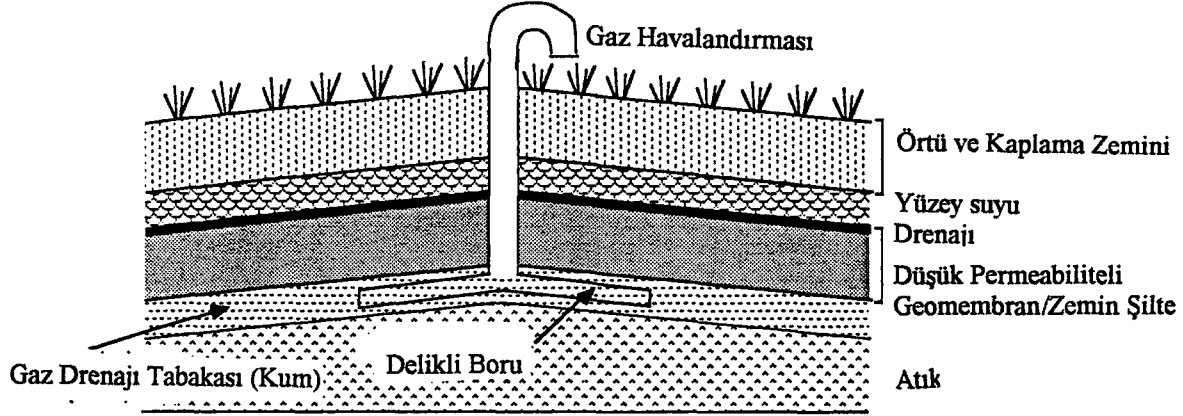
Sağlanması istenilen akım oranı ise, katı atık tesislerinde yapılan ölçümlerden alınmaktadır. Beklenen 0,27- 0,77 m³/km dolayında olmuştur.

Gazların doğal çözünmesi, bozulması ve atmosfere ayrışarak dönmesi ile ilgili uzun süreli analizlerde şu sonuçlar bulunmuştur:

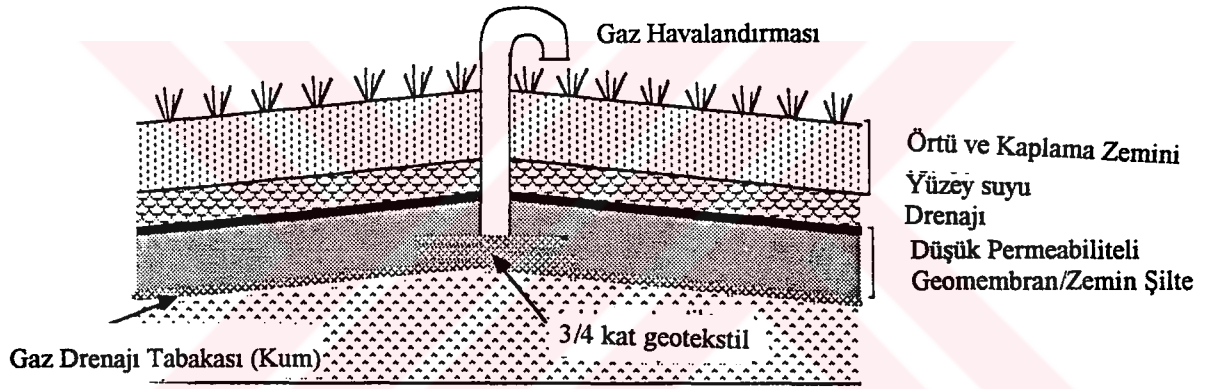
% 50 bozulma için gerekli süre (yarılanma ömrü) = 23 yıl	
% 90,5 bozulma için gerekli süre	= 80 yıl
% 99,1 bozulma için gerekli süre	= 160 yıl

Bozulmanın uzun sürede gerçekleşmesi, gazın toplanması ve uzaklaştırılmasının, tesisin performansını doğrudan ve oldukça fazla etkileyeceğini göstermektedir. Aynı zamanda gaz toplam sistemlerin gerekliliği de vurgulanmaktadır.

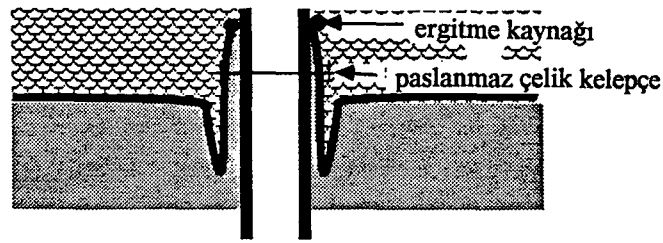
Gazın biriktiği üst noktalarda, havalandırma bacaları açılması gerektiği belirtilmişti; bunun için çeşitli havalandırma sistemleri tasarlanmıştır. Fikir vermek amacıyla bazıları Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Sistemlerde granüler zeminler ve geosentetikler kullanılmaktadır



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.6 Örtü Sisteminden Metan Gazının Boşalması için Tasarlanmış Havalandırma Sistemleri, (a) Doğal Havalandırma Sistemi[31] , (b) Geotekstil Havalandırma Sistemi, (c) Geomembrana Uygun Baca Açılması İçin Önerilen Sistem

BÖLÜM 7

SEEP/W VE CTRAN/W PROGRAMLARI YARDIMIYLA KİRLİLİK YAYILIMININ İNCELENMESİ

7.1 GİRİŞ

Bu bölümde sonlu elemanlar analizi yardımı ile, sızma ve kirlilik analizi yapan yazılımlar kullanılmak suretiyle bir seri parametrik çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda SEEP/W ve CTRAN/W adlı yazılım programlarından faydalanılmıştır.

SEEP/W, zemin ve kaya türü boşluklu malzemelerin içindeki boşluk suyu basıncının dağılımını ve hareketini modellemek için kullanılan bir sonlu eleman yazılımıdır. Programın detaylı formülasyonu sayesinde karmaşık sızma problemlerinin analiz edilmesi mümkün olabilmektedir. Yazılım geoteknik, çevre ve maden mühendisliği konularında kullanılmaktadır. Yazılım suya doygun ve suya doygun olmayan ortamların içindeki akımların analizini, düzgün hızlı ve zamanla değişen akım koşullarının modellenmesini, sınırlanmış ve sınırlanmamış (feratik yüzeye sahip) akım analizlerini yapabilecek kapasitedir.

Program, permeabilite bakımından izotrop olmayan ortamların modellenebilmesine olanak verebilecek şekilde geliştirilmiştir. Bulunan akım doğrultuları ve miktarları, problemin tanımlanmasında kullanılan malzeme tip(ler)i, nokta ve elemanlar sayılarında sınırlama olmaksızın kirletici(ler)in yayılımı ile ilgili (CTRAN/W) yazılımıyla ve benzer ürünler olan şev stabilitesi, gerilme-deformasyon analizi yapan yazılımlarla entegre çalışma olanağı vermektedir. Permeabilitenin izotropik özellik göstermemesi durumu için, düşey permeabilitenin yatay permeabiliteye oranı biçiminde tanımlanan permeabilite oranı katsayısı değeri, verilerek problemin çözülmesi sağlanabilmektedir.

Bu yazılımla analiz edilebilecek tipik mühendislik problemleri; akiferlerden çekilen suyun yeraltı su seviyesi üzerindeki etkileri, su tutma yapılarının içindeki ve altındaki sızma miktarlarının ve maksimum akım hızlarının bulunması, ani boşalma

sonucu oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının dağılımı, derin kazıların içine sızan suyun miktarı ve kritik hidrolik eğimler olarak söylenebilecektir.

SEEP/W yazılımının DEFINE penceresi altında, çeşitli komutlar sayesinde problemin geometrisi bilgisayar destekli tasarım (CAD) yardımıyla ekrana izdirilmekte ve tanımın ilk aşaması oluşturulmaktadır. Parametrik değerlerinin gerekli yerlere yazdırılması ile bu kısım tamamlanmaktadır.

DEFINE penceresi altında yaratılan verilerle oluşturulan dosyalar, SOLVE penceresine aktarılarak problem zdrlmektedir. Bu pencere altında hesaplanıp ilgili çözüm dosyalarına aktarılan bilgiler, herbir noktadaki toplam enerjiler, herbir elemanın tanımlanmış olan noktalarındaki akım hızları ve hidrolik eğimleri, hesapta kullanılan malzeme özellikleri ve akış miktarından oluşmaktadır.

Yazılımın CONTOUR penceresinde, problemin eş potansiyel çizgileri gösterilmekte ancak akım çizgileri bulunmamaktadır. Bunun yerine akım vektörlerinin ekranda görülebilmektedir. şekil 7.1'de tipik bir problem geometrisi ve sonlu eleman ağı gösterilmektedir.

7.2 SEEP/W ile Analizin Yapısı ve zellikleri

SEEP/W yazılımı hem suya doygun hem de suya doygun olmayan koşullardaki akımı analiz etmek üzere geliştirilmiştir. Suya doygun olmayan ortamlarda da Darcy yasası geçerli olmakta, ancak doymamış zeminler suya doygun koşullara kıyasla boşluk suyu basıncındaki değişimlere daha duyarlı olmaktadır. Suya doygun olmayan zeminlerdeki geçirimlilik, boşluk suyu basıncı ile büyük lde değişebilmektedir. şekil 7.2'de boşluk suyu basıncı ile permeabilite katsayısı arasındaki değişimi gösteren ve hidrolik iletkenlik fonksiyonu olarak adlandırılan diyagram sunulmuştur. Bu yazılımda problemin tanımlanmasındaki ilk aşamalardan biri, herbir zemin tabakası için permeabilite katsayılarının tanımlanması olmaktadır.

Zeminin su depolama kapasitesi, depolama eğrisi ile tanımlanmaktadır. Bu diyagramda hacimsel su muhtevası ve boşluk suyu basıncı, eksen takımlarını oluşturmaktadır. Su zemin içinden geçerken, bir kısmı zemin tarafından tutulabilecektir. Tutulan suyun miktarı, zemin özelliklerine ve boşluk suyu basıncına bağlı olarak değişmektedir. Kısaca depolanan suyun hacminin toplam hacme oranı, hacimsel su muhtevası olarak tanımlanan kavram olmaktadır.

$$\theta = V_w / V \quad (7.1)$$

θ = Hacimsel su muhtevası

V_w = Suyun hacmi

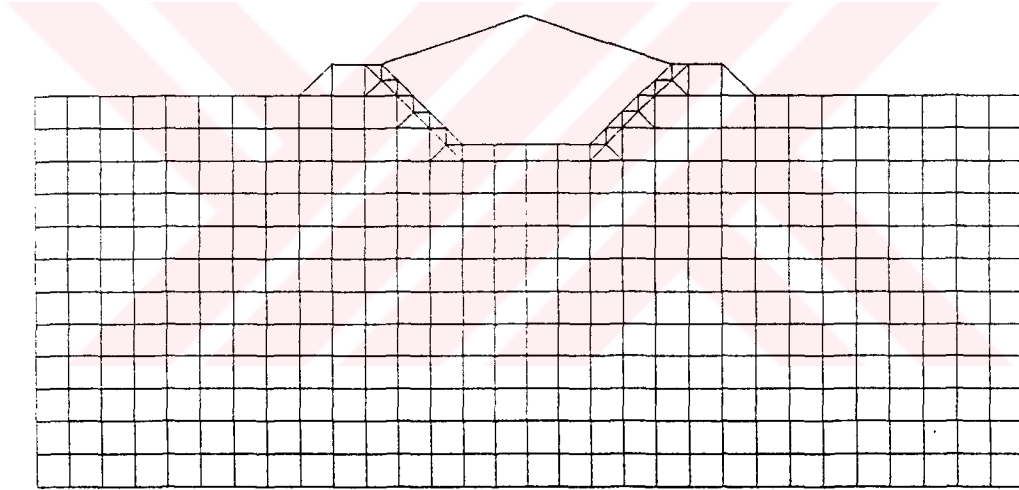
V = Toplam hacim

$$\theta = n \cdot S \quad (7.2)$$

n = Porozite

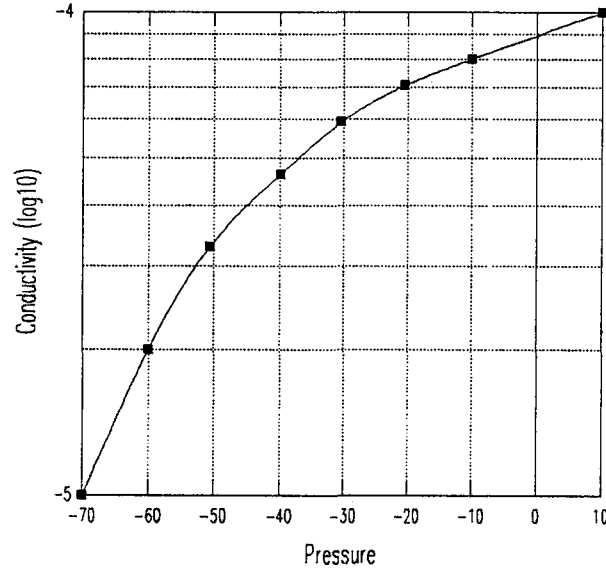
S = Suyu doygunluk oranı

Zeminin suya doymuş olması durumunda hacimsel su muhtevası, zeminin porozitesine eşit olmaktadır.

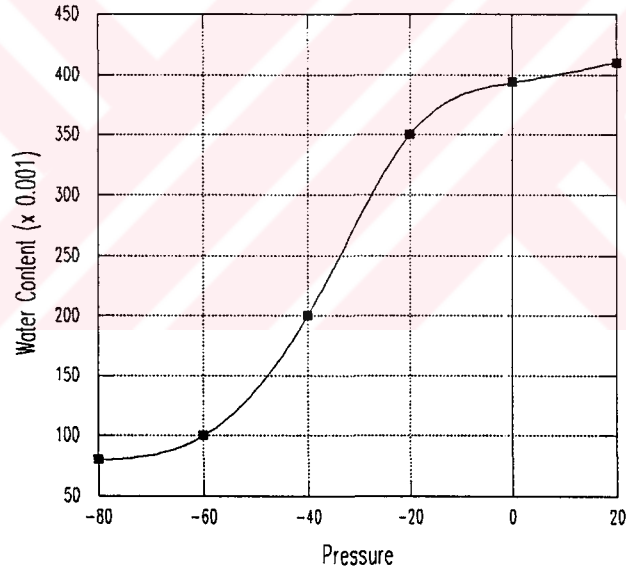


Şekil 7.1 Tipik Bir Problem Geometrisi ve Sonlu Elemanlar Ağı

Boşluk suyu basınçlarının sıfıra yakın olduğu, tamamen suya doymuş, ve zemin üzerindeki toplam dış kuvvetin sabit olduğu bir durum düşünülecek olursa, boşluk suyu basıncının (pozitif) artışıyla efektif gerilme azalacak ve zeminin su muhtevasında artışlar görülebilecektir[12,33]. Boşluk suyu basıncının negatif olması durumunda, zemin suyunu kaybetmeye başlamakta ve su muhtevasında azalmalar olmaktadır. Zeminin suyunu tamamen kaybetmesinin ardından, boşluk suyu basınçlarındaki azalma su muhtevasında bir değişime yol açmayacaktır (Şekil 7.3).



Şekil 7.2 Boşluk Suyu Basıncı ile Permeabilite Katsayısının Değişimi



Şekil 7.3 Depolama Fonksiyonu

Depolama fonksiyonunun eğimi $-m_w$ - zemin tarafından tutulan su miktarındaki değişimin, boşluk suyu basınçlarındaki değişime oranı olarak tanımlanmaktadır. Boşluk suyu basıncı değerlerinin pozitif olması durumunda, m_w eğimi tek boyutlu konsolidasyon için sıkışma katsayısı m_v ye eşit olabilmektedir. İnce daneli zeminlerde, depolama eğrisi düz bir gidiş göstermektedir. Ancak iri-daneli granüler zeminlerde bu gidiş oldukça dik olabilmektedir. Şekil 7.3'de ince kum, silt ve kil için gerçek depolama eğrileri gösterilmiştir. Bu eğriler zeminin özelliklerinin, depolama karakteristiklerini nasıl etkilediğinin gösterilmesi açısından oldukça yararlıdır [33].

