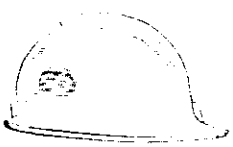
PN ADA-943

TREATMENT AND SAFE DISPOSAL OF HAZARDOUS WASTE

INTRODUCTION

Hazardous waste treatment and safe disposal is a key element of hazardous waste management. It is necessary for protection of human health and the environment. However, in the management of hazardous waste, it is important to consider another aspect, which is pollution prevention and waste minimization of hazardous waste. While, in many cases it may not be possible to avoid or eliminate generation of hazardous waste from some industrial processes, it is recommended that hazardous waste minimization opportunities should be evaluated at industrial facilities before implementing a waste treatment system. Whether on-site or off-site treatment is considered, waste minimization will reduce operating cost of industrial facilities generating hazardous waste.

Depending on the situation, hazardous waste treatment is either done at the industrial facility, where the waste is generated, or at an off-site commercially operated treatment, storage, and disposal facility (TSDF). In most cases, a typical integrated TSDF consists of different units, and a secured landfill.



"In the context of the continuous efforts to modernize and enhance the well-being of the Egyptian people, I have the pleasure to introduce these easy-guides for Hazardous Waste Management which come as an application of law 4 (1994).

These easy - guides certify the cooperation between the line ministries, government agencies and both the civil and the industrial societies. Such a cooperation is indispensable when it comes to the environmental aspects that ultimately accrue to the whole society.

I cannot, but give my thanks and appreciation, to those who achieved this work, particularly the Program Support Unit of the EEPP and the Ministries of Health, Electricity, Agriculture, Interior, Industry and Petroleum.

Finally, it is my wish that this publication has useful applications and serves as a reference to parties involved in generating, storing, transporting, treating, disposing and recycling of hazardous wastes in Egypt."

Dr. Hamdeah Rizk

TREATMENT TECHNOLOGIES

There are many treatment technologies for hazardous wastes available depending on several factors such as physical form of the waste (solid, liquid, or gas), quantity of waste, characteristics, combined or segregated wastes, degree of treatment required, and ultimate disposal method. The treatment technologies can be categorized into physical, chemical, biological, and thermal treatment. Combinations of treatment technologies are often used to develop the most cost-effective, environmentally acceptable solutions for hazardous waste treatment.

PHYSICAL TREATMENT

Physical processes for hazardous waste treatment include Screening, Sedimentation and Clarification, Centrifugation, Flotation, Filtration, Sorption, Evaporation and Distillation, Air or Steam Stripping, and Membrane-based processes. These processes are mostly applied to liquid hazardous wastes, and involve the separation of suspended or colloidal solids from the liquid phase. The selection of the technology depends mainly on the concentration and characteristics of the suspended solids relative to the liquid phase. Physical processes segregate the waste from one form to another, reduces the volume,

and concentrates the solids to facilitate further treatment, but do not detoxify the waste. Whenever a waste containing liquids and solids must be treated, physical separation of the solids from the liquid should be considered first because it is generally cost-effective to treat a low volume, high concentration waste. Usually physical treatment is used in combination with other treatment technologies for optimum waste treatment and disposal.

CHEMICAL TREATMENT

Chemical treatment involves the use of chemical reactions to transform hazardous waste into a less hazardous waste, or non-hazardous, or make it less mobile in the environment. Chemical treatment can be useful also in volume reduction and promoting resource recovery from hazardous wastes. Chemical treatment is commonly used before sending a hazardous waste to an off-site landfill for disposal. Also, since liquid hazardous wastes should not be disposed in a landfill without prior treatment, chemical treatment is often used to either make it non-hazardous, or at least convert it to a solid or semi-solid, that makes the contaminants chemically stable, and not mobile in the landfill environment. Chemical treatment therefore offers a number of options for hazardous waste treatment.

Many types of chemical treatment processes are used in hazardous waste management such as Neutralization, Precipitation, Coagulation, Flocculation, Oxidation and Reduction.

Chemical Neutralization

Neutralization of acidic and alkaline waste streams is an example of chemical treatment to mitigate liquid wastes characterized as corrosive and hazardous. Wastes that have a pH less than 2.5 or greater than 12 are considered characteristically hazardous waste based on Hazardous Waste Regulations (ER 338/1995). Neutralization of a waste that is an acid or alkali involves the addition of a neutralizing chemical to change the pH to a more neutral level in the range of 6 to 8. Industrial wastewaters frequently require neutralization prior to any other treatment or release to a municipal sanitary sewer system.

Alkaline wastewaters may be neutralized with a strong mineral acid, such as sulfuric acid (H_2SO_4) or hydrochloric acid (HCL), or with carbon dioxide CO_2. The reaction with mineral acids is rapid. Agitator vessels with pH sensors that control the acid feed rate are used. Flue gas from a combustion process is often used as a source of CO_2 for neutralization, thus making the neutralization process more economical.

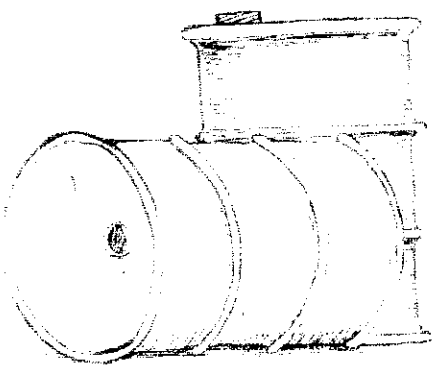
Liquid acidic wastes may be neutralized with lime [$Ca(OH)_2$], caustic soda (NaOH), or soda ash (Na_2CO_3). Since lime is less expensive than other alkalis or soda ash, it is most commonly used. The lime is added to the acidic wastewater in an agitator vessel with a pH sensor to control the lime feed rate.

The end products of neutralization are salt and water. Some salt may precipitate, and will have to be disposed.

Chemical Precipitation

The usual method for removal of dissolved heavy metals in liquid wastes is chemical precipitation. Metals precipitate at selected pH levels, depending on the metal ion, resulting in the formation of an insoluble compound. Generally, most metals precipitate in alkaline pH conditions. Hence, neutralization of an acidic waste stream may cause precipitation of heavy metals and allow them to be removed as a sludge residue. The hydroxides of heavy metals are usually insoluble, so lime or caustic is commonly used to precipitate heavy metals. Metals can also be precipitated as sulfides. The solubility of metal hydroxides and sulfides is influenced by pH, and should be taken into consideration to optimize metals precipitation.

Precipitation of heavy metals can be enhanced with the addition of various water-soluble chemicals and polymers that promote coagulation and flocculation. These processes are used to separate suspended solids from liquids when their normal sedimentation rates are slow to provide effective clarification. Coagulation is commonly used for removal of fine and colloidal solids in liquid wastes. Coagulation is the addition and rapid mixing of a coagulant to neutralize charges and collapse the colloidal particles so they agglomerate and settle. Colloidal solids require coagulation to achieve an effective size and settling rate, to enhance settling time in removing suspended and colloidal solids. Lime, alum and iron salts are common coagulants.



Chemical Oxidation and Reduction

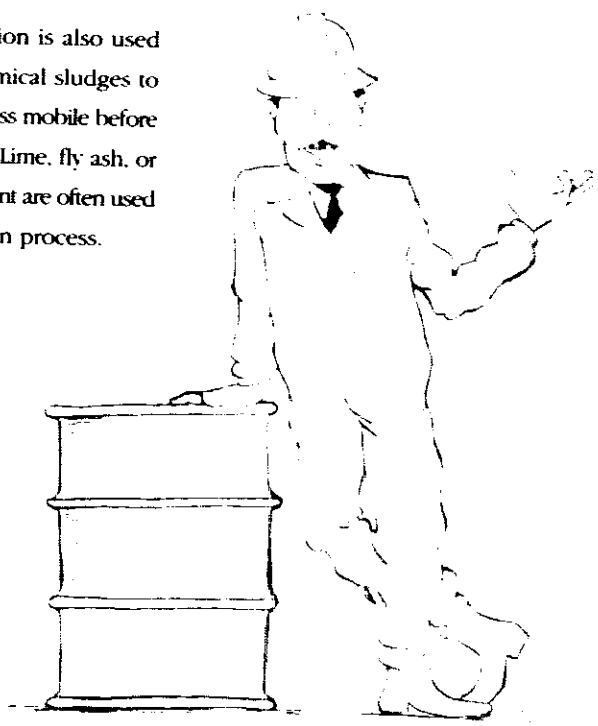
The chemical process of oxidation and reduction is used to convert toxic pollutants to harmless or less toxic substances. Oxidation is a reaction in which valence increases from a loss of electrons. Reduction is a reaction in which valence decreases from a gain of electrons. Chemical reactions that involve oxidation and reduction are known as redox reactions.