7.3 CTRAN/W Programının Özellikleri

CTRAN/W, zemin ve kaya türü boşluklu ortamlarda, kirliliğin ve kirlletici etken(ler)in hareketini modelleyen, sonlu elemanlar yazılımı ürünüdür. Yazılımın geniş ve kapsamlı formülasyonu, kendisinin suyun hareketine bağlı olarak basit parçacık taşınımının işleminden karmaşık difüzyon, adsorpsiyon, dispersiyon ve radyoaktif bozunma gibi karmaşık süreçlere uzanan bir alanda analiz yapabilme olanağı vermektedir.

CTRAN/W yazılımı benzer yapıda çalışan SEEP/W yazılımı ile entegre işletilmektedir. Problemin sonlu elemanlar ağı ve hidrolik özellikleri SEEP/W altında tanımlanmaktadır. Sözkonusu problemin sızma kısmı çözüldükten sonra, elde edilen akım hızları ve tanımla ilgili dosyalar CTRAN/W programının DEFINE penceresi altına alınmaktadır. Burada ortamın, kirlenmenin yayılımı ile ilgili özellikleri ve sınır koşulları tanımlanmaktadır. SOLVE ve TRACK pencereleri altında çözümler yapılmakta ve sonuçlar CONTOUR penceresi altında sunulmaktadır.(Şekil 7.6 ve 7.7).

7.4 CTRAN/W ile Kirlenme Analizi ve Özellikleri

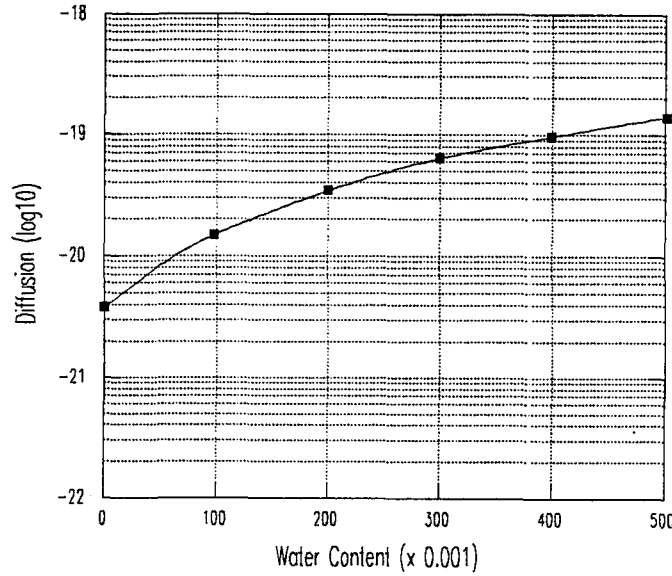
Kirliliğin yayılabilmesi için, ortamda bir akım hareketinin olması gerektiği bilinmektedir. Program sürekli ve ani kirlilik kaynaklarından geçirimli ortamlara kirliliğin yayılmasını izlemektedir. Hareketin modellenmesinde iki ana bileşene yer verilmiştir (Ani yayılım bileşeni ve sürekli yayılım bileşeni). Ani yayılma zamanla ve kaynaktan uzaklaştıkça konsantrasyonda meydana gelecek azalmayı karakterize etmektedir (Şekil 7.4). Sürekli yayılma ise ortama sürekli sabit konsantrasyonda kirliliğin katıldığını varsayarak kaynaktan uzaklaştıkça zamana bağlı dağılımı anlatmaya çalışmaktadır.

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (7.3)$$

D = Hidrodinamik Dispersiyon Katsayısı

u = Boşluk Sıvısı Akım Hızı

c = Çözeltinin Konsantrasyonu



Şekil 7.4 Difüzyonun Depolama İle Değişim Fonksiyonu

Analizin temel denklemi bağıntı 7.3'de verilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde her bir kübik elemanın, kütlenin korunumu ilkesine dayanarak yukarıdaki denklemdeki gibi tek boyutlu akım davranışı göstereceği varsayılmaktadır [34,13]. Denklemde ilk terimi 'Ani Yayılım Terimi' diğeri ise 'Sürekli Yayılım Terimi' olarak nitelendirilmektedir. Kısacası bu denklem, konsantrasyonun zamanla değişiminin konsantrasyonun ani ve sürekli yayılım parametreleri ile değişimine bağlı olduğunu anlatmaktadır.

Boşluklu ortamlarda kirliliğin yayılımı kimyasal reaksiyonlar sebebiyle yavaşlayabilmektedir. Ortamın yabancı madde emme özelliği olarak nitelendirilebilecek olan 'Adsorpsiyon' un bu davranışı kontrol edeceği varsayılmaktadır.

Hidrodinamik dispersiyon katsayısı 'D'nin moleküler difüzyon ve su akımı hızına bağlı çözünürlük süreçlerince kontrol edilen bir parametre olduğu düşünülmektedir. Burada moleküler difüzyon, konsantrasyon değişiminden etkilenen bir parametre olarak bulunmaktadır [34] (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6). Bağıntı 7.4'te bu olay ifade edilmeye çalışılmıştır.

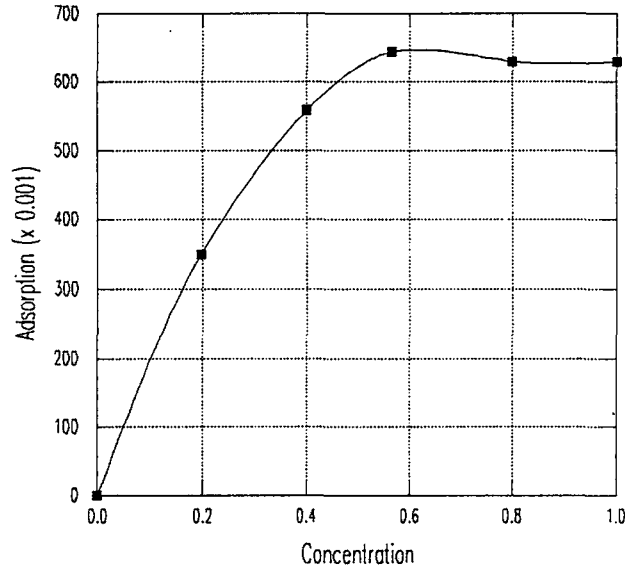
$$D + v \alpha = D^* \quad (7.4)$$

D = Hidrodinamik Dispersiyon Katsayısı

v = Boşluk Sıvısı Akım Hızı

α = Çözünürlük (Yayılmaya bağlı)

D* = Moleküler Difüzyon Katsayısı



Şekil 7.5 Adsorpsiyonun Konsantrasyonla Değişim Fonksiyonu

CTTRAN/W yukarıda tanımlı matematiksel model çerçevesinde, sonlu elemanlar analizinin mevcut olanaklarını kullanarak çözümler yapmaktadır. Ani doymun ve doymun olmayan, düzgün ve zamanla değişen hızlı, değişken sınır koşullarına sahip, anizotropik ve heterojen ortamlarda akımların gerçekleştiği koşullarda gerekli çözümleri yapmakta ve birbirine ortogonal iki yayılma çözünürlüğü, değişken konsantrasyon ve sınır koşulları, su muhtevasına bağlı difüzyon, konsantrasyon değişimine bağlı adsorpsiyon, radyoaktif bozunma durumlarında kirlilik yayılımı çözümleri yapabilmektedir. Bunların yanında matematiksel olarak daha dengede olan, ortamın akım hızı ve zaman değişimine bağlı parçacık hareketi analizini yapan bir başka çözümleme özelliği de bulunmaktadır. Bu analiz yayılmanın ana hatları hakkında çabuk ve genel bir fikir verilebilmesi açısından faydalı olabilmektedir.

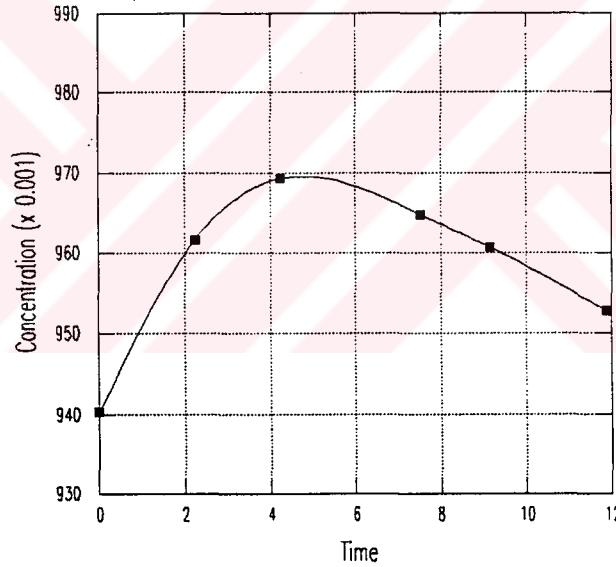
CTTRAN/W ile yapılan parametrik çalışmalarda, katı atık depolanan tesislerin geçirimsizlik zonları, daha çok bulamaç formunda bulunan baca gazı atıkları ve maden atıklarının biriktirildiği baraj ve hendekler, arazide daha önce açılmış, ve terk edilmiş sondaj kuyularının yol açtığı kirlilik ve benzer durumlar incelenmiştir. Analizlerle ilgili karakteristik çıktılar ve sonuçlar EK A. 'da verilmiştir.

7.4.1 Katı Atık Depolama Tesisi-I

Problem geometrisi şekil ek A.7 'de verilmiş olan katı atık depolama tesisi 10 m. taban genişliği ve 10 m. yüksekliğe sahip tek hücreden oluşmaktadır. Tesiste tasarlanmış geçirimsiz kompozit şilte sistemi ve çöpsuyu sızıntısı toplama ve uzaklaştırma sistemi bulunmaktadır. Tesis, permeabilitesi 1×10^{-5} cm/sn ve difüzyon

katsayısı 1×10^{-12} cm²/sn olan bir zemin birimi içinde bulunmaktadır. Geçirimsizlik sağlayan şiltenin permeabilitesi 1×10^{-12} cm/sn'dir. İlk olarak geçirimsiz şiltenin, tesisin tabanı boyunca görev yapamaz hale gelmesi durumunda 30 günlük süre içerisinde görülebilecek kirlilik yayılımı incelenmiştir, bu problem için sınır koşulu olarak söz konusu bölgede birim konsantrasyon ($c=1,00$) tanımlanmıştır.. Daha sonra kompozit şiltenin, geomembran bileşeninde meydana gelebilecek noktasal delikten, oluşacak kirlilik yayılımı 90 günlük zaman zarfı için analiz edilmiştir. Noktasal deliğin tesis tabanının tam ortasında oluşacağı öngörülmüş ve sınır koşulu olarak birim konsantrasyon verilmiştir.

Analizler sonucunda şiltenin taban boyunca görev yapamaz hale gelmesinin ardından kirliliğin 30 gün sonunda 14 m. derinlikte konsantrasyonun birim değerin 0.20'sine düştüğü tespit edilmiştir. Geomembrandaki noktasal delikten 90 günde yayılan kirlilik 20 m. derinlikte birim konsantrasyonun 0.30'una indiği izlenmiştir (Şekil Ek A.7, 8, 9, 10)



Şekil 7.6 Konsantrasyonun Zamanla Değişimi Fonksiyonu

7.4.2 Maden Atığı Depolama Barajı

Bu uygulamada, kret genişliği 2 m., taban genişliği 6 m ve yüksekliği 2 m. olan bir maden atığı biriktirme barajı modellenmiştir. Tabanda yer alan birim 1×10^{-4} cm/sn permeabilite, 1×10^{-12} cm²/sn difüzyon katsayısına sahiptir. Geçirimsizlik sağlayan bölgede permeabilite 1×10^{-10} cm/sn'dir. Barajda ve tabanında toptan geçirimsizlik kaybı görülmesi durumunda 15 gün içinde çevreye yayılacak kirlilik bulunmaya çalışılmıştır. Baraj ve tabanı için sınır koşulu olarak birim konsantrasyon değeri atanmıştır. Buna ek olarak kaynaktan çevreye parçacık hareketi yayılımı da

incelenmiştir. Parçacık hareketi ortamdaki akım hızına ve dispersivite değerine bağlı olarak gelişmektedir. Parçacıklar baraj tabanındaki her bir elemanlar için 5 birim yoğunlukta verilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda kirliliğin, 15 gün içerisinde ana kaynaktan 10 m. derinliğe ve 18 m uzaklığa, 0.10 konsantrasyonla ilerlediği saptanmıştır. Parçacıkların ise ortama birim zamanda ve sabit yoğunlukla katıldıkları kabul edildiğinde baraj gövdesi altında yoğunlaştıkları ve kaynaktan ortalama 20 m. uzaklıkta, 7 m. derinlikte birim eleman başına 1.35 yoğunlukla bulundukları tespit edilmiştir (Şekil Ek.A.11,12).

7.4 .3 Katı Atık Depolama Tesisi-II

Bu örnekte, kademeli işletilen bir katı atık depolama tesisi modellenmeye çalışılmıştır. Tesis 20m×20m boyutlarında paralelkenar geometrisinde, 10 m. yükseklikte hücreler oluşturularak işletilmektedir. İşletme permeabilitesi 1×10^{-4} cm/sn ve difüzyon katsayısı 1×10^{-15} cm²/sn olan bir zemin birimi içindedir. Problem için çeşitli olasılıklar denenmiştir. Geçirimsizlik sağlamak amacıyla sıkıştırılmış kil şilte ($k=1 \times 10^{-8}$ cm/sn), geosentetik kil şilte ($k=1 \times 10^{-12}$ cm/sn) ve çifte şilte sistemi ($k=1 \times 10^{-10}$ cm/sn) kullanıldığı varsayılarak modellemeler yapılmıştır. Her üç şilte sisteminde aynı noktalardan kirlilik sızdırmaları durumu incelenmiştir. Ayrıca hücrenin tamamen geçirimli duruma geçmesi, sadece tabanının geçirimsizlik göstermesi ve ortama yayılan kirliliğin kaynağının ortadan kalkması sonrasındaki hareketleri incelenmeye çalışılmıştır. Sızdırma ve geçirimsizlik kaybının olduğu bölgelerde sınır koşulu olarak birim konsantrasyon tanımlanmıştır. Bir analiz hariç diğer çözümler 30 günlük zaman aralığı için yapılmıştır. Yalnızca kirlilik kaynağının ortadan kalkması ile ilgili analiz 50 gün için yapılmış ve problemde ortama tekrar ve sürekli kaynaklardan kirlilik yayılmadığı varsayılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda kirliliğin, sıkıştırılmış şilteden 45 m. derinliğe, geosentetik kil şilteden 35 m. derinliğe ve çifte şilte sisteminden 15 m derinliğe, 0.20 konsantrasyonla indiği izlenmiştir. Aynı koşullarda birim elemanda 5,00 parçacık yoğunluğuna, sahip durum için parçacık hareketi de benzer sonuçlar vermiştir. Sonuçlar şekil Ek A13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 'te verilmiştir.

7.4.4 Ani Su Yükselmesi Etkisi Altında Kalan Katı Atık Depolama Tesisi

Tipik geometriye sahip, tek bir hücreden oluşan katı atık depolama tesisinde, ani yükselen su etkisi altında, geçirimsiz şiltenin aynı anda zarar görmesi durumu modellenmeye çalışılmıştır. Tesis permeabilitesi 1×10^{-4} cm/sn ve dispersivite katsayısının 1×10^{-10} cm²/sn olan bir zemin birimine oturmaktadır. Geçirimsiz şiltenin permeabilitesi 1×10^{-8} cm/sn değerindedir. Aynı örnekte araştırma amaçlı açılmış ve terk edilmiş bir kuyudan oluşan kirlilik yayılımı da incelenmeye çalışılmıştır (Şekil Ek.A.23, 24)

Kirliliğin yüksek konsantrasyonlarda yüzeye de yayıldığı gözlenmiştir. Terk edilmiş araştırma kuyusunun tabanından ortama kirlilik yeraltısuyu akımına özdeş yönde ve belli seviyeden bir hat halinde yayılmaktadır.



BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE YORUMLAR

Sanayileşmenin ve nüfus artışının belirgin boyutlara gelmesine sebep olduğu çevre kirlenmesi yüzyılımızın en önemli sorunlarından birisini oluşturmuştur. Tüketim alışkanlıklarında görülen değişimler ve çeşitlenen sanayi ürünleri -atık- oluşumunda artımlar görülmesine yol açmıştır. Genelde çöp denen ve aralarında katı atıklarında bulunduğu bu yığınların uygun şekilde tasfiyesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hızlı Şehirleşmenin ve göçün arsa rantlarında tırmanmalar yarattığı günümüzde, kontrolsüz ve açık boşaltma ile atıkların tasfiyesi rasyonel olamamaktadır. Katı atıkların kontrol altında özel alanlara depolanması gerekmektedir. Atıkların oluşturduğu olumsuz etkilerin kontrol altına alınmasını, uygun biçimde uzaklaştırmasını ve yönetilmesini düzenlemek amacıyla "çevre geotekniği" disiplini geliştirilmiştir. Bu disiplin geoteknik, jeoloji ve kimya mühendislerinin ortak çalışma alanlarından yararlanmaktadır.

Katı atık depolanacak alanlar seçilirken bölge zemininin mühendislik özellikleri, alanın jeolojisi, topoğrafyası, yeraltısuyu durumu iyi bilinmelidir. Kısaca ortamın hidrojeolojik ve geoteknik çerçevesi iyi belirlenmelidir. Su kaynaklarının oldukça değerli olduğu günümüzde, öncelikli olarak katı atığın depolanacağı yerlerin, su kalitesi yüksek akiferlerden uzakta tutulması ve önemli su toplama havzalarına yapacakları etkilerin yeterince kontrol edilmesi gerekmektedir. Bir katı atık depolama tesisinin:

- Tesiste biriktirilen atığa, üstten ve yamaç şevinden suyun sızmasını engellemek;
- Tesis içinde atıktan oluşan çöpsuyu sızıntısını ve gazı toplamak ve uzaklaştırmak;
- Birikebilecek sızıntının yüzeye çıkmasını ve çevreye yayılmamasını sağlamak gibi işlevler vardır

Katı atık depolama tesislerinin en önemli iki parçası, geçirimsiz zonlar oluşturmak için inşa edilen şilte sistemleri ve oluşan çöpsuyu sızıntısı ile gazın toplanması ve uzaklaştırılmasını sağlayan sistemlerdir. Geçirimsizlik için önceleri doğal yüksek permeabiliteye sahip, kil malzemeden şilteler kullanılmaktaydı. Daha sonra, uniform geçirimsiz zonlar yapmak amacıyla, sentetik ve doğal malzemelerin karışımından kompozit şilte sistemleri geliştirilmiştir. Doğal şiltelerin, anizotropik ve heterojen olmalarına karşın -geokompozit (geosentetik kil şilteler, geomembran, geoboru, geotekstil kullanılarak yapılan) şilteler- daha uniform hidrolik özellikler göstermektedir. Geokompozit şiltelerin mekanik ve hidrolik davranışlarında bazı belirsizliklere olabilmektedir

Katı atık depolama tesislerinin üzerini dışarıdan tecrit etmek amacıyla örtüyle kaplamalıdır. Aynı örtü sistemi yüzey suyu drenajını da sağlamalıdır. Örtü sisteminin alt tabakası, atık içinde oluşarak yükselecek gazları toplayacak drenaj ağına içermelidir. Atık içinde oluşacak çöpsuyu sızıntısının toplanması için çift şilteli sistemlerde iki kısımlı, diğerlerinde tek kısımlı bir toplama ve uzaklaştırma sistemi bulunmalıdır. Oluşacak çöpsuyu sızıntısının boşluklu ortamdaki hareketinin, genel kirlilik yayılımı mekanizmalarıyla modellenen şekilde olduğu varsayılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, tasarlanan sistemlere ait debi kapasitelerinin sınırlı olduğu ve yüksek debiler altında katı atık depolama sisteminin toptan işlev yitirebileceğidir.

Boşluklu ortamlarda kirlilik difüzyon, adsorpsiyon, dispersiyon ve radyoaktif bozunma bileşenlerine bağlı oldukça karmaşık biçimde ilerlemektedir. Hareketin modellenmesi iki ana süreçle kısaca yapılabilir. Bunlardan biri ortama ani kirlilik yayılımı, diğeri sürekli kirlilik yayılımı süreçleridir. Ani yayılda kirlilik konsantrasyonu zamanla ve kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Sürekli yayılda ise kirlilik ortama konsantrasyonu sabit düzeylerde kalacak şekilde ortama dağılmaktadır. Bu kirlilik yayılımı modelinde ortamın jeolojik formasyonuna ve kimyasal özelliklerine bağlı dispersiyon ve konsantrasyon parametreleri tanımlanmıştır. Söz konusu analizlerin sonuçlarından kirliliğin yayılımının genel boyutları hakkında bir yorum oluşturulabilecektir.

Yukarıda anlatılan yayılma modeli bazı bilgisayar yazılımlarında kullanılmıştır. Çalışmada ortamın geometrisini sonlu elemanlar ağı oluşturmak suretiyle idealize ettikten sonra analiz eden CTRAN/W yazılımı kullanılarak uygulamalar yapılmıştır. Atık depolanan tesisler CTRAN/W ile modellenerek parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Ortamdaki akım hızları ve hidrolik koşullar benzer nitelikte bir ürün olan SEEP/W yazılımı ile modellenerek çözülmüştür. Çalışmalarda katı atık depolanan birimlerin en duyarlı parçaları olan şilte sistemlerinin performansları, ani su seviyesi yükselmelerinin tesiste yaratabileceği olumsuzluklar ve çevrede değişen sınır koşullarının izlenemediği durumlar araştırılmıştır.

Analizlerden geosentetik kil şilte ve çifte şilte sistemlerinin daha güvenli hidrolik engel tabakaları olduklarını gösteren karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir. Ortamın jeolojik koşullarını, çatlaklılık ve kırıklılık gibi olumsuzlukları temsil eden parametreler bulunmamaktadır. Ancak dispersivite, adsorpsiyon, ve kütle akımı parametreleri ortamın anizotrop ve heterojen koşullarını bir anlamda temsil edebilmektedir. Çalışmalarda yatay ve düşey dispersivite oranlarının, dispersiyon katsayısının depolama fonksiyonuna bağlı değişiminin kirliliğin yayılmasında oldukça etkili olduğu gözlenmiştir. Doygun olmayan koşullarda ve kirlilik kaynağının doygun olmayan ortamda askıda kalması halinde yayılmanın olamayacağı durumlarda olmaktadır.

Katı atıkların depolanacağı yerlerin seçilmesinde, jeolojik, hidrolik ve kimyasal çerçevenin ve sınır koşullarının belirlenmesinde, atık depolanacak tesislerin tasarlanmasında, geçirimsiz kısımların inşasında geoteknik mühendisine ciddi sorumluluklar düşmektedir. Bir anlamda -risk üstlenici- ve aynı riskin yöneticisi olan geoteknik mühendisinin yeterli bilgiyle donanması ve bilgiye ulaşacağı yolları iyice tanımlaması gerekmektedir. Birçok disiplinin ortak alanından oluşan -çevre geotekniği- hızla gelişen bir disiplindir.

Çevre geotekniği konusunda çalışacak geoteknik mühendislerinden, zeminlerin kirlenme karşısında gösterdikleri davranışın incelenmesi, kaya ve zemin ortamlarda yapılan atık depolama tesislerinin tasarımı, kirlenmiş ve kirlenmesi olası alanların mühendislik özelliklerinin tanımlanması konularında çalışmalar yapmaları beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DANIEL, D.E., Early Days of Environmental Geotechnology, pp 3-14, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publ., London, UK.,(1993)
- [2] FANG, H.Y., Environmental Geotechnology: A Perspective, pp 11-20, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology, Edited by Üsmen, M.A., Acar Y.B., Balkema Publ., Rotterdam, Netherlands,(1992)
- [3] USEPA, Charecterization of Municipal Solid Waste in the USA:1990 update, Office of Solid Waste&Energy Response,EPA/530-SW-90-042, Washington,D.C., USA,(1990)
- [4] OWEIS, I.S. and KHERA, P.R., Geotechnology of Waste Management, Butterworths Publ., Cambridge, UK.,(1990)
- [5] GRAY, D.H. and LIN, Y.K., Engineering Properties of Compacted Fly Ash, pp 361-380, ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Div.,No:98-SM4,(1972)
- [6] SAARELA, J.,Effects of Tailings Spread Around Three Mines in Finland, pp 483-488, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology, Edited by Üsmen, M.A., Acar Y.B., Balkema Publ., Rotterdam, Netherlands,(1992)
- [7] CALDWELL, J.A. and HOBBS, B.T., Environmental Geotechnology & Tailings Reclamation, pp 362-376, Geotechnical Practise for Waste Disposal '87, Edited by Woods, R.D., ASCE GSP No:13, New York, USA.,(1987)
- [8] BOWDERS, J.J; ÜSMEN, M.A; GIDLEY, J.S.; Stabilized Fly Ash for Use as Low-Permeability Barriers, pp 320-333, Geotechnical Practise for Waste Disposal '87, Edited by Woods, R.D., ASCE GSP No:13, New York, USA.,(1987)
- [9] INDRARATHA, B.N. and CHOWDHURYI, R.N., Deformation Charesteristics and Design Aspects of Coal Ash Structures, pp 413-418, Proceedings of the Conference on Geotechnical Management of Waste and Contamination, Edited by Fell, R.; Phillips, T.; Gerrard, C., Balkema Publ.,Rotterdam, Netherlands,(1993)

- [10] RIZKALLAH, V., Geotechnical Properties of Polluted Dredged Materials, pp-759-771, Geotechnical Practise for Waste Disposal '87, Edited by Woods, R.D., ASCE GSP No:13, New York, USA.,(1987)
- [11] PARKER, R.A., R&D Projects in USEPA's SITE Program and Their Impact on Hazardous Waste Remediation, pp 559-562, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnolgy, Edited by Üsmen, M.A., Acar Y.B., Balkema Publc., Rotterdam, Netherlands,(1992)
- [12] FREEZE, R.A and CHERRY, J.A., Groundwater, Prentice-Hall Publc., London, UK.,(1979)
- [13] CARTWRIGHT, K and HENSEL, B.R. Hydrogeology, pp 66-93, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK.,(1993)
- [14] USEPA, Requirememnts for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure; EPA/625/4-89/022, Cincinnati,OH., USA,(1989)
- [15] PARKER. R.J.; BATEMAN, S.;WILLIAMS, D., Design and Management of Landfills, pp 209-253, Proceedings of the Conference on Geotechnical Management of Waste and Contamination, Edited by Fell, R.; Phillips, T.; Gerrard, C., Balkema Publc.,Rotterdam, Netherlands,(1993)
- [16] DANIEL, D.E., Landfills and Surface Impoundments, pp 97-113, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK.,(1993)
- [17] ETC8, Geotechnics of Landfill Design and Remedial Works Technical Recommendations-GLR, VCH Publc., Berlin, Deutchland,(1993)
- [18] TAPAN, K.D. and ÜSMEN, M.A., Risk Management for Environmental Contamination Problems, pp 27-32, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnolgy, Edited by Üsmen, M.A., Acar Y.B., Balkema Publc., Rotterdam, Netherlands,(1992)
- [19] DANIEL, D.E.; TRAUTWEIN,S.J.; BOYNTON, S.S; FOREMAN, D.E., Permeability Testing with Flexible-Wall Permeameters, pp 113-122, Geotechnical Testing Journal,(1985)
- [20] DANIEL, D.E., Clay Liners, pp 137-163, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK.,(1993)
- [21] BUDHU, M., GRIESE, R.F., CAMPELL, G. and BAUMGRAS, L., The Permeability of Soils with Organic Fluids, pp 140-147, Canadian Geotechnical Journal, No:28,(1991)

- [22] CHAMBERLEIN, E.J. and GOW, A.J., Effects of Freezing and Thawing on the Permeability and Structures of Soils, pp 73-92, Engineering Geology,(1979)
- [23] ELSBURY, B.R., DANIEL, D.E., STRADERS, G.A. and ANDERSON, D.C., Lessons Learned From Compacted Clay Liner, ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol 116,No:12,(1990)
- [24] BRUNELLE, T.M.; DELL, L.R. and MEYER. C.J., Effect of Permeameter and Leachate on a Clay Liner, pp 347-361, Geotechnical Practise for Waste Disposal '87, Edited by Woods, R.D., ASCE GSP No:13, New York, USA.,(1987)
- [25] SCHUBERT, W.R, Bentonite Matting in Composite Lining System, pp 784-796, Geotechnical Practise for Waste Disposal '87, Edited by Woods, R.D., ASCE GSP No:13, New York, USA.,(1987)
- [26] KOERNER, M.R., Geomembrane Liners, pp 164-186, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK.,(1993)
- [27] USEPA, Compatibilty Test for Wastes and Membrane Liners, Method 9090, Washington,D.C., USA,(1985)
- [28] KOERNER, M.R., Collection and Removal Systems, pp 187-213, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK.,(1993)
- [29] FLUET, J.E., Geotextile Testing and the Design Engineer, ASTM-STP 952, Philadelphia, PA.,USA.,(1987)
- [30] USEPA, Minimum Technology Guidance on Double Liner Systems for Landfills and Surface Impoundments: Design, Construction and Operations, EPA/530-SW-84-014, Washington,D.C., USA,(1985)
- [31] USEPA, Final Covers on Hazardous Waste Landfills and Surface Impoundments, EPA/530-SW-89-047OSW, Washington,D.C., USA,(1989)
- [32] MOORE, C., Landfill and Surface Impoundment Performance Evaulation, USEPA, SW-869, Washington,D.C., USA,(1983)
- [33]] SEEP/W User's Guide Version 2, GEO-SLOPE International Ltd. Canada
- [34] CTRAN/W User's Guide Version 2, GEO-SLOPE International Ltd. Canada



EK A

KADEMELI ISLETILEN KATI ATIK DEPOLAMA TESISI
STEADY-STATE FLOW ANALYSIS

ANALYSIS

1 1 +9.8070e+000 0

CONVERGE

10 +1.0000e+000 +1.0000e+001

TIME 10 +0.0000e+000 +2.0000e+004 +8.6400e+004 +1.0000e+000 10 1 1

1 +2.0000e+004 +2.0000e+004 1

2 +2.0000e+004 +4.0000e+004 1

3 +2.0000e+004 +6.0000e+004 1

4 +2.0000e+004 +8.0000e+004 1

5 +2.0000e+004 +1.0000e+005 1

6 +2.0000e+004 +1.2000e+005 1

7 +2.0000e+004 +1.4000e+005 1

8 +2.0000e+004 +1.6000e+005 1

9 +2.0000e+004 +1.8000e+005 1

10 +2.0000e+004 +2.0000e+005 1

MATERIAL 1

1 1 1 +1.0000e+000 +0.0000e+000

KFUNCTION 1

1 8

-7.0000e+001 +1.0000e-005

-6.0000e+001 +2.0000e-005

-5.0548e+001 +3.2961e-005

-3.9893e+001 +4.6259e-005

-3.0410e+001 +5.9115e-005

-2.0458e+001 +7.0534e-005

-1.0000e+001 +8.0000e-005

+1.0000e+001 +1.0000e-004

SFUNCTION 1

1 6

-8.0000e+001 +8.0000e-002

-6.0000e+001 +1.0000e-001

-4.0000e+001 +2.0000e-001

-2.0000e+001 +3.5000e-001

-7.0835e-002 +3.9312e-001

+2.0000e+001 +4.1000e-001

BFUNCTION 0

NODE 581

1 +2.0000e+000 +2.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 2000

2 +2.0000e+000 +7.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 2000

3 +2.0000e+000 +1.2000e+001 +0.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 2000

4 +2.0000e+000 +1.7000e+001 +0.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 2000