An example of oxidation-reduction reaction in hazardous waste treatment is the treatment of hazardous liquid wastes from the tannery industry. Hexavalent chromium generated from tanning industry is highly toxic and its presence in a waste requires careful management to avoid harm to human health and environment. Hexavalent chromium is first reduced to trivalent form under low pH (2-2.5) conditions, followed by increase in pH (approximately pH 8-9) by adding lime or caustic to be precipitated as chromium hydroxide. Treatment of cyanide liquid waste using alkaline chlorination is another example of chemical oxidation, in which the toxic cyanide is oxidized to a less toxic form as cyanate, and then further oxidized to carbon dioxide and nitrogen.

Chemical oxidation-reduction is also used commonly to stabilize chemical sludges to make the hazardous waste less mobile before being disposed in a landfill. Lime, fly ash, or pozollonic material, like cement are often used for the chemical stabilization process.

BIOLOGICAL TREATMENT

Biological treatment can be used for contaminated wastewater, landfill leachate, and contaminated soil. Biological treatment is often referred to as bioremediation. Biological treatment may be categorized according to the oxygen utilization, into aerobic processes and anaerobic processes. In the aerobic processes, oxygen is required to decompose organic matter using aerobic bacteria. Anaerobic processes, use anaerobic bacteria, in an oxygen deficient atmosphere, to decompose organic matter. Aerobic organisms are most commonly used to treat industrial wastewater. Anaerobic systems are generally used for the treatment of concentrated organic waste or organic sludges. Bioremediation is often used for treatment of soil contaminated with petroleum compounds. Bioremediation is a relatively low cost treatment option. However, the treatment is dependent on type and concentration of compounds, oxygen availability, temperature, moisture, and other factors. Bioremediation systems should be designed by professionals with specialized experience in this type of treatment technology.



THERMAL TREATMENT (INCINERATION)

Thermal treatment using incineration offers a technology that results in breaking down complex organic compounds in hazardous waste into carbon dioxide and water. Incineration enables detoxification of combustible hazardous wastes, which may contain toxic compounds that are carcinogens, mutagens, and teratogens. Incineration is generally recognized as one of the common treatment technologies in hazardous wastes management

Advantages of Incineration

Incineration is particularly desirable when dealing with large quantities of highly toxic organic hazardous wastes, since it can achieve high destruction and removal efficiency (DRE) of organic wastes, and produces an inorganic residue, which is non-toxic. Incineration is a suitable option when there is a mixture of different kinds of hazardous wastes. Another advantage of incineration is that since organic hazardous wastes often have high calorific value, the waste provides a fuel source for incineration. In addition to destroying the toxicity of the waste, incineration reduces the volume of hazardous waste. Reduction in volume makes management of hazardous waste much more economical, and reduces the space required for landfills. Another advantage of incineration is the reduction of leachability of the wastes after it is incinerated, thus making landfilling an acceptable method of final disposal, with significant reduction in potential for release of contaminants for groundwater contamination.

Disadvantages of Incineration

While incineration of hazardous wastes offers many advantages, it also has some disadvantages. The initial capital investment for an incineration system is generally higher than that for some of the other treatment technologies. Incineration technology also requires highly trained operators. Incineration results in release of particulates, and other undesirable compounds in air emissions.

The Chemistry of Incineration

Incineration represents a combustion process applied to the destruction of toxic substances present in hazardous wastes. Simply stated, incineration is the controlled high-temperature oxidation process to produce carbon dioxide and water, and inert residues.

The chemistry of combustion and the chemistry of incineration may be considered interchangeable. Both terms are used to define a thermal oxidation process. The distinction between combustion and incineration lies in the application of the chemistry and its relation to the desirable effects of resource conversion versus the destruction of undesirable substances. For example, in combustion, typically a valuable material, such as coal or oil , is oxidized in the presence of a flame to produce a desirable end product, energy, and undesirable gas emissions. On the other hand, in incineration an undesirable waste, such as hazardous wastes, is thermally destroyed to produce acceptable air emission products, such as carbon dioxide and water, and a solid ash residue. Some air pollutants are emitted in incineration of hazardous waste.

Several factors are necessary to be considered in the design of an incineration system. Any incinerator design must consider the three critical parameters, which are often referred to as the three T's of incineration time, temperature, and turbulence. Specifically, these are the temperature at which the furnace is operated, the time during which the combustible material is subject to that temperature, and the turbulence required to ensure that all the combustible material is exposed to oxygen to ensure complete combustion. In addition to the three T's, the pressure in the oxidation chamber, and the air supply for oxygen are also parameters for design. The optimal combination of all these parameters can significantly affect thermal destruction and removal efficiency (DRE). The efficiency of an incinerator is typically measured in terms of the DRE of the principal organic hazardous contaminants (POHC). For example, typical DRE requirements are 99.99% for most hazardous wastes, and 99.9999% for PCB and dioxin wastes. The design of the incinerator plays a key role in ensuring adequate destruction of the hazardous waste and should include the following factors:

1- **Temperature**- Temperature is one of the most significant factors in ensuring proper destruction of the hazardous waste in any thermal destruction process. The destruction and removal efficiency (DRE) in any incineration operation depends on the incinerator temperature. Depending on the type of waste, and design of the incinerator, and DRE required, temperature for hazardous waste incineration varies generally from 800°C to 1500°C.

2- **Residence Time** – The residence time for any given flow rate, can be determined by the dimensions of the incinerator. Optimal combination of residence time and temperature is necessary to ensure compliance with destruction and removal efficiency (DRE) requirements of the regulations.

3- **Turbulence** – The degree of turbulence is used in design to attain desirable DRE to destroy the POHC of the hazardous waste, and lessen the severity of operating temperature and residence time requirements. The configuration of the incinerator affects the ability to create turbulence, and destroy hazardous waste. Pumps, blowers, and baffles should be selected based on the type of waste and required DRE.

4- **Air supply**-Incineration involves the reaction of combustible components with air, which normally provides the oxygen required for complete combustion. Products of incomplete combustion (PIC) are undesirable, and results in air emissions of compounds such as carbon monoxide, if optimal combination of residence time, temperature, or air is not maintained.

5- **Pressure**-It is common practice to design the hazardous waste incinerator to operate at slightly negative pressure to reduce fugitive emissions. However, thermal destruction systems operating at a positive pressure, requires non-leaking enclosures.

6- **Materials of Construction** – The materials of construction of an incinerator must be designed conservatively to handle a wide variety of hazardous wastes, and the high temperature conditions. Materials of construction can vary from ordinary steels to alloys. Incinerators are generally lined with refractory materials to withstand the high temperature, and aggressive chemicals.

7- **Material Feed System** – Material feed systems is one of the important parameters to consider in the design of incinerators, particularly those used for treating a wide variety of hazardous wastes of different chemical composition, and physical characteristics. Experience has shown that many incinerators with well-designed optimal process conditions had problems in operation and performance due to inadequately designed material feed systems.

8- **Emissions Control System** – Incinerators have undesirable air emissions that have to be controlled. Air emissions can be particulate matter, oxides of nitrogen, and sulfur, acidic vapors, carbon dioxide, metals, and other products of incomplete combustion. The design of the incinerator must consider treatment and control of the emissions. Bag filters, electrostatic precipitators, dry and wet scrubbers, and carbon adsorption systems, are common devices used for control of air emissions.

Types of Incineration Systems

A number of different types of incineration systems are available which successfully treats hazardous waste. Some are better suited for liquid wastes, while others can handle solid and liquid wastes. The two most common types of incinerators systems, based on liquid feed and the solid feed types are as follows:

- Liquid Feed Incinerator
- Rotary kiln Incinerator

Liquid Feed Incinerator

A large number of hazardous waste incinerators used today are of this type. The waste is burned directly in a burner or injected into a flame zone or combustion zone of the incinerator chamber through atomizing nozzles. Liquid injection-type incinerators are usually refractory-lined chambers, generally cylindrical in cross-section, and equipped with a primary burner (waste and or auxiliary fuel fired). Often secondary combustors are required where low heating value waste liquids are to be incinerated. Liquid incinerators operate generally at temperatures from 1000°C to 1500°C. Residence time in the incinerator may vary from milliseconds to as much as 2.5 seconds. The method of injection of the liquid waste is one of the critical factors in the design and performance of these incinerators. Organic liquids pass through three phases before oxidation takes place. The liquid droplets are heated, vaporized, and superheated to ignition temperature. Proper mixing of air with the atomized droplet is very important for complete oxidation. Inorganic particles carried in the liquid waste stream may become molten and agglomerate into molten ash. The ash can be landfilled.

Rotary Kiln Incinerators

The rotary kiln is often used in hazardous waste incineration because of its versatility in processing solid, and liquid, and containerized wastes. The kiln is refractory-lined. The shell is mounted at a slight incline (about 5 degrees) from the horizontal plane to facilitate mixing the waste materials. A conveyor system or a ram usually feeds the solid and containerized wastes. Hazardous liquid wastes are injected through a nozzle (s). Noncombustible metal and other residues are discharged as ash at the end of the kiln.

Rotary kiln incinerators are cylindrical, refractory-lined steel shells supported by two or more steel trundles that ride on rollers, allowing the kiln to rotate on its horizontal axis. The refractory lining is resistant to corrosion from the acid gases generated during the incineration process. Rotational speeds range from 0.5-2.5 cm/sec. The kilns generally range from 6 to 14 feet in diameter and 25 to 100 feet in length. The burners for the kilns range from 10 million British Thermal Units (BTU) per hour to 120 million BTU per hour.

The advantages of the rotary kiln include the ability to handle a variety of wastes, high operating temperature, and continuous mixing of incoming wastes. The disadvantages are high capital and operating costs and the need for trained personnel. Maintenance costs can also be high because of the abrasive characteristics of the waste and exposure of moving parts to high incineration temperatures. Both stationary and mobile type kiln incinerators are available. Figure 1 shows a typical rotary kiln incinerator

Cement kiln incinerator, which is a rotary kiln, is an option, which can be used to incinerate most hazardous wastes. Rotary kilns used in cement industry are much larger in diameter and longer in length than the previously discussed hazardous waste rotary kiln incinerator. The manufacture of cement from limestone requires high kiln temperatures (1400°C) and long residence times, creating an excellent opportunity for hazardous waste destruction. Further, the lime can neutralize the hydrogen chloride generated from chlorinated hazardous wastes without adversely affecting the properties of the cement. Liquid hazardous wastes with high heat contents are a supplemental fuel for cement kilns and promote the concept of recycling and recovery. As much as 40 percent of the fuel requirement of a well-operated cement kiln can be supplied by hazardous wastes such as solvents, paint thinners, and dry cleaning fluids. However, if hazardous waste is burned in a cement kiln, attention has to be given to determine the compounds that may be released as air emissions because of the combustion of the hazardous waste. The savings in fuel cost due to use of hazardous waste as a fuel, may offset the cost of additional air emission control systems required in a cement kiln. Therefore with proper emission control systems, cement kilns may be an economical option for incineration of hazardous waste.

SECURED LANDFILL DISPOSAL FACILITIES

Industries in Egypt most commonly send their hazardous wastes off-site for landfill disposal, since this is the only alternative available. These landfills are essentially dumpsites used for non-hazardous waste disposal, and do not have any waste treatment facilities, or the liner system necessary for hazardous waste landfills. The practice of disposing hazardous waste in non-hazardous waste landfills and without prior treatment poses a serious threat to the environment, because the leachate containing high concentration of hazardous and toxic compounds easily migrate underneath the landfill and contaminate the subsurface soil and groundwater.

A secured landfill can be defined as an engineered facility for land disposal of hazardous wastes. A secured landfill facility is often a treatment, storage, and disposal facility (TSDF). It should bet carefully planned and constructed to ensure efficient, long-term operation without adverse environmental impacts. Optimal use of the landfill capacity is necessary to ensure the long-term operations of the TSDF. Treatment of the waste prior to landfilling minimizes the potential for leachate migration, and reduces he volume of waste for disposal.

Development of a new hazardous waste landfill project entails several phases over lifetime of the landfill as follows:

- Site selection phase
- Designing phase
- Construction phase
- Operation and management phase
- Closure phase
- Post closure monitoring phase

Site Selection

Selecting a hazardous waste landfill site requires consideration of a number of factors as follows:

- Groundwater
- Flood plains
- Surface water
- Air quality
- Operational safety
- Endangered species
- Climate

The geological structure below the landfill is important in establishing the design parameters. Critical design parameters include the depth to groundwater, characteristics of subsurface soils, and groundwater transmissibility. Groundwater aquifers underlying the landfill site must be located. Hazardous waste landfills must also be located outside historic floodplains. In order to address surface water impact issues, the landfill should

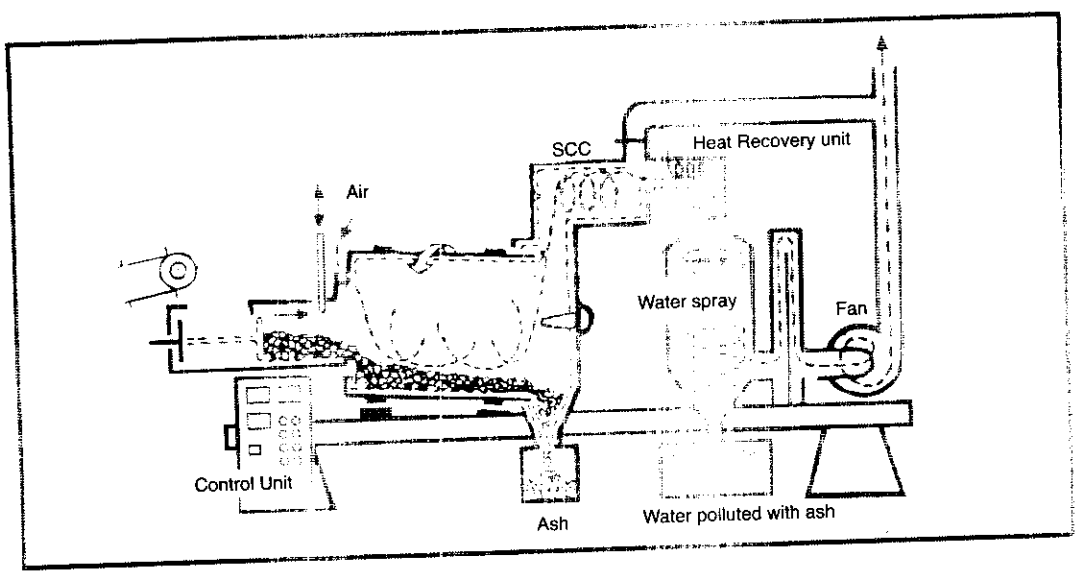


Figure (1): a typical rotary kiln incinerator.

consider adjoining surface water bodies on to which drainage of runoff may occur from the landfill. The air quality in the vicinity of a hazardous waste landfill must be monitored and controlled to ensure compliance with applicable standards for emission of toxic compounds. Endangered species must be considered in the siting process. Other considerations in landfill site selection include climate, the topography and hydrogeology of the area. Soil is an important determinant in the choice of an appropriate hazardous waste landfill site. Rocky soil must be avoided, wherever possible for excavation problems and due to high permeability. Soil permeability at the site is generally the major factor affecting the rate of contaminant transport through the soil. An ideal native soil underlying, and in the vicinity of the landfill should have a maximum permeability of 1×10^{-7} cm sec.