5 +2.0000e+000 +2.2000e+001 +0.0000e+000 +0.0000e+000 +0.0000e+000 2000

Şekil Ek.A.1 SEEP/W Tipik Tanım Dosyası

KADEMELI İSLETİLEN KATI ATIK DEPOLAMA TESİSİ
KİRLİLİK YAYILIMI ANALİZİ

0 +0.0000E+000 = Step Number, Elapsed time

Elem# Pnt# Velocity X Velocity Y Gradient X Gradient Y

=====					
=====					
1	1	+1.733522E-007	-1.748366E-007	+1.731378E-003	-1.748428E-003
1	2	+1.756915E-007	-1.748351E-007	+1.757052E-003	-1.748416E-003
1	3	+1.758079E-007	-1.774011E-007	+1.758006E-003	-1.774280E-003
1	4	+1.732940E-007	-1.774593E-007	+1.732332E-003	-1.774280E-003
2	1	+1.617429E-007	-5.154418E-007	+1.617271E-003	-5.153760E-003
2	2	+1.694602E-007	-5.154403E-007	+1.694111E-003	-5.153747E-003
2	3	+1.694602E-007	-5.231867E-007	+1.694111E-003	-5.232018E-003
2	4	+1.617429E-007	-5.231867E-007	+1.616317E-003	-5.232018E-003
3	1	+1.411765E-007	-8.289909E-007	+1.411714E-003	-8.289734E-003
3	2	+1.541671E-007	-8.289894E-007	+1.541707E-003	-8.289722E-003
3	3	+1.542835E-007	-8.419509E-007	+1.542660E-003	-8.419715E-003
3	4	+1.411765E-007	-8.419509E-007	+1.411714E-003	-8.419715E-003
4	1	+1.120668E-007	-1.097570E-006	+1.120617E-003	-1.097587E-002
4	2	+1.300861E-007	-1.097569E-006	+1.300283E-003	-1.097585E-002
4	3	+1.299916E-007	-1.115533E-006	+1.299973E-003	-1.115508E-002
4	4	+1.120668E-007	-1.115591E-006	+1.120617E-003	-1.115603E-002
5	1	+7.471404E-008	-1.304861E-006	+7.466057E-004	-1.304896E-002
5	2	+9.732816E-008	-1.304860E-006	+9.728681E-004	-1.304895E-002
5	3	+9.723379E-008	-1.327631E-006	+9.725603E-004	-1.327627E-002
5	4	+7.476660E-008	-1.327572E-006	+7.465594E-004	-1.327627E-002
6	1	+2.975858E-008	-1.434456E-006	+2.976738E-004	-1.434485E-002
6	2	+5.650407E-008	-1.434455E-006	+5.665549E-004	-1.434484E-002
6	3	+5.643896E-008	-1.461289E-006	+5.650566E-004	-1.461302E-002
6	4	+2.975858E-008	-1.461347E-006	+2.976738E-004	-1.461302E-002
7	1	-2.071161E-008	-1.472305E-006	-2.085852E-004	-1.472281E-002
7	2	+9.083807E-009	-1.472305E-006	+9.018432E-005	-1.472281E-002
7	3	+8.917255E-009	-1.502202E-006	+8.954620E-005	-1.502192E-002
7	4	-2.089162E-008	-1.502139E-006	-2.077197E-004	-1.502188E-002
8	1	-7.399395E-008	-1.408255E-006	-7.394906E-004	-1.408287E-002
8	2	-4.296099E-008	-1.408253E-006	-4.309930E-004	-1.408286E-002
8	3	-4.312773E-008	-1.439366E-006	-4.306793E-004	-1.439320E-002
8	4	-7.405216E-008	-1.439366E-006	-7.394906E-004	-1.439320E-002
9	1	-1.260056E-007	-1.238517E-006	-1.260522E-003	-1.238503E-002
9	2	-9.633737E-008	-1.238488E-006	-9.631145E-004	-1.238503E-002
9	3	-9.641570E-008	-1.268336E-006	-9.630304E-004	-1.268276E-002
9	4	-1.261854E-007	-1.268278E-006	-1.260606E-003	-1.268272E-002
10	1	-1.715822E-007	-9.677161E-007	-1.715620E-003	-9.677480E-003
10	2	-1.462239E-007	-9.677149E-007	-1.462457E-003	-9.677470E-003
10	3	-1.462745E-007	-9.931454E-007	-1.462374E-003	-9.931730E-003
10	4	-1.714608E-007	-9.931454E-007	-1.714583E-003	-9.930776E-003
11	1	-2.043694E-007	-6.125275E-007	-2.043264E-003	-6.124805E-003
11	2	-1.871118E-007	-6.124984E-007	-1.871367E-003	-6.124795E-003
11	3	-1.871346E-007	-6.297510E-007	-1.871295E-003	-6.297606E-003
11	4	-2.043644E-007	-6.297510E-007	-2.043223E-003	-6.297606E-003
12	1	-2.021090E-007	-1.951691E-007	-2.191375E-003	-2.115526E-003
12	2	-2.128460E-007	-2.115679E-007	-2.129086E-003	-2.115516E-003
12	3	-2.128967E-007	-2.178388E-007	-2.129243E-003	-2.178977E-003

Şekil Ek.A.2 SEEP/W Hesaplanmış Hız Dosyaları

KADEMELİ İSLETİLEN KATI ATIK DEPOLAMA TESİSİ
KİRLİLİK YAYILIMI ANALİZİ
FLOWS

0 +0.0000E+000 = Step Number, Elapsed time

Node# Head Flux(Q)

=====		
=====		
1	+6.070113E+001	+0.000000E+000
2	+6.070982E+001	+0.000000E+000
3	+6.073545E+001	+0.000000E+000
4	+6.077667E+001	+0.000000E+000
5	+6.083122E+001	+0.000000E+000
6	+6.089605E+001	+0.000000E+000
7	+6.096729E+001	+0.000000E+000
8	+6.104036E+001	+0.000000E+000
9	+6.111020E+001	+0.000000E+000
10	+6.117159E+001	+0.000000E+000
11	+6.121951E+001	+0.000000E+000
12	+6.124982E+001	+0.000000E+000
13	+6.126029E+001	+0.000000E+000
14	+6.069230E+001	
15	+6.070121E+001	
16	+6.072751E+001	
17	+6.076984E+001	
18	+6.082594E+001	
19	+6.089273E+001	
20	+6.096629E+001	
21	+6.104194E+001	
22	+6.111448E+001	
23	+6.117843E+001	
24	+6.122855E+001	
25	+6.126035E+001	
26	+6.127135E+001	+0.000000E+000
27	+6.066534E+001	
28	+6.067493E+001	
29	+6.070325E+001	
30	+6.074893E+001	
31	+6.080971E+001	
32	+6.088241E+001	
33	+6.096297E+001	
34	+6.104651E+001	
35	+6.112735E+001	
36	+6.119939E+001	
37	+6.125642E+001	
38	+6.129297E+001	
39	+6.130571E+001	+0.000000E+000
40	+6.061894E+001	
41	+6.062965E+001	
42	+6.066133E+001	
43	+6.071262E+001	
44	+6.078123E+001	
45	+6.086395E+001	
46	+6.095647E+001	

Şekil Ek.A.3 SEEP/W Piyezometrik Yükseklik Çıktıları

KADEMELI ISLETILEN KATI ATIK DEPOLAMA TESISI
KIRILIK YAYILIMI ANALIZI
SIKISTIRILMIS KIL SILTE ICIN

ANALYSIS

1 1 +9.8070e+000 0 0

CONVERGE

10 +1.0000e+000 +1.0000e+001

TIME 10 +0.0000e+000 +2.0000e+004 +8.6400e+004 +1.0000e+000 10 1 1

1 +2.0000e+004 +2.0000e+004 1

2 +2.0000e+004 +4.0000e+004 1

3 +2.0000e+004 +6.0000e+004 1

4 +2.0000e+004 +8.0000e+004 1

5 +2.0000e+004 +1.0000e+005 1

6 +2.0000e+004 +1.2000e+005 1

7 +2.0000e+004 +1.4000e+005 1

8 +2.0000e+004 +1.6000e+005 1

9 +2.0000e+004 +1.8000e+005 1

10 +2.0000e+004 +2.0000e+005 1

CTIME 10 +0.0000e+000 +2.0000e+004 +8.6400e+004 +2.0000e+000 10 1 1

1 +2.0000e+004 +2.0000e+004 0

2 +4.0000e+004 +6.0000e+004 1

3 +8.0000e+004 +1.4000e+005 0

4 +8.6400e+004 +2.2640e+005 0

5 +8.6400e+004 +3.1280e+005 1

6 +8.6400e+004 +3.9920e+005 0

7 +8.6400e+004 +4.8560e+005 0

8 +8.6400e+004 +5.7200e+005 0

9 +8.6400e+004 +6.5840e+005 0

10 +8.6400e+004 +7.4480e+005 1

MATERIAL 1

1 1 0 +1.0000e+001 +1.0000e-001 +0.0000e+000 +0.0000e+000

DFUNCTION 1

1 2

+0.0000e+000 +1.0000e-010

+5.0000e-001 +1.0000e-010

SFUNCTION 1

1 2

+0.0000e+000 +0.0000e+000

+1.0000e+000 +0.0000e+000

BFUNCTION 0

NODE 581

Şekil Ek.A.4 CTRAN/W Tipik Tanım Dosyası

**KADEMELİ İSLETİLEN KATI ATIK DEPOLAMA TESİSİ
KİRLİLİK YAYILIMI ANALİZİ**

0 +0.0000E+000 = Step Number, Elapsed time

Elem# Pnt# Pressure Conductivity Slope of W/C WaterContent

=====					
=====					
1	1	+5.366077E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
1	2	+5.648677E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
1	3	+5.648171E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
1	4	+5.365578E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
2	1	+4.877940E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
2	2	+5.159558E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
2	3	+5.159070E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
2	4	+4.877474E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
3	1	+4.391397E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
3	2	+4.672111E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
3	3	+4.671667E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
3	4	+4.390989E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
4	1	+3.906244E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
4	2	+4.186183E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
4	3	+4.185808E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
4	4	+3.905921E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
5	1	+3.422194E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
5	2	+3.701534E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
5	3	+3.701252E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
5	4	+3.421978E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
6	1	+2.938877E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
6	2	+3.217841E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
6	3	+3.217676E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
6	4	+2.938789E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
7	1	+2.455853E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
7	2	+2.734703E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
7	3	+2.734674E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
7	4	+2.455910E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
8	1	+1.972625E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
8	2	+2.251654E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
8	3	+2.251776E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
8	4	+1.972836E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
9	1	+1.488670E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
9	2	+1.768184E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
9	3	+1.768459E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
9	4	+1.489032E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
10	1	+1.003479E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
10	2	+1.283768E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
10	3	+1.284187E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
10	4	+1.003971E+002	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
11	1	+5.166075E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
11	2	+7.979182E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
11	3	+7.984566E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
11	4	+5.171960E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
12	1	+2.775914E+000	+9.223712E-005	+8.026630E-004	+3.970887E-001
12	2	+3.102435E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001
12	3	+3.108578E+001	+1.000000E-004	+8.978015E-004	+4.100000E-001