Other factors to consider in locating a landfill include distance from the points of waste generation, availability of space for current and projected waste quantities, infrastructure in the area to transport the waste, and wind direction relative to population and ecological receptors.

Designing a Landfill

A properly designed and constructed landfill should incorporate proven technology to guard against the release of contaminants into air, surface water, and groundwater, reducing environmental concerns over its entire operating and post - closure life. Proper landfill design is most effective when it is considered an integral part of the site selection process. In designing the landfill, the following key design parameters should be considered:

- Type and volume of hazardous waste
- Topography and soil characteristics of the site and vicinity
- Climatic conditions
- Surface water bodies in the area
- Groundwater characteristics
- Selection of liner system for the landfill
- Quantity and characteristics of the leachate
- Selection of leachate collection and treatment systems
- Closure and post-closure plans

Some of the key components of a landfill are as follows:

Liner System

A landfill for hazardous wastes must include a liner and drainage system that is chemically resistant to the types of wastes and the leachate produced. The purpose of the liner is to provide an impermeable barrier layer under the waste to prevent leachate migrating into the groundwater below the landfill. A wide variety of materials are available for liners in hazardous wastes landfill construction. Synthetic flexible membrane liners are generally considered to offer the best long-term containment of leachate. The chemical and physical properties of these liners should be weighed carefully to ensure both long life and cost-effectiveness of the liner system. Common materials used for synthetic liners include high density polyethylene (HDPE), polyolefins, and poly vinyl chloride. Selection of the appropriate liner material is a critical design parameter that affects long-term performance of the landfill. Depending on the application, liner thickness generally varies from 40 to 100 mils. Fig (2) shows a landfill with a liner system.

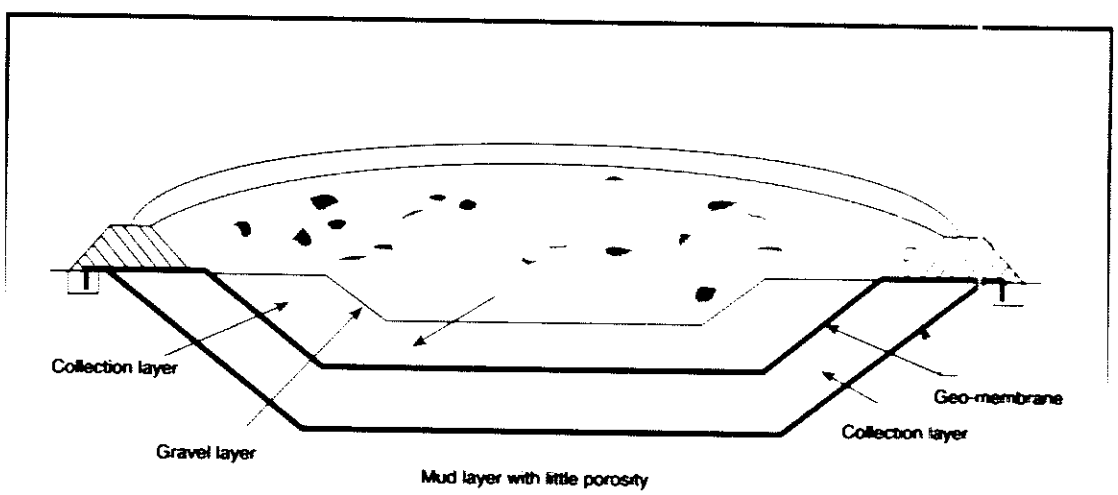


Figure (2): Landfill with a liner system.

Depending on the site-specific conditions, a single or double liner system may be used in the landfill. It is recommended that a double liner system be used in hazardous waste landfills to protect the groundwater. In case where the groundwater is quite deep, and the soil below the landfill is a thick layer of low permeability clay material, a single liner system may be an option. In either a single or double liner system, it is important to have a compacted clay liner (at least one meter thick) at the bottom of the landfill. This clay liner should have a permeability not exceeding 1×10^{-7} cm/sec. If the natural underlying clay in a landfill is a deep layer, and has a similar low permeability, additional clay liner, although still preferable, but may not be essential.

Leachate Collection System

A leachate collection and removal system must be installed above and below the liner. A riser pipe extending from the sump in the leachate collection system to the ground surface facilitates removal of leachate. This pipe allows the leachate to be pumped to the surface for subsequent treatment and disposal. The leachate collection system must remain operational during the entire post-closure period. The material of construction for the leachate collection and monitoring system must have high chemical resistance to the anticipated constituents in the leachate.

Cover System

A significant source of leachate generation at hazardous waste landfills is the infiltration of water through the top of the landfill from rainfall precipitation. Some of this precipitation flows off the landfill as runoff, carrying contaminants. In order to minimize leachate generation and runoff contamination, hazardous waste landfills must have a cover system. The final cover for the landfill is intended to minimize infiltration of surface water, prevent runoff contamination, prevent erosion of the soil, and generally maintain the integrity of the hazardous waste landfill long term over the post closure period, which may be 30 years.

Slope Stability

Landfills must be stable during construction, operations, and for many years after closure. Landfill failure due to inadequate slope stability sometimes occurs, and can be a major problem. Special attention by an experienced geotechnical engineer to address slope stability of the landfill is essential during the design of the landfill.

Landfill Construction

Construction of a landfill involves several steps, which must be followed with close supervision, quality control, and attention to details. Steps for landfill construction are as follows:

- The natural soil is excavated to the planned depth and the excavated material is often used for constructing the lateral embankment for the portion of the landfill above ground.

- At the bottom of the landfill an impermeable compacted clay layer, is placed. The layer should be minimum 1 m thick. The permeability of this layer should nor exceed 1×10^{-7} cm/sec.

- A layer of non-woven fabric (geo-textile) is placed above the clay. The purpose of the geo-textile is to smooth out the unevenness of the clay layer, and protect the geomembrane synthetic liner against any damages due to sharp stone edges that may puncture the liner.

- A geomembrane liner is laid on the top of the geotextile layer. Since the liner is one of the critical components of the landfill construction, particular attention must be paid to liner installation. One of the key aspects of laying the liner is the location and seaming of the joints. The liner should be overlapped at the joints such that the leachate would drain away from the joint. Special care should be taken to use manufacturer's recommended techniques for seaming the joints, and testing for integrity.

- On the top of the liner layer, a layer of sand is laid to form the drainage layer. In the sand, a system of perforated drainage pipes is installed for collecting the leachate. The hydraulic conductivity of the drainage layer should generally be 1×10^{2} cm/sec or more. The minimum thickness of the drainage layer should be 30 cm Slope of the drainage layer should be a minimum of 2%.

- On top of the drainage layer, a filter layer is recommended with minimum thickness of 20 cm. The filter layer can be made of gravel or crushed rock. The waste is placed on top of this layer.