Şekil Ek.A.5. CTRAN/W Konsantrasyon Dosyaları

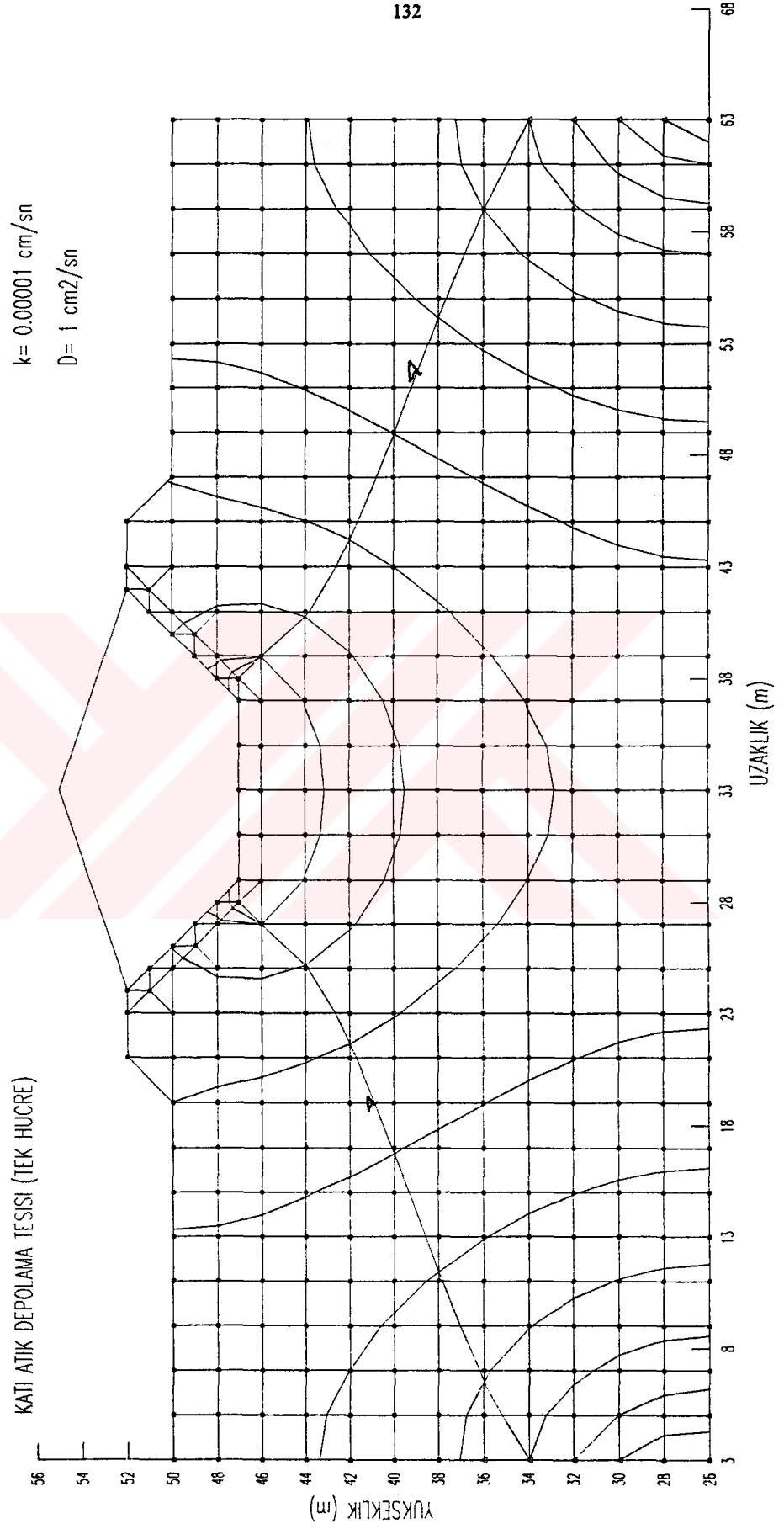
**KADEMELİ İSLETİLEN KATI ATIK DEPOLAMA TESİSİ
KİRLİLİK YAYILIMI ANALİZİ**

10 +7.4480E+005 = Step Number, Elapsed time

Node# Concentration

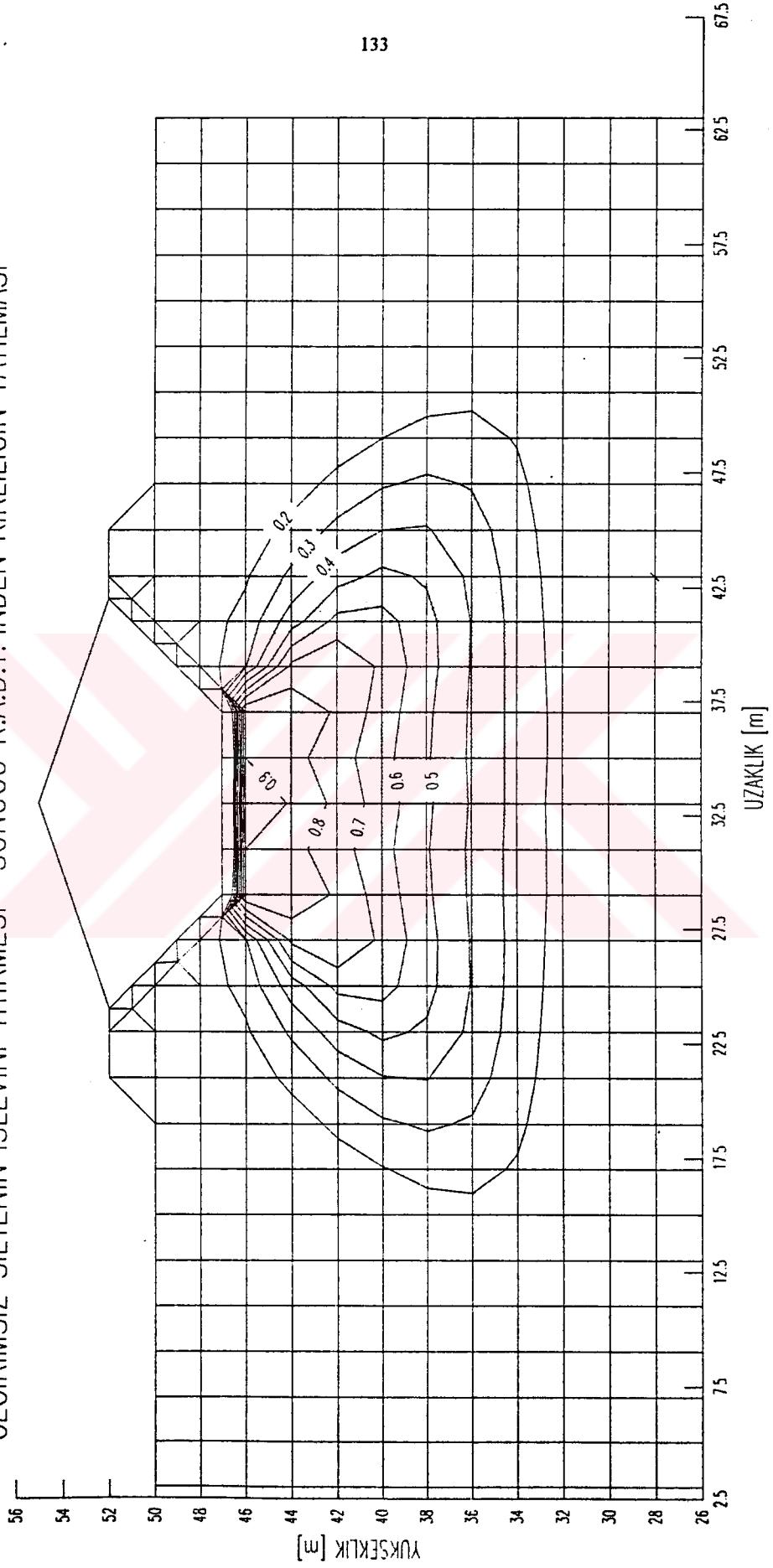
=====	
=====	
1	-2.283974E-011
2	+7.146125E-011
3	-8.262862E-012
4	-5.449994E-010
5	-1.225179E-009
6	-1.611063E-009
7	-1.501207E-009
8	-5.733634E-010
9	-3.387562E-010
10	+2.169624E-009
11	+9.868579E-010
12	-3.030333E-009
13	+1.568911E-009
14	+3.520224E-011
15	-1.013851E-010
16	+4.739567E-011
17	+1.054664E-009
18	+2.382656E-009
19	+3.170786E-009
20	+2.893887E-009
21	+6.375641E-010
22	-1.068285E-009
23	-7.624503E-009
24	-5.547385E-009
25	+1.934705E-009
26	-1.889941E-009
27	-8.177431E-011
28	+2.127642E-010
29	-2.730465E-010
30	-3.462112E-009
31	-7.903625E-009
32	-1.069116E-008
33	-8.122371E-009
34	+9.994338E-009
35	+4.756807E-008
36	+1.203708E-007
37	+1.553145E-007
38	+1.475186E-007
39	+1.357122E-007
40	+3.071917E-010
41	-6.128310E-010
42	+5.619804E-010
43	+1.143256E-008
44	+2.745440E-008
45	+3.890163E-008
46	-2.185102E-008

Şekil Ek.A.6 CTRAN/W Kirlilik Yayılım Dosyaları

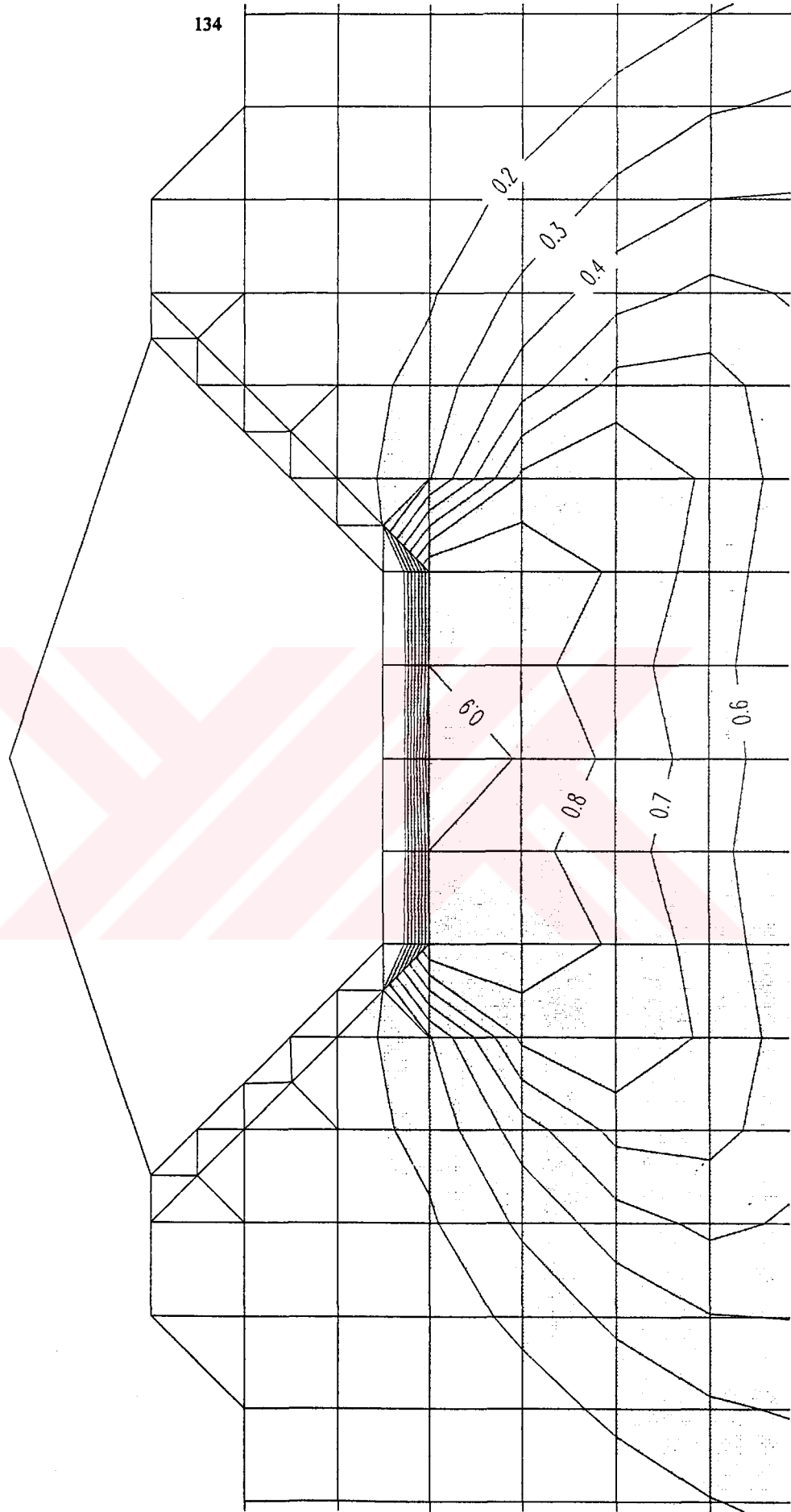


Şekil Ek.A.7 Katı Atık Depolama Tesisi-I

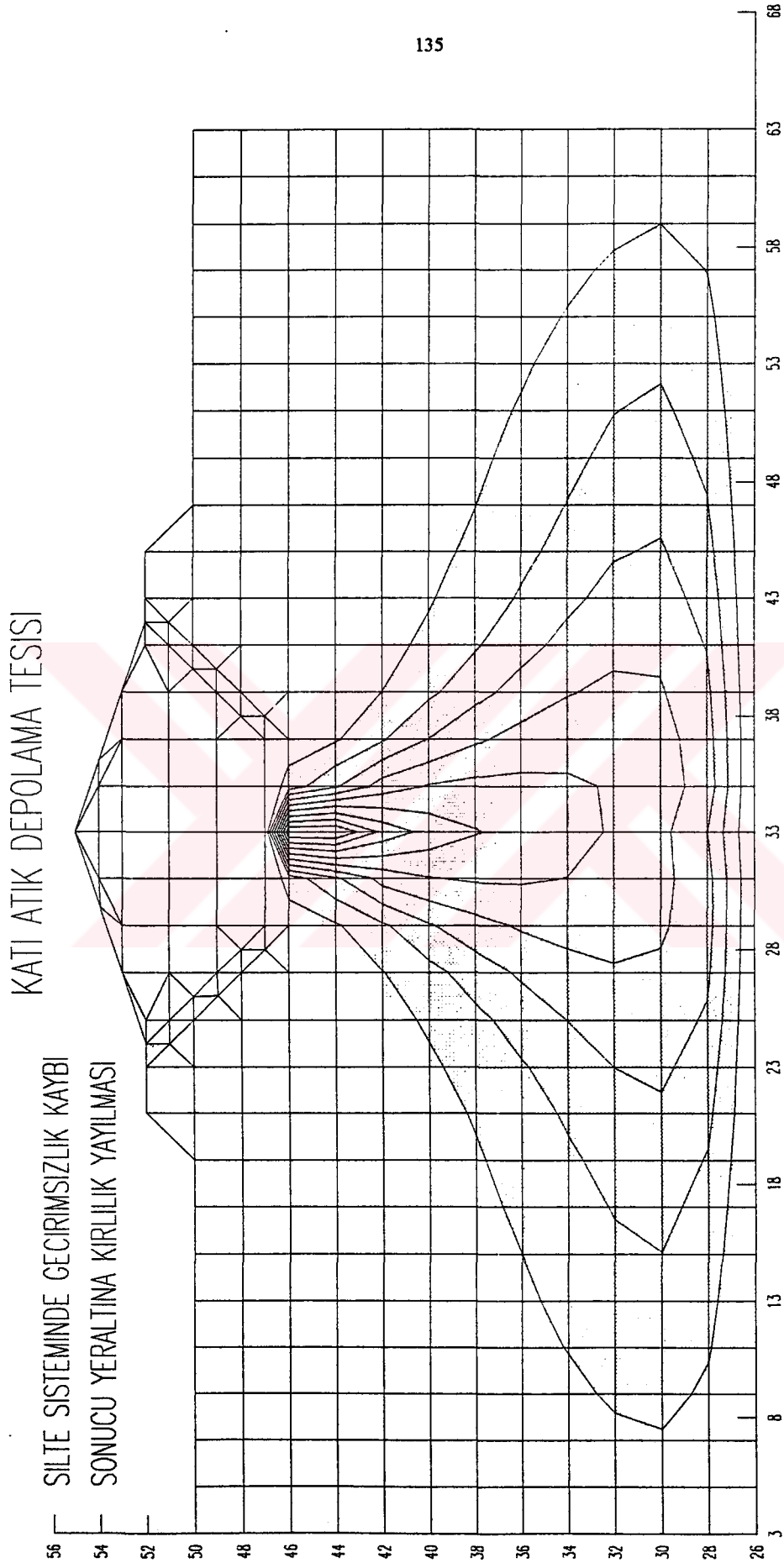
GEÇİRİMSİZ SİLTENİN İSLEVİNİ YITIRMESİ SONUCU K.A.D.T.'İNDEN KİRLİLİĞİN YAYILMASI



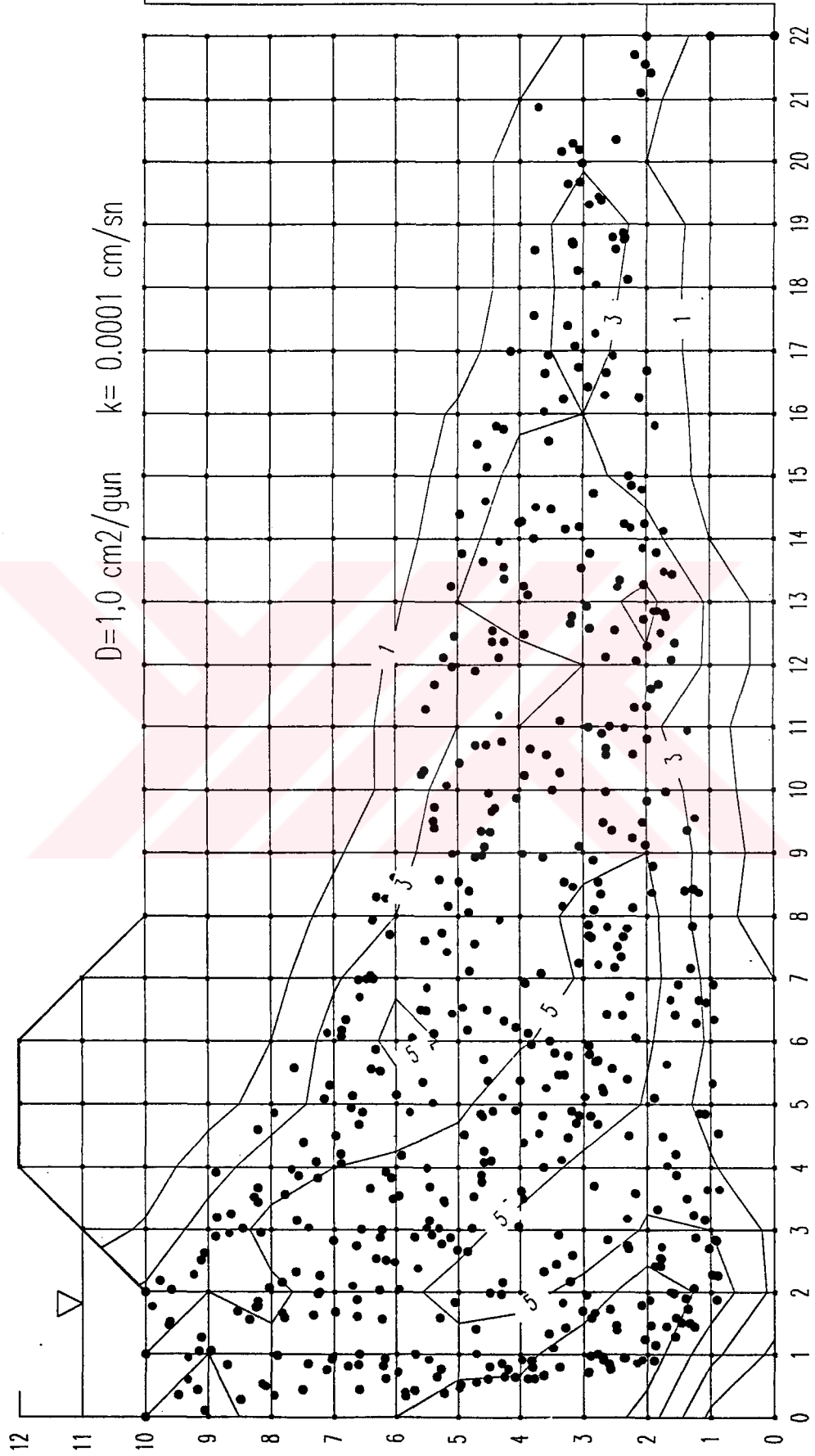
Şekil Ek.A.8 Katı Atık Depolama Tesisi-I Geçirimsizlik Şiltesinde İşlev Kaybı



Şekil Ek.A.9 Katı Atık Depolama Tesisi-I Şiltede Kirliliğin Yayılması (Detay)