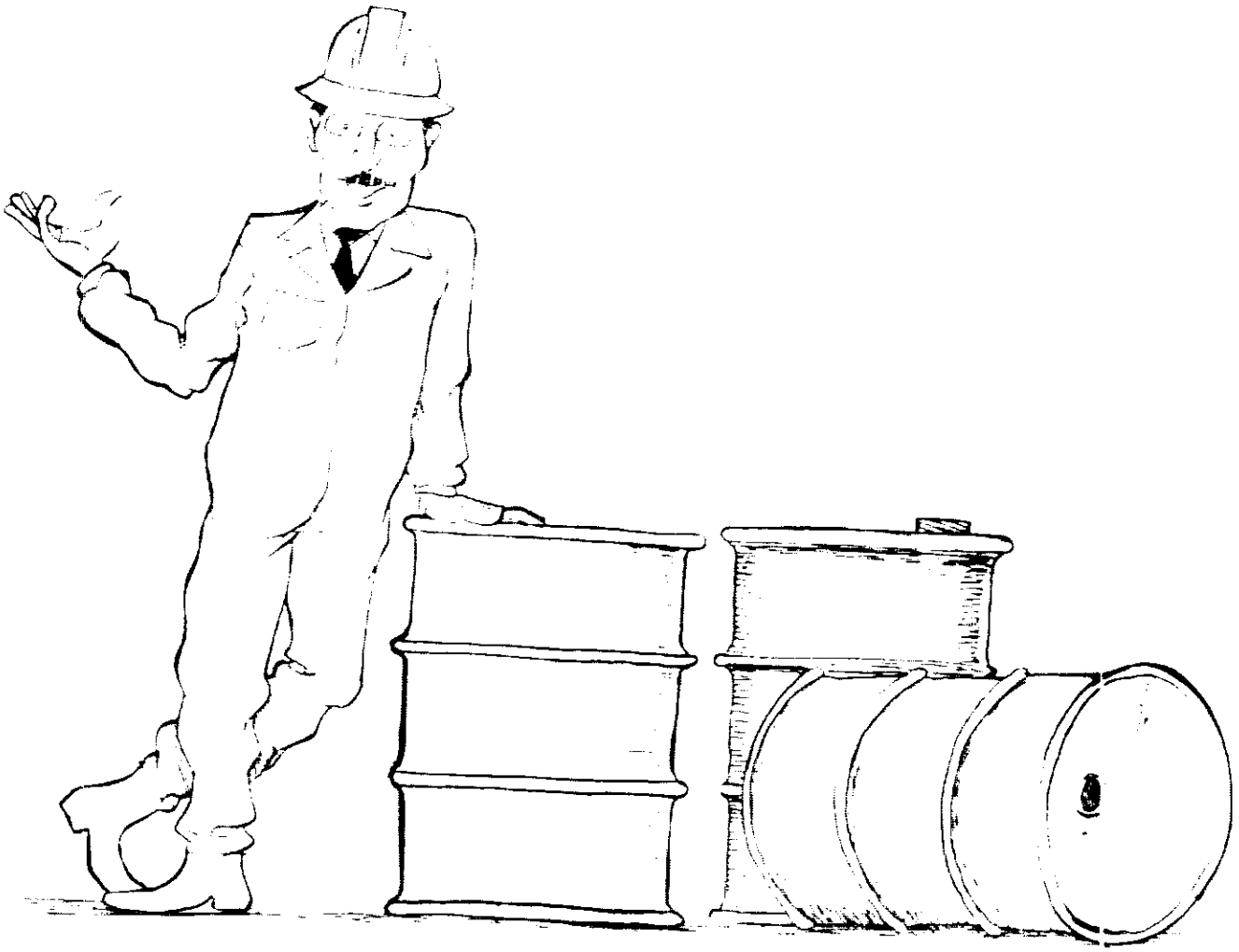
- When the landfill is filled and covered, a cover system is installed. The cover system is composed of a geomembrane layer over the soil cover on the waste, with a drainage layer above it, and finally a vegetative layer of topsoil.

٥) يتم تركيب انابيب التصريف على طول المدفن حتى يتم تجميع وضع المرتشح بصورة جيدة وتحاط انابيب التصريف بطبقة من "الحصي". والغرض من الطبقة الحجرية (الحصي) التي توضع هو التخلص من المرتشح من المدفن الى بركة التبخير او الى نظام التجميع ومنع تراكم المرتشح على الطبقة الحاجزة. ويجب ان تمد طبقة الصرف في شكل حصى او صخور مجروشة في حجم الحبوب من ٦ : ٣٢ مم. ويجب ان تكون مادة الصخور المسحوقة او الحصى ذات مقاومة كيميائية ضد المرتشح من المدفن. وادنى سمك لطبقة الصرف يجب ان يكون ٣٠سم.

٦) يجب عمل نظام لتجميع الغازات المتجمعة (غاز البيوجاز) من كل خلايا المدفن الصحى وذلك لتوجية الغاز الى منطقة تجميعه ومحاولة الإستفادة منه في ادارة المولدات الكهربائية التي يمكن أن تمد المدفن بالطاقة الكهربائية اللازمة. ويجب أن تكون مادة أنابيب الغاز ووصلاتها مصنوعة من مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة طبقا للمواصفة ASTM F714 او ما يعادلها .

٧) يوصى بوضع طبقة ترشيح أعلى طبقة الصرف بسمك ادنى ٢٠سم. ويوضع المرشح اعلى البنية السفلية ويفصل بينهم نسيج جيولوجي بوزن ادنى ١٨٠جم/م٢ ويجب ان تصنع طبقة المرشح من حصى او صخور مسحوقة بحجم الحبوب ٦ : ٣٢مم.

٨) يتم عمل نظام مناسب للجمع والتصريف بعد امتلاء المدفن وتغطيته وذلك لتوجيه مياه الامطار الى مجارى المياه السطحية من خلال انابيب الصرف. كما ينبغى ان يكون لمادة الانابيب قوة كافية للحفاظ على شكلها الدائرى تحت الحمل الرأسى النهائى. وينبغى ان يكون لمادة انابيب الصرف مقاومة كيمائية كافية للمرتشح من المدفن. ولابد من انشاء شبكة انابيب لجمع المرتشح مصنوعة من مادة البولى إيثيلين عالى الكثافة طبقا للمواصفات ASTM F714 او ما يعادلها (DIN 8074/8075, ISO/CD 4065). كما يجب ان توضع الانابيب ومستلزماتها من مادة البولى إيثيلين ٨٠ (اقل مقاومة مطلوبة هى 8 MPa) والروابط بين الانابيب ولوازمها يجب لحامها كهربائياً طبقاً للمعايير المستخدمة وتوصيات المصنع.



يجب تضمين الموقع الجغرافى للمياه الجوفية والسطحية والظروف المناخية وخصائص التربة فى تصميم المدفن. كما ينبغى ان يكون حجم الخلايا مناسب وكذلك كميات التراب الذى سيتم استخدامها فى التغطية كافية ومتاحة لتقليل الارتشاح داخل المدفن.

وتعتمد كمية المرتشح بصورة كبيرة على كمية المياه المتسربة خلال الطبقة الترابية وطبقات المخلفات الخطرة. وللوقاية من الارتشاح يجب تجميع اى مرتشح ومعالجته بطريقة بيئية آمنة. يعتبر التصميم المناسب لنظام تجميع المرتشح امراً ضرورياً لتأكيد انه من الممكن التعامل مع السوائل الملوثة المتدفقة.

يجب ان يشتمل مدفن المخلفات الخطرة المصمم بطريقة جيدة على بطانة ونظام صرف يتعامل مع جميع انواع وكميات المرتشح المنتجة. ويجب ان يتم اختيار الغشاء والابطنة الغير نفاذة لضمان تشغيل المدفن لفترة طويلة.

يستخدم الغشاء الصناعى لتقديم افضل طريقة لمنع انتشار المرتشح على المدى الطويل. ويجب تقدير الخصائص الكيميائية والفيزيائية لهذه الابطنة بعناية وذلك لضمان العمر الطويل وفاعلية التكلفة للبطانات. من الممكن ان تكون خصائص التربة جيدة جداً اذا كانت الطبقة الطبيعية من الطين غير نفاذة ويجب الا يقل سمكها عن ٣م حتى تمثل حماية امنة لطبقات المياه الجوفية. بدون هذا الشرط فأنه من الضرورى استخدام مادة صناعية البولى إيثيلين عالى الكثافة (HDPE) كبطانة لقاع المدفن وكذلك الجوانب.

يجب مراقبة المياه الجوفية والسطحية بدقة لتوفير الانظمة التحذيرية المبكرة فى حالة وجود مشاكل. وهذه المتابعة ضرورية سواء اثناء التشغيل او بعد اغلاق المدفن. ويجب ان يقلل الغطاء النهائى للمدفن من تسرب المياه السطحية لمنع التلوث، واستخدام بطانة غير نفاذة يتبعها طبقة صرف ثم غطاء ترابى يوصى به حتى يظل فى خمول. وعادة ما تستخدم الرمال او المواد النفاذة الاخرى بين الطبقات المرنة والغطاء الترابى.

ويجب أن تكون خطط تشغيل ما بعد الاغلاق ملحقة بالتصميم الاصلى للمدفن كما يقلل التخطيط الملائم بصورة كبيرة من التأثيرات البيئية الضارة.

خطوات انشاء مدفن المخلفات الخطرة

١) يتم حفر التربة الى العمق المخطط له في التصميم وتستخدم نواتج الحفر لعمل الأسوار الجانبية وذلك للامتداد العمودى للمدفن .

٢) إذا كان ضرورياً (بالنسبة للتربة النفاذة) فيجب تغطية السطح السفلى بطبقة طينية غير نفاذة وذلك لحماية المياه الجوفية، علما بأن الحد الادنى المطلوب لنفاذية بطانة القاع هو ١ X ١٠$^{-٧}$سم/ثانية. ويجب ان يتم نثر المادة وكبسها طبقة طبقة. كما يجب ألا يزيد سمك الطبقة التى يتم كبسها عن ٣٥سم. ويكون مقدار كبس الطبقات السفلية على الاقل ٩٠٪ من الكثافة الجافة القصوى (وزن الوحدات الجافة)، وذلك لإعداد سطح مستوى للمدفن.

٣) يمكن استخدام بطانة صناعية من البلاستيك بالإضافة للبطانة الطينية وذلك لمنع انتشار المرتشح. ويجب ان تمد البطانة الصناعية على الجوانب. وينبغى ألا يحوى سطح الحاجز الجيولوجى (الطبقة الطينية) اى حصى، مما قد يتلف البطانة. ويجب تنظيف المنطقة المتصلة للبطانة البلاستيكية المراد لحامها كما يجب ان يكون الالتصاق فى اتجاه الانحدارات عند حواف البلاستيك. كما يجب ان تثبت حافة البطانة فى قمة الجوانب بعد تغطية البطانة بطبقة حماية نسيجيه. ومادة البطانة الصناعية هى HDPE البولى إيثيلين عالى الكثافة او مواد مركبة اخرى مع مقاومة حيوية وكيميائية وطبيعية مساوية. ويجب ان يكون السمك ٢مم او اكثر.

٤) توضع طبقة النسيج الجيولوجى Geotextile فوق الطبقة الطينية أو الطبقة البلاستيكية لتصريف المرتشح والامطار إن وجدت. وتساعد هذه المادة فى منع كومة المخلفات الخطرة من دفع طبقة التصريف الحجرية داخل الطبقة الطينية ولحماية الغشاء من التدمير بواسطة حركة الناقلات. والغرض من النسيج حماية طبقة البولى إيثيلين عالى الكثافة من التمزق. يتم وضع طبقتين من النسيج كمصفاة بعرض أدنى ١م ووزن أدنى ٤٥٠جم/م٢ ويمكن استبدالها بطبقة واحدة بوزن بين ١٠٠٠-١٢٠٠جم/م٢. كما يجب ان يتداخل النسيج الجيولوجى بالخياطة او بالتسخين ويكون هذا التداخل بمقدار ٥٠سم على الاقل.

يتطلب تحديد موقع المدفن خبرة هندسية جيولوجية. كما يجب اخذ العوامل التالية في الاعتبار عند تحديد موقع المدفن للتخلص من المخلفات الصناعية الخطرة ووضع الحد الادنى من المعايير الفنية لضمان حماية الصحة العامة والبيئة.

- المياه الجوفية
- مخرات السيول
- المياه السطحية
- جودة الهواء
- التشغيل الآمن
- المناخ

ومن الممكن ان تتأثر المياه الجوفية بسبب سائل الرشح من مدفن المخلفات الخطرة. وعند اختيار المدفن يجب مراعاة الطبقات الصخرية المائية القريبة. كما يجب ان تقع مدافن المخلفات الخطرة بعيداً عن مخرات السيول.

يجب مراقبة جودة الهواء بالقرب من خلايا المخلفات الخطرة لضمان الألتزام مع المعايير البيئية المطبقة والتقليل من اعتراض من يقطنون بالقرب من الموقع. نظراً لان قضية حماية الهواء بالموقع المختار تعتبر اساسية ومحورية لذا يجب بذل الجهد والمال لمواجهة هذه المسألة بصورة ملائمة وخاصة في تجميع الغازات المتجمعة نتيجة التفاعلات البيولوجية والأستفادة منها في توليد الكهرباء.

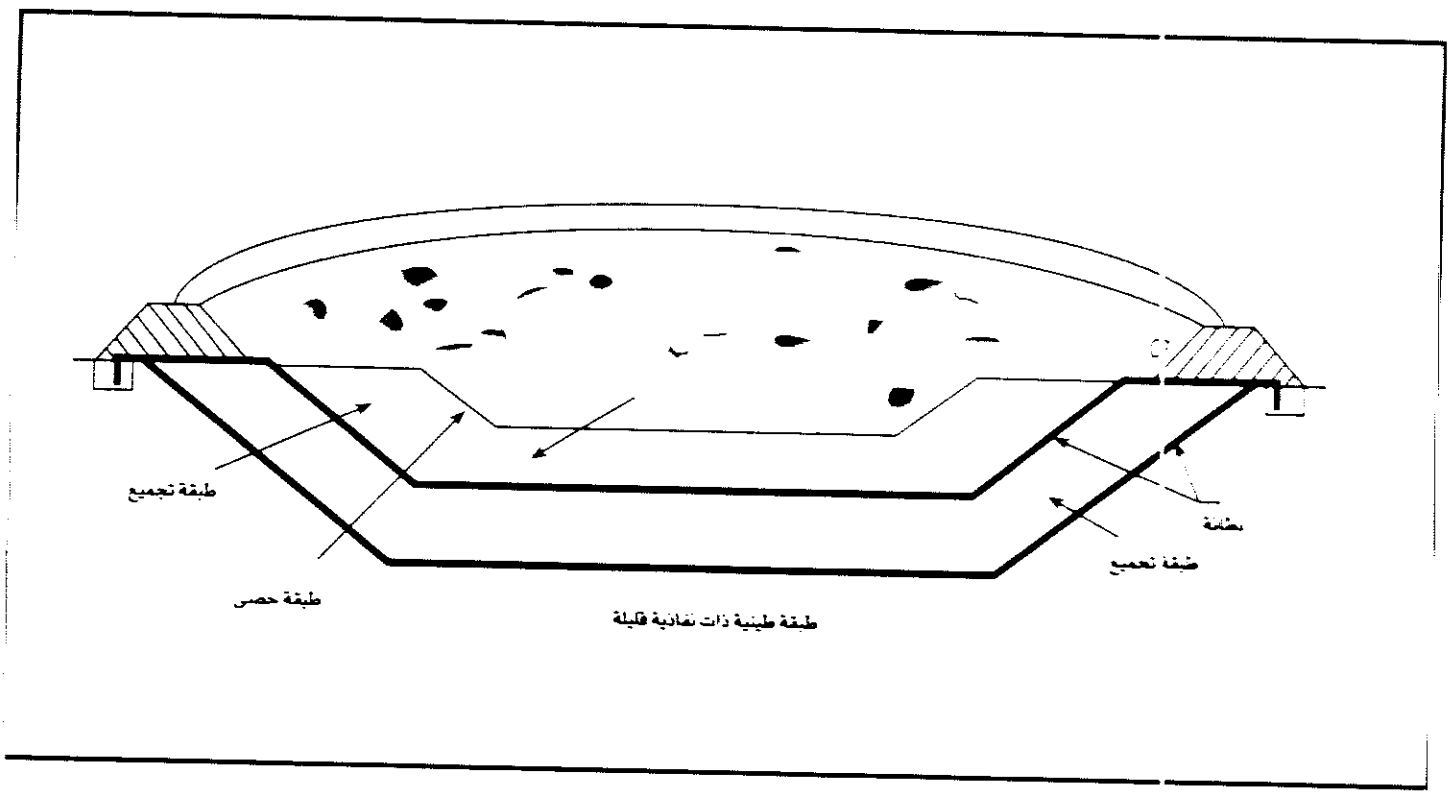
يجب تجنب التربة الصخرية بسبب مشاكل الحفر. وبصورة عامة تعتبر نفاذية التربة هو العامل الاساسي المؤثر على معدل انتقال التلوث خلال التربة. كما يلعب تركيب التربة دوراً هاماً في خصائص النفاذية. وسطح التربة الطينية الجيد له مساحة سطحية محددة لكل وحدة وزن. مما يؤدي الى قلة المرتشح والاختراق والنفاذية. ويجب الا تتجاوز درجة النفاذية بالنسبة للتربة المجاورة للمدفن عن ١ × ١٠^-٧ سم /ث.