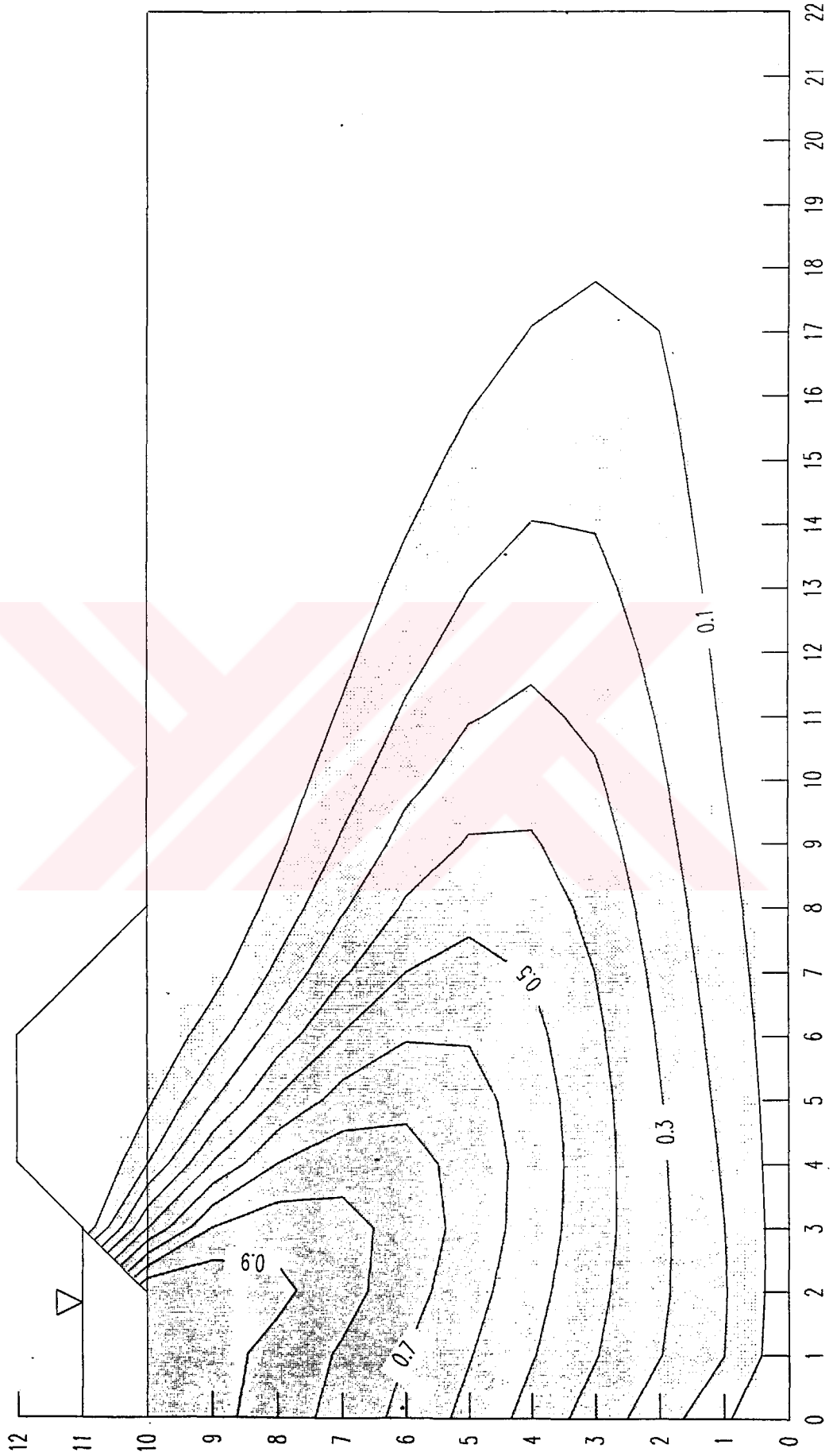


Şekil Ek. A. 10 Katı Atık Depolama Tesisi-I, Geomembrandaki Noktasal Delikten Kirlilik Yayılması

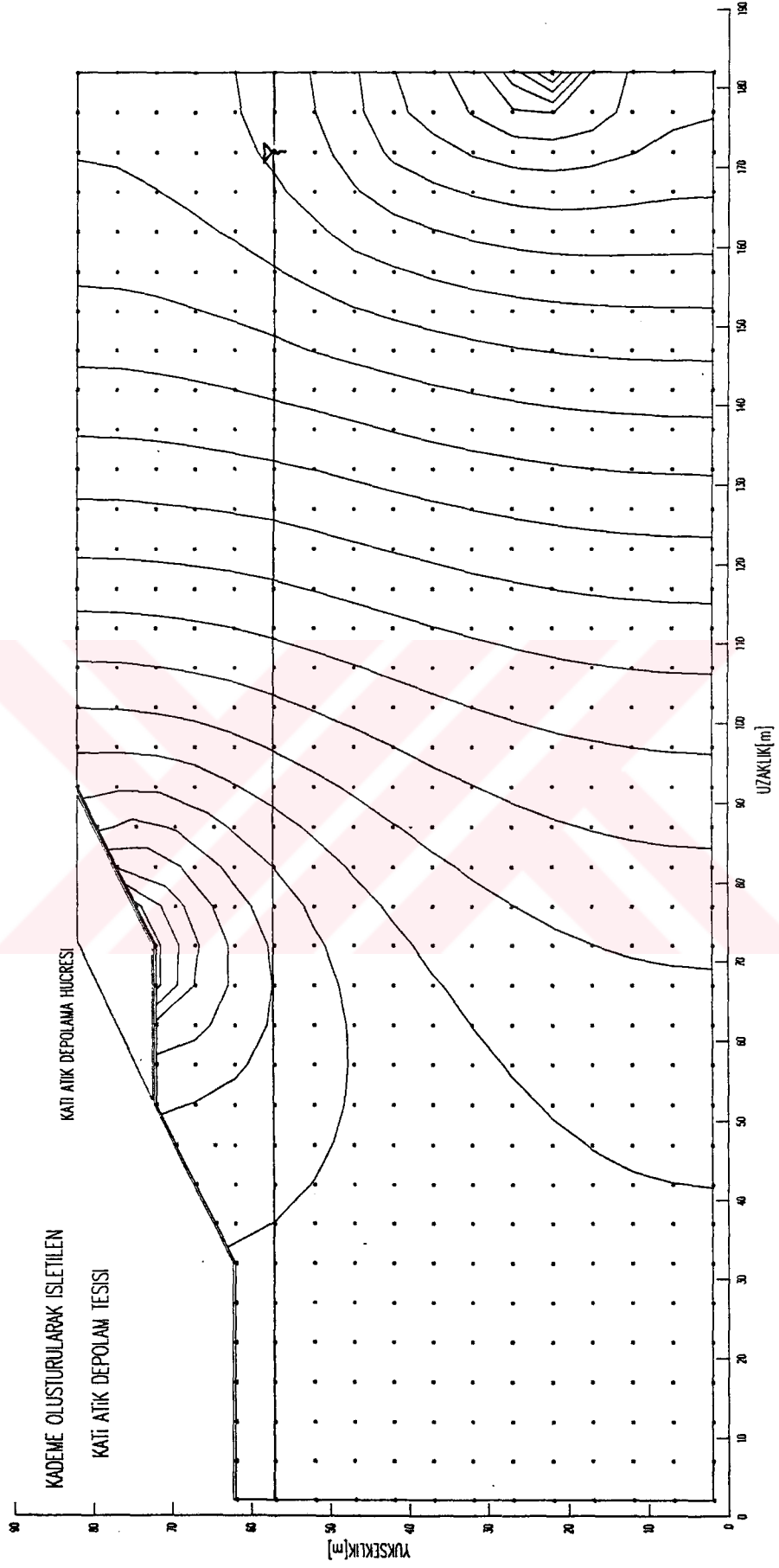


Şekil Ek A.11 Maden Atığı Depolanan Barajdan Kirliliğin Parçacık Hareketi İle Yayılmasının İzleri

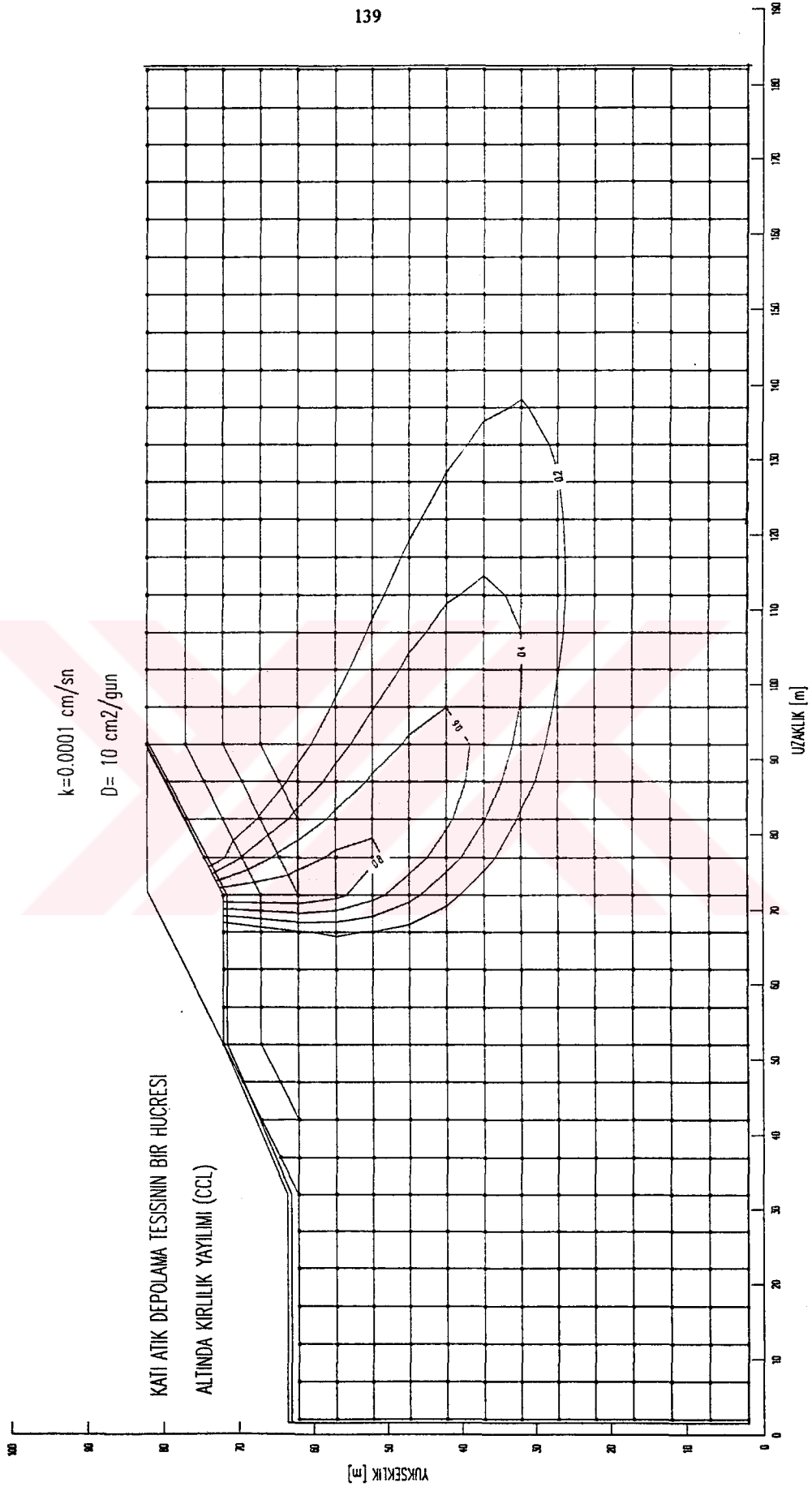
MADEN ATIGI DEPOLANAN BİR BARAJDA KIRILIK YAYILIMI



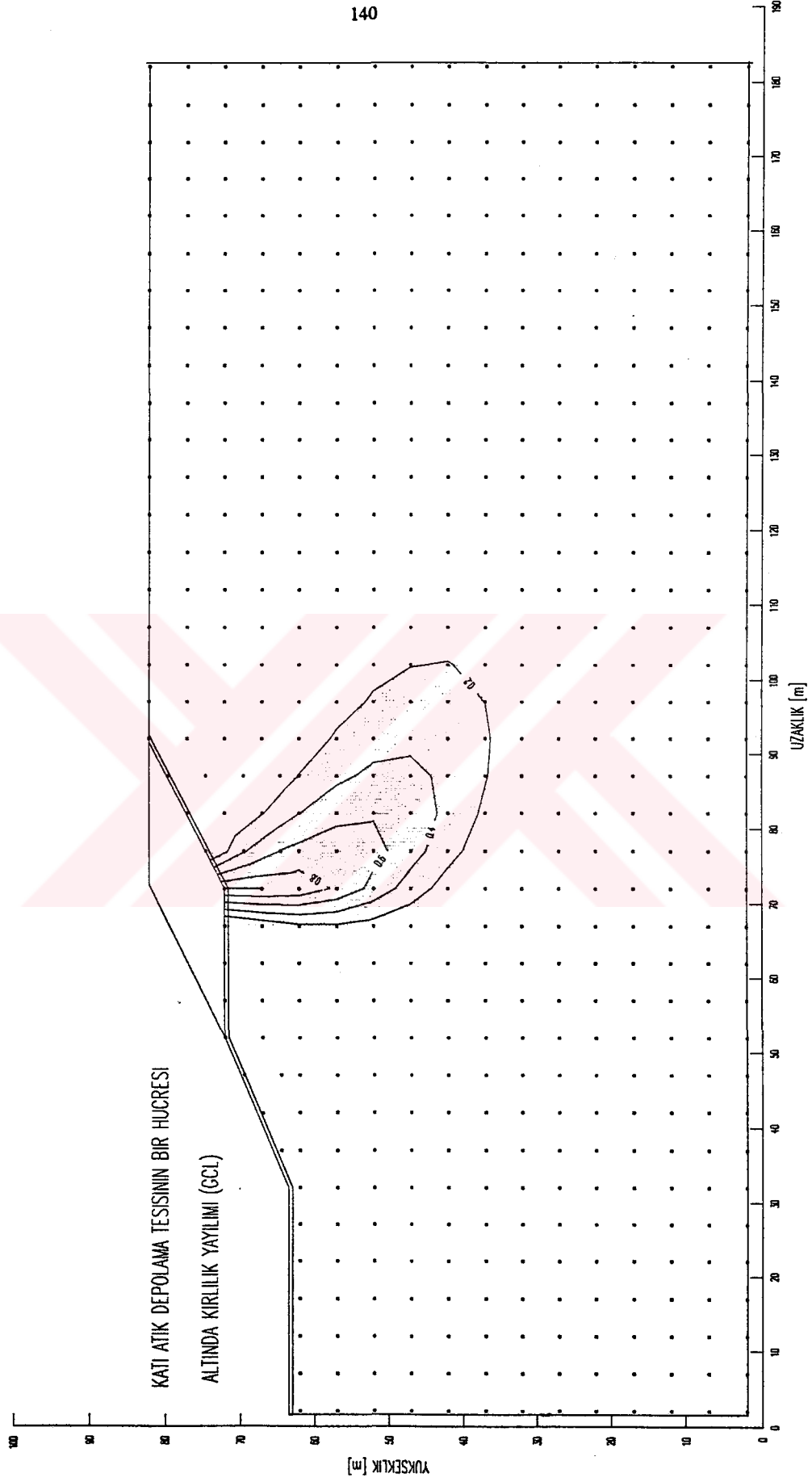
Şekil Ek.A.12 Maden Atığı Depolanan Barajın Tabanında Sızma Sonucu Gerçekleşen Yayılma



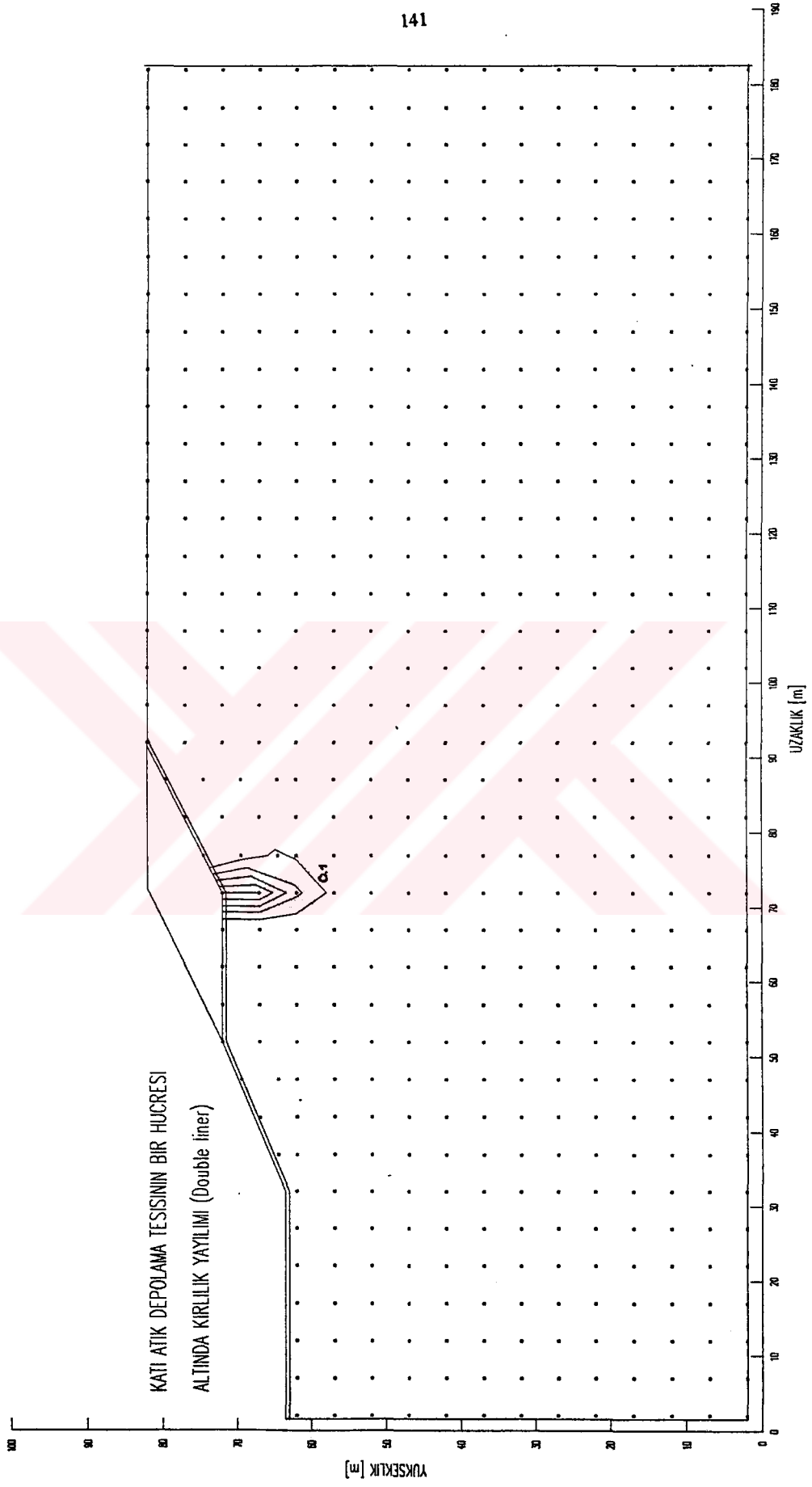
Şekil Ek.A.13 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II



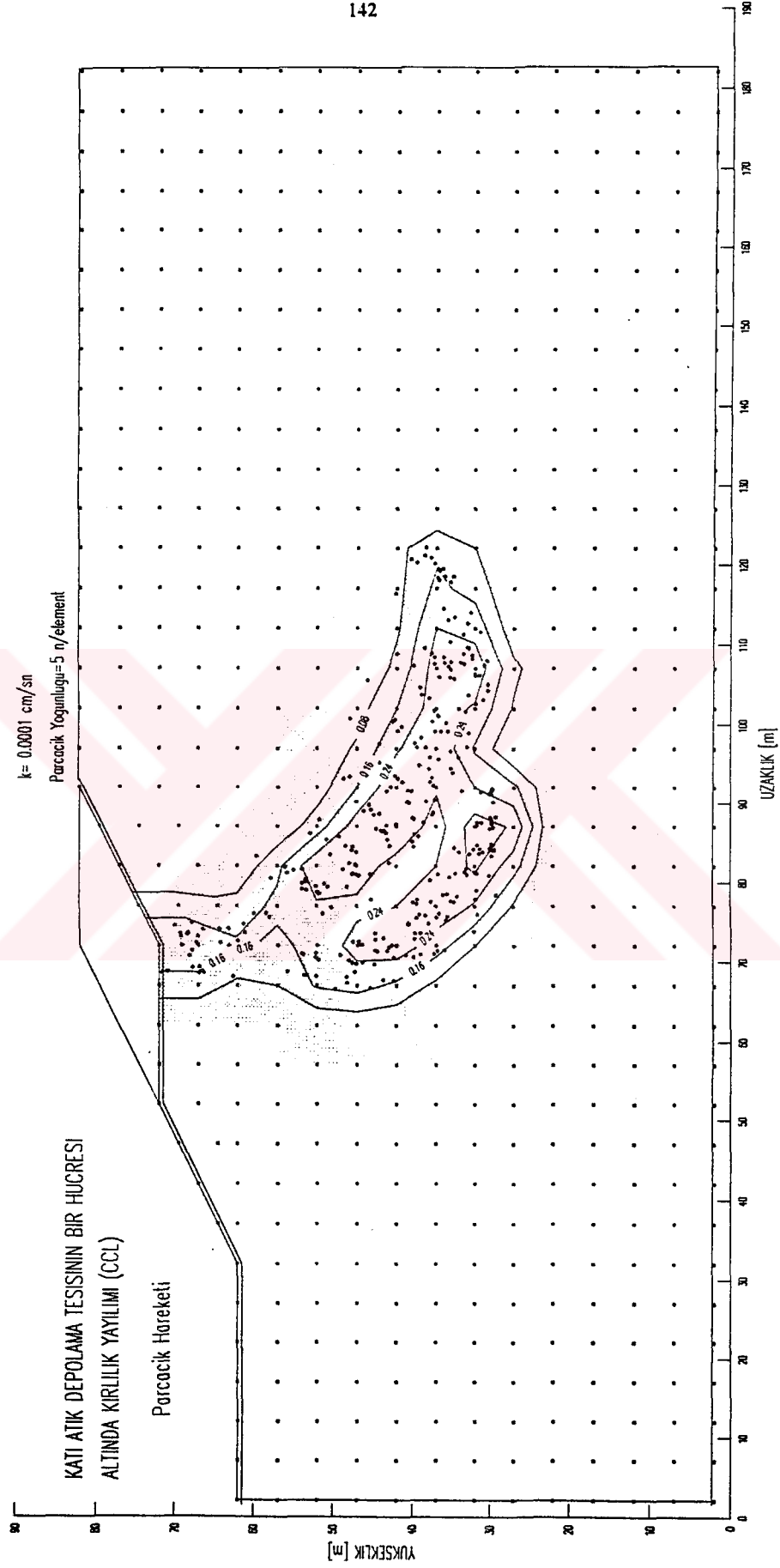
Şekil Ek A.14 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Sıkıştırılmış Kil
 Şilteden 30 Günde Oluşan Kirlilik Yayılımı



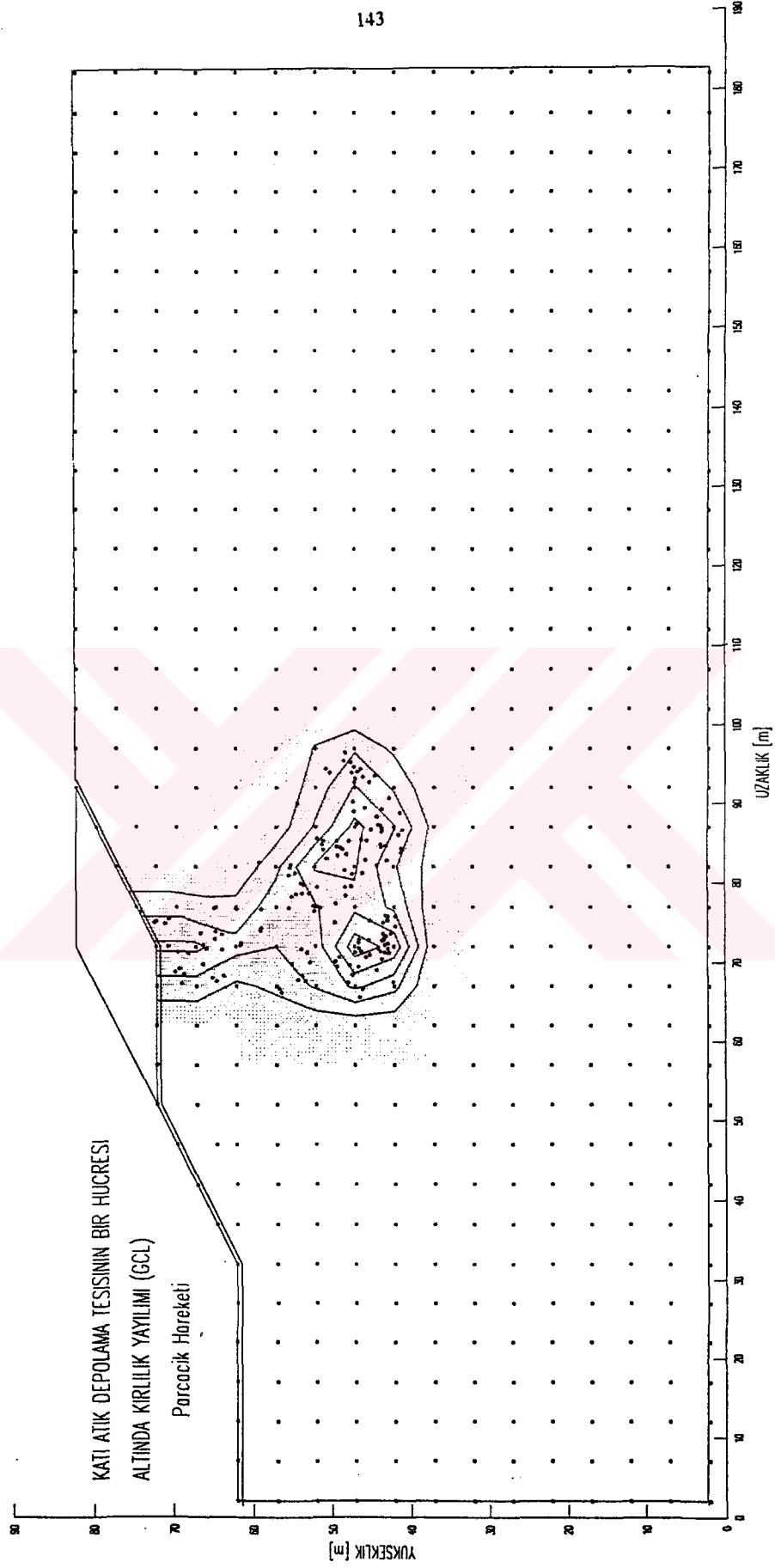
Şekil Ek.A.15 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Geosentetik Kil
Şilteden 30 Günde Oluşan Kirlilik Yayılımı



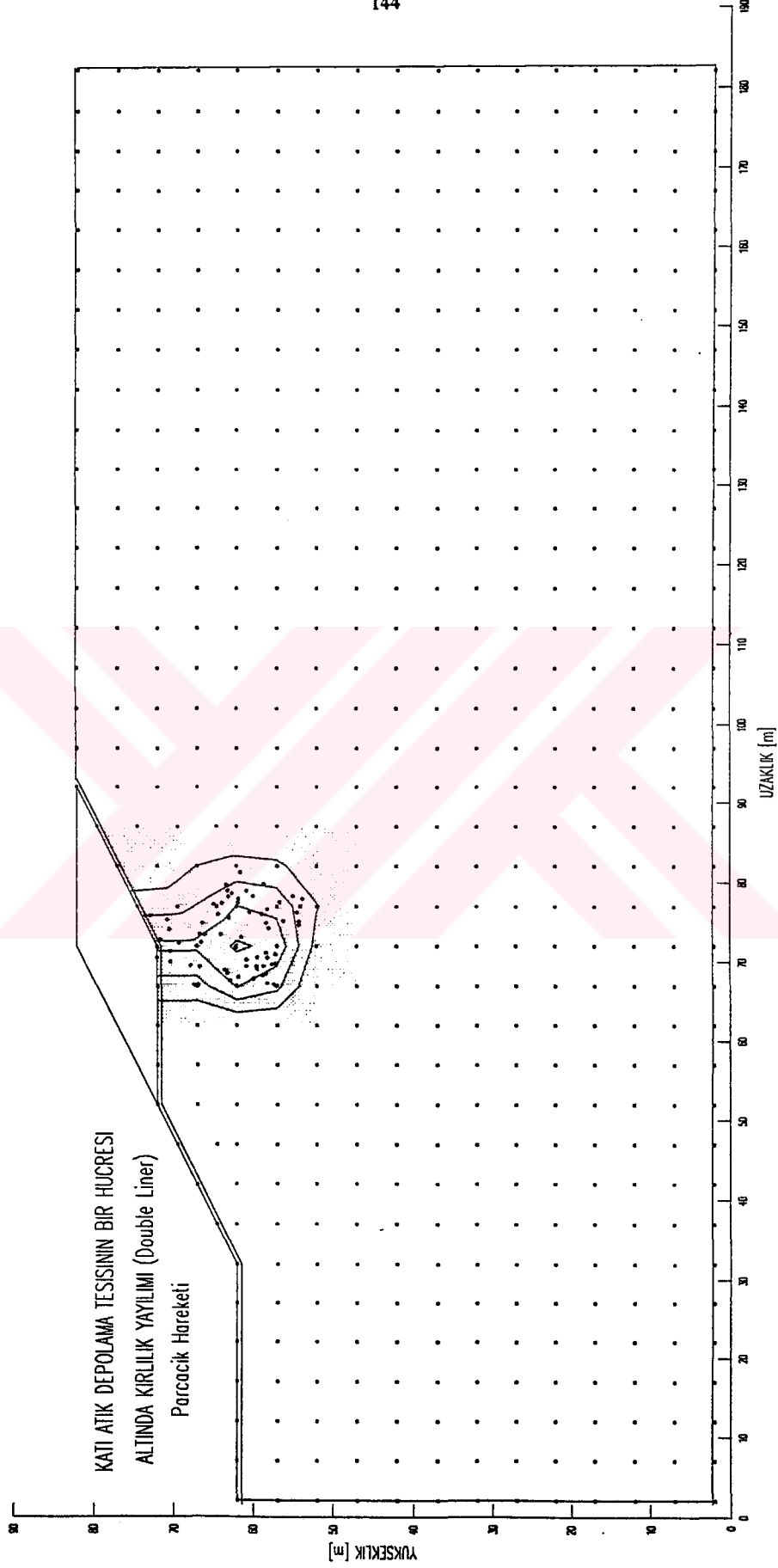
Şekil Ek.A.16 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Çifte Şilte Sisteminden 30 Günde Oluşan Kirlilik Yayılımı



Şekil Ek.A.17 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Sıkıştırılmış Kil
Şilteden 30 Günde Oluşan Kirlilik Yayılımı, Parçacık Hareketi



Şekil Ek.A.18 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Geosentetik Kil
Şilteden 30 Günde Oluşan Kırılma Yayılımı, Parçacık Hareketi

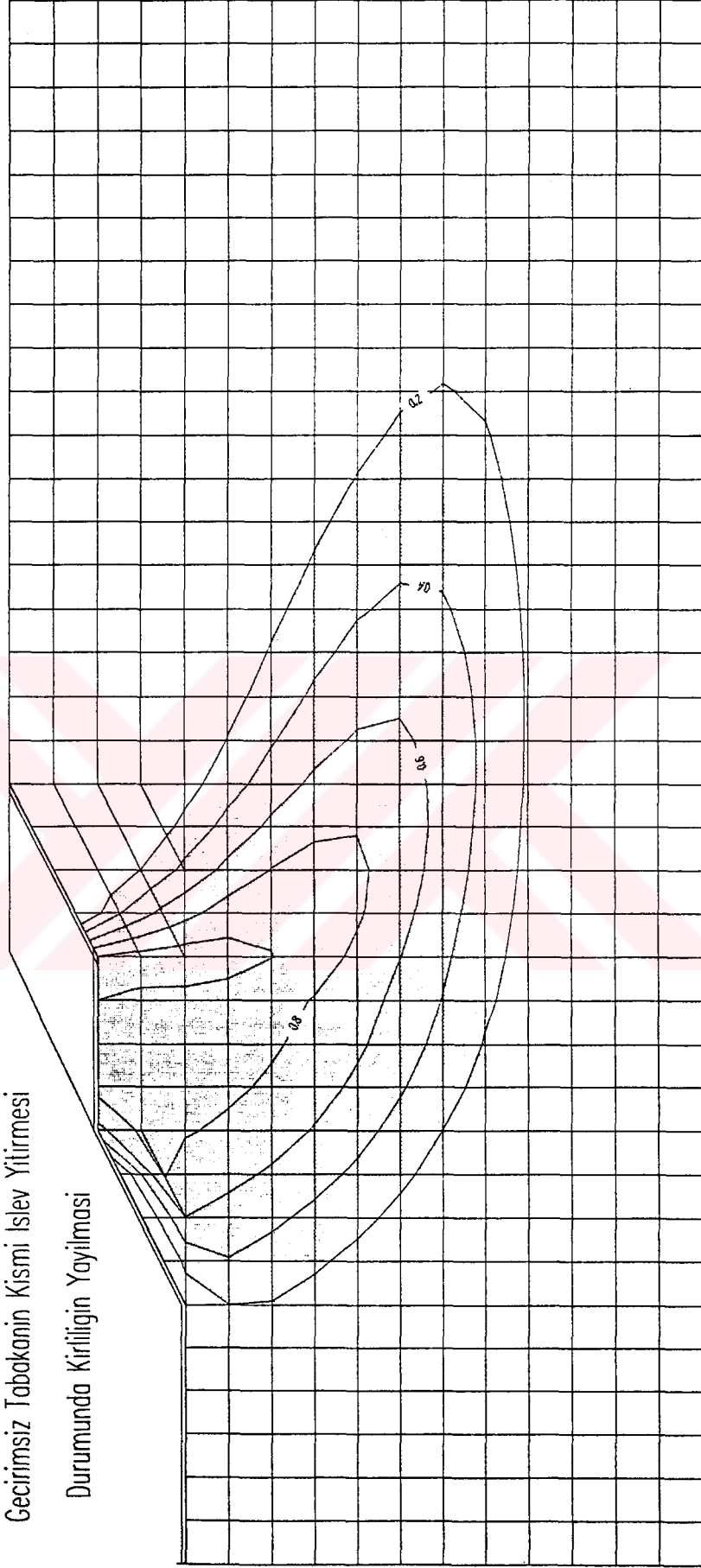


Şekil Ek.A.19 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Çifte Şilte Sisteminden 30 Günde Oluşan Kirlilik Yayılımı, Parçacık Hareketi