المعايير التي يجب أخذها في الاعتبار لأختيار موقع المدفن الصحي:

١) طريقة الوصول للموقع وخطوط سير العربات
٢) ظروف التربة والوصف الجغرافي
٣) مستوى المياه السطحية وكذلك المياه الجوفية
٤) وضع طبقات الأرض والماء
٥) مساحة الأرض المتاحة
٦) الظروف المناخية
٧) ظروف البيئة المحيطة

تصميم المدفن

يجب ان يكون تقليل الأخطار البيئية والصحية إلى مستويات معقولة هو أحد الأهداف الرئيسية في تصميم المدفن. ويجب ان يتفق المدفن المصمم والذي سوف يتم إنشاءه مع التكنولوجيا لمنع تلوث الهواء والمياه السطحية والجوفية وتقليل الآثار البيئية وخاصة أثناء تشغيل المدفن وبعد إغلاقه.



شكل رقم (٢) نظام متكامل للمدفن مع طبقة العزل.

الأفقي. حيث أن البطانة الحرارية تقاوم التآكل الناتج عن تفاعل الغازات الحمضية المتولدة أثناء عملية الترميد. ويتراوح قطر الفرن من ٢ إلى ٥ متر وطولها من ٨ إلى ٣٧ متر. ونلاحظ وجود علاقة عكسية بين معدل دوران الفرن ومدة مكوث المخلفات، فكلما زاد معدل الدوران قلت مدة مكوث المخلفات. وتتراوح مدة المكوث من ٣٠ إلى ٨٠ دقيقة، بينما يتراوح معدل دوران الفرن من ٣٠ إلى ١٢٠ دورة فى الساعة. وأحد العوامل المؤثرة على مدة المكوث هو توجيه الفرن. حيث يتم توجيه الفرن بشكل مائل قليلا، فى وضع يسمى بزاوية الجرف، بحيث تكون فى وضع مائل من ٢ إلى ٥ درجة عن الوضع الأفقي.

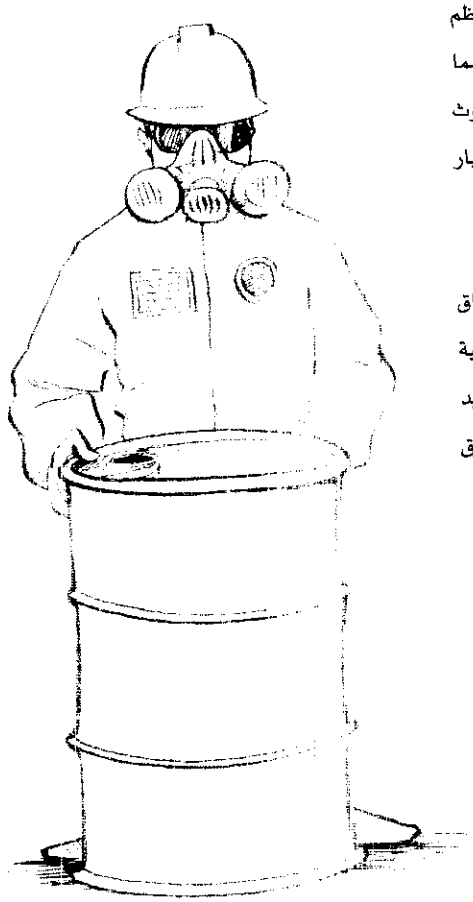
أما من ناحية التصميم، تصمم غرفة حريق الفرن الدوار إما بشكل غرفة تيار معاكس أو تيار مشترك. فى حالة التيار المعاكس، يتم إدخال المخلفات من الطرف العكسي للفرن وتنساب إلى أسفل زاوية الجرف تجاه الفرن، بينما يتم سحب غازات الاحتراق من زاوية الجرف. أما فى التيار المشترك، يتم إدخال المخلفات من نهاية الفرن وينساب إلى أسفل زاوية الجرف، كما يتم أيضاً سحب غازات الاحتراق إلى أسفل زاوية الجرف. هذا ويتم تصميم معظم غرف احتراق الأفران الدوارة فى شكل تيار مشترك مما يعطي سرعة أكبر لاشتعال المخلفات الداخلة ومدة مكوث أطول لغازات الاحتراق أكثر مما نجده فى حالة التيار العكسي.

تزود الأفران الدوارة للمخلفات الخطرة بغرف للاحتراق الثانوي (الاحتراق اللاحق) وذلك لتحقيق تدمير أكثر فاعلية للمخلفات الخطرة. ويتم تصميم هذه الغرفة بشكل يزيد من كفاءة التخلص من نواتج الاحتراق الجزئي و/أو حرق المخلفات السائله.

التخلص الآمن للمخلفات الخطرة (المدفن الصحى)

يمكن تعريف المدفن الصحى للمخلفات الصناعية الخطرة بأنه مقبرة مصممة بطريقة هندسية للمخلفات المتولدة من العمليات الصناعية. يتم التخلص الآمن من المخلفات الخطرة على الاسطح المعدة لذلك او المنطقة المحفورة وتغطيتها بطبقة من التراب يتراوح سمكها من ٢٠:٣٠سم. كما يتم تغطية قاع المدفن بطبقة واقية لحماية التربة والمياه الجوفية.

يؤيد الاقتصاديون نظام استخدام الدفن الصحى نظراً لانخفاض تكاليفه المبدئية. ولكن عند اخذ تكاليف المدفن قصيرة المدى وطويلة المدي فى الاعتبار وكذلك الآثار البيئية الناتجة فقد لا يّعد المدفن الطريقة الاقل تكلفة نتيجة لما يسببه من تلوث للتربة وللمياه السطحية والجوفية ... الخ. لذلك أصبح من الضرورى أخذ جميع التكاليف المباشرة والغير مباشرة فى الأعتبار حفاظا على الصحة العامة وحماية البيئة.



ويعتبر اسلوب المدفن الآمن للمخلفات الخطرة المتبع هذه الايام في معظم أنحاء العالم مقيد بأجراءات تتكون بصورة اساسية من مجموعة من الخطوات والتي يتركز في المعالجة والتخزين والنقل وسهولة التخلص من المخلفات، حيث يتم التخطيط للمدفن وانشائه بعناية لضمان كفاءتة وتشغيله لمدة طويلة مع عدم وجود اى تأثيرات ضارة بالبيئة. تعتمد عملية دفن المخلفات بصورة اساسية على الاستغلال الأمثل للمساحة المتاحة بكفاءة.