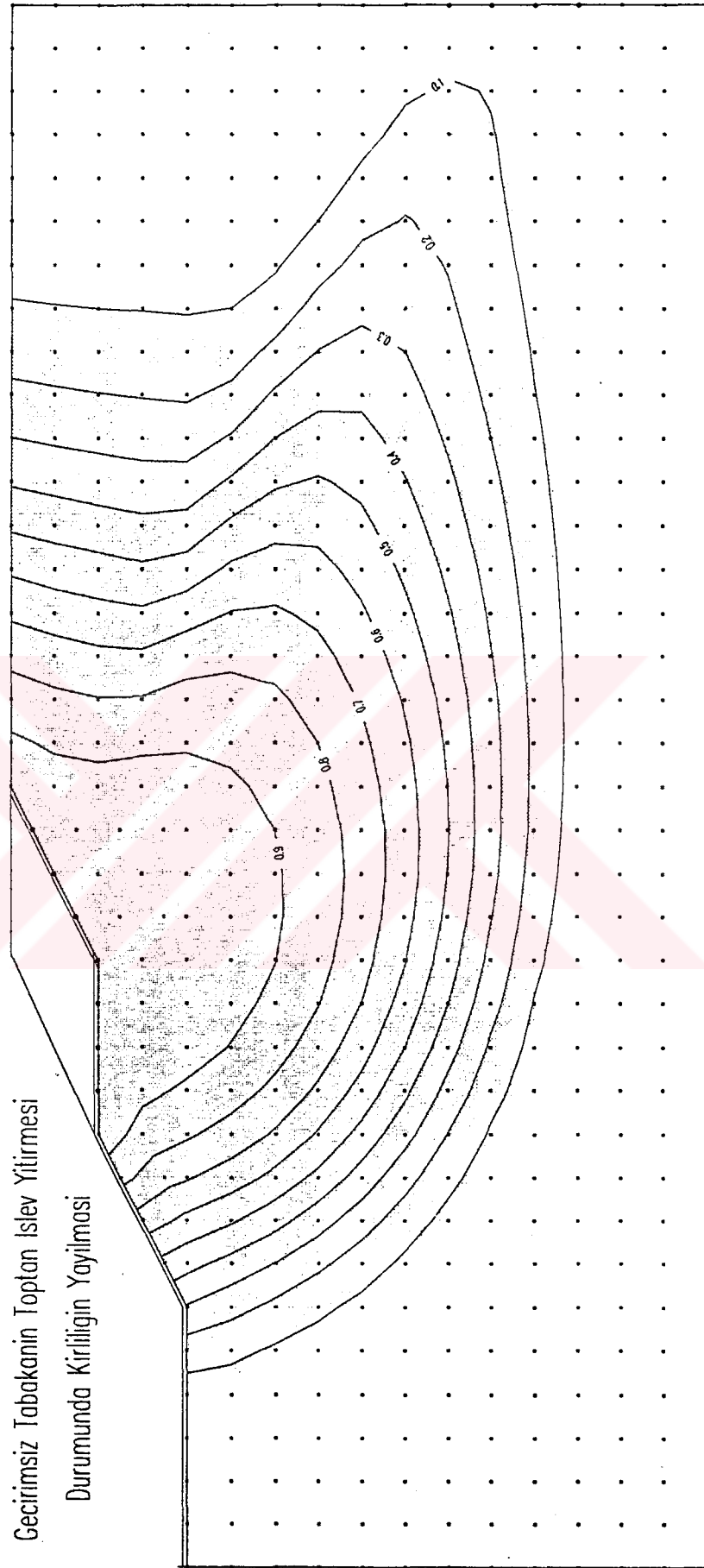
Kademeli İletilen Katı Atık Depolama Tesisi

Gecirimsiz Tabakanın Kısmi İslöv Yitirmesi

Durumunda Kirliliğin Yayılması

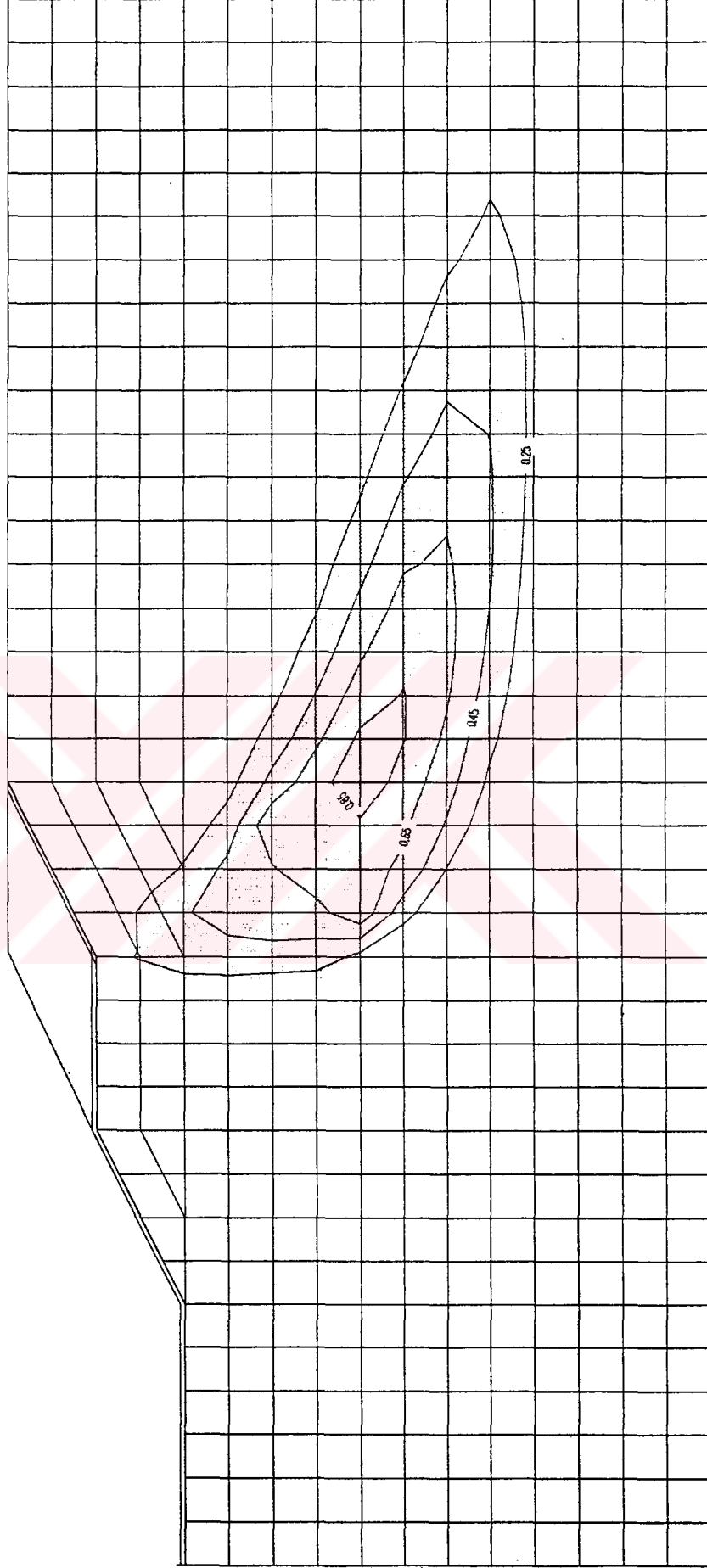


Şekil Ek.A.20 Kademeli İletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Şilte Kısımlı İşlev Yitirimi ve Kirlilik Yayılımı



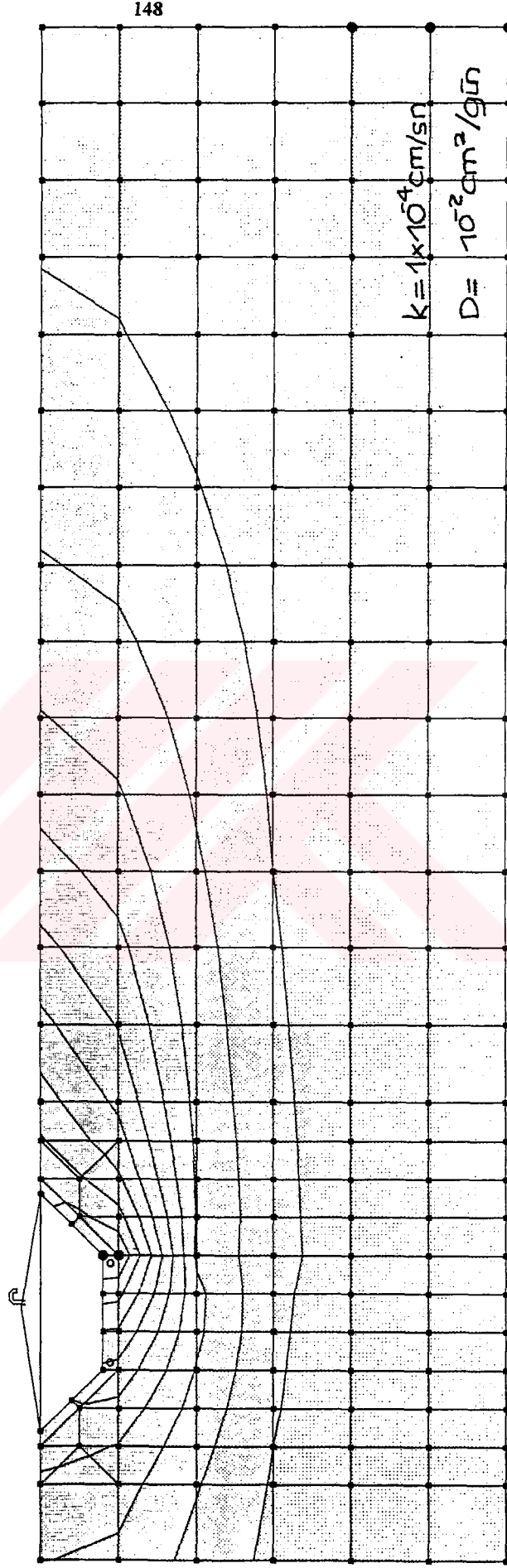
Şekil Ek.A.21 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Hücresinin Yamaç Şevindeki Kısmıda Dahil, Toplantı Sızdırmazlık Özelliğini Yitirmesinden 30 Gün Sonra Oluşan Kirlilik Yayılımı

Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi Onarımın Tamamlanmasından Sonra Ortamda Kirlilik Yayılımı



Şekil Ek.A.22 Kademeli İşletilen Katı Atık Depolama Tesisi-II, Sıkıştırılmış Kil Şiltenin Onarılıp Tekrar Hizmet Alınmasından Sonra Kirliliğin 50 Günde İzlediği Yol (Tünekte Kirliliği)

ANI SU YUKSELMESİ ETKİSİ ALTINDA
KİRLİTİCİNİN YAPTIĞI YÜZEYSEL YAYILMA

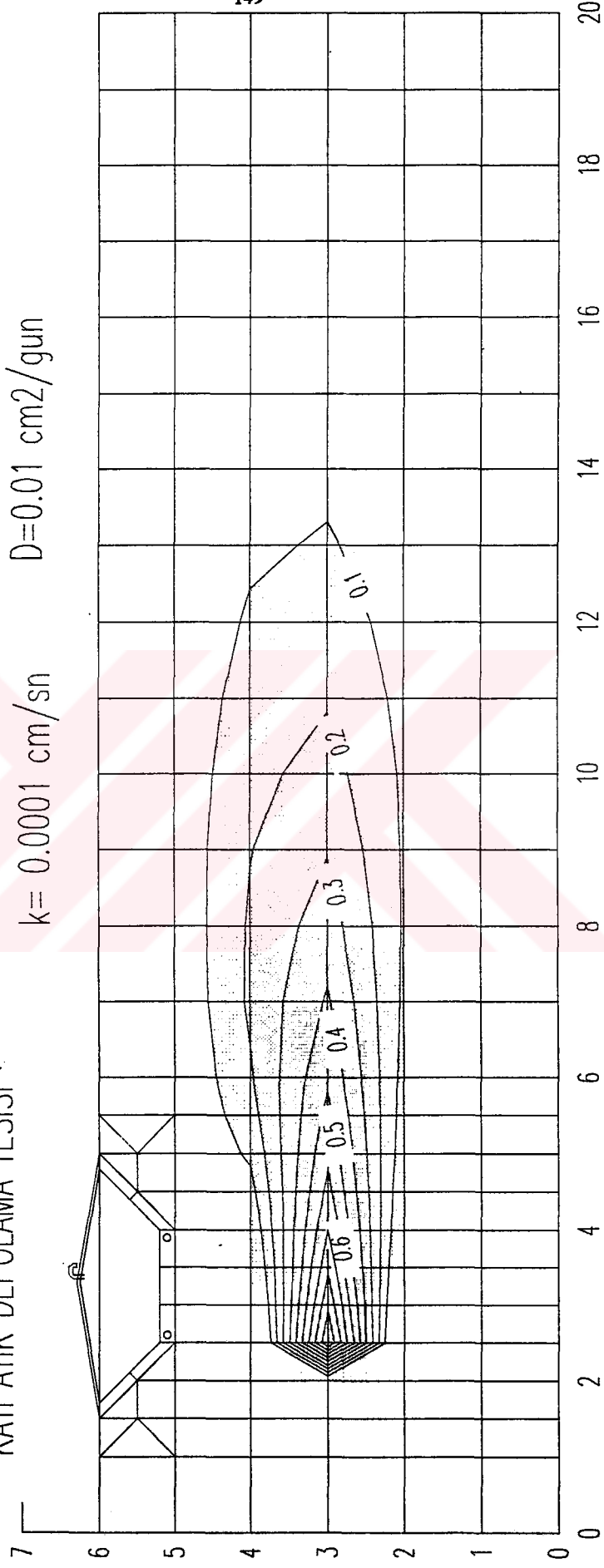


Şekil Ek.A.23 Ani Su Yükselmesi Etkisi Altında Kirliliğin Yüzeysel Yayılması

Terkedilmiş Bir Sondaj Kuyusunun Biraktığı Bosluktan Sızan Kirleticinin Hareketi

KATI ATIK DEPOLAMA TESİSİ

$$k = 0.0001 \text{ cm/sn} \quad D = 0.01 \text{ cm}^2/\text{gun}$$



Şekil Ek.A.24 Terkedilmiş Bir Sondaj Kuyusundan Yeralına Yayılan Kirlilik

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Adana'da doğdu. İlkokulu 1980-1981 öğrenim yılında Adana Atatürk İlkokulunda tamamladı. Ortaokul ve liseyi Adana Özel Adana Lisesinde 27. dönem birincisi olarak 1988 yılında tamamladı. Aynı yılki ÖYS sınavında İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 1992 yılı yaz yarıyılında aynı okuldan "İnşaat Mühendisi" olarak mezun oldu. 1992 yılı kış yarıyılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı Geoteknik Programına kaydoldu.