المراحل اللازمة لانشاء المدفن الصحى

يتضمن مشروع انشاء مدفن صحى جديد للمخلفات الخطرة العديد من المراحل يجب اخذها فى الاعتبار علاوة على عمر المدفن:

- مرحلة اختيار الموقع.
- مرحلة التصميم.
- مرحلة التشييد.
- مرحلة التشغيل والادارة.
- مرحلة الانهاء والاغلاق.
- مرحلة ما بعد الاغلاق والمتابعة.

تحديد موقع المدفن

سيتطلب تحديد موقع المدفن عمل مسح مفصل عن الموقع والبيئة المحيطة والمسائل المرتبطة به مثل تلوث الماء والهواء والحياة النباتية والحيوانية وكذلك وسائل النقل والعوامل الاقتصادية والاجتماعية. ومن الضرورى تقدير اثر موقع المدفن على البيئة للتحقق من مدى مطابقته مع قانون ٤ لسنة ١٩٩٤ واللائحة التنفيذية ٣٣٨ لسنة ١٩٩٥.

كيفية عملية الترميد

تحدث عملية ترميد المخلفات الخطرة خلال تدفق الحرارة والمخلفات داخل غرفة حريق مبطنة بمادة حرارية ذات درجة انصهار عالية. وبالتالي. يلعب تصميم غرفة الحريق دور هام ورئيسي لضمان تدمير المخلفات بشكل كافي. وتوجد العديد من العوامل الخاصة بتصميم غرفة الحريق والتي بدورها تؤثر على عملية التخلص الحراري وهي كالتالي:

١-**درجة الحرارة**: تعتبر درجة الحرارة أهم عامل لضمان حدوث تدمير تام للمخلفات الخطرة فى عملية التخلص الحراري. حيث تعتمد كفاءة التدمير والإزالة فى أى عملية ترميد على درجة حرارة غرفة الحريق. حيث يجب الوصول لى درجة الحرارة الأولية- وهي درجة الحرارة اللازمة لبدء عملية التخلص الحراري من النفايات الخطرة.

٢-**مدة المكوث**: يحدد حجم غرفة الحريق مقدار الوقت الذى تمكثه المخلفات د خل وحدة الترميد. وتتداخل هذه المدة الزمنية مع درجة حرارة التخلص الحراري لضمان توافقها مع ضوابط كفاءة التدمير والإزالة. حيث يجب أن تكون مدة الحريق كافية لتحقيق ضوابط كفاءة التدمير والإزالة.

٣-**الاضطراب**: قد تستعمل درجة اضطراب فعالة لتحقيق ضوابط كفاءة التدمير والإزالة المطلوبة وتخفيف المتطلبات الصارمة لدرجة حرارة التشغيل ومدة المكوث.

٤-**الضغط**: يتم تصميم معظم عمليات ترميد المخلفات الخطرة بشكل يمكنها من العمل تحت ضغط سلبى بهدف تقليل الإنبعاثات سريعة التطاير. ومع ذلك. تتطلب أنظمة التخلص الحراري. التي تعمل تحت ضغوط موجبة عالية. محارق مقاومة للتسرب.

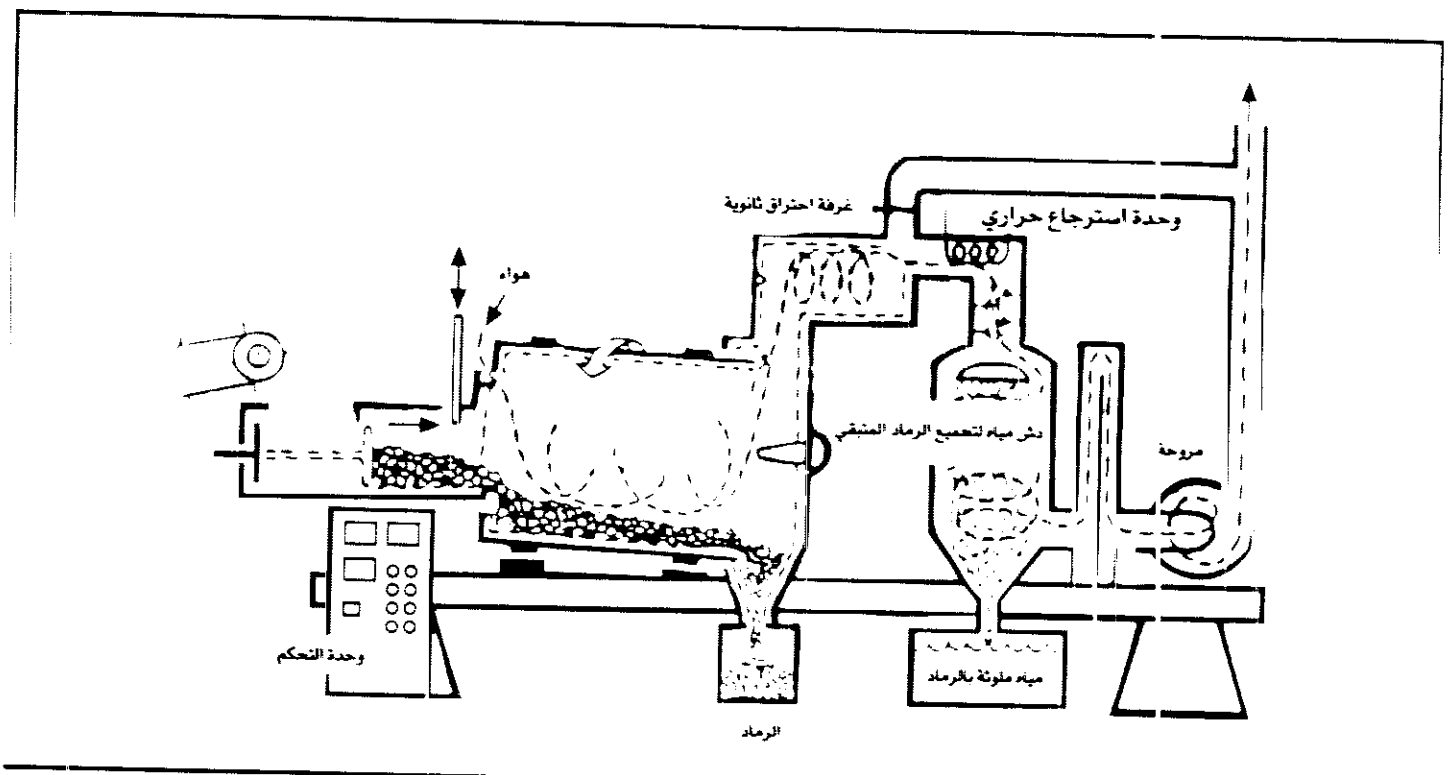
٥- **العوامل المساعدة**: هناك العديد من العوامل الإضافية التي ينبغي أخذها فى الاعتبار عند التخطيط لعملية تخلص حراري ذات كفاءة عالية. نذكر منها: ضرورة تصميم أنظمة التغذية بشكل يتسع ويتلاءم مع أنواع النفايات الخطرة المحددة طبقاً لدراسات السوق. كما أنه قد يستلزم إجراء احتراق لاحق لضمان تحقيق ضوابط كفاءة التدمير والإزالة. هذا بالإضافة إلى أنه عادة ما تجرى معالجة تالية فى نفس الاتجاه لتعادل وتزيل النواتج غير المرغوبة مثل الأحماض غير العضوية. كما أن عملية إزالة الرماد تلعب دور رئيسي وهام فى التخلص الحراري من المخلفات الصلبة أو شبه الصلبة.

أنواع أفران وحدات الترميد

كما هو معروف. توجد أنواع كثيرة جداً من وحدات الترميد التي تستخدم فى معالجة المخلفات الخطرة مثل الفرن الدوار و أفران حقن المخلفات السائلة وأفران الأشعة تحت الحمراء و أفران الوسادة المائعة.

فرن الترميد الدوار

يستخدم الفرن الدوار فى ترميد المخلفات الخطرة لقدرته المتعددة على معالجة كل من المخلفات الصلبة والسائلة والمعلبة. ويتكون الفرن الدوار من هيكل اسطواني الشكل مبطن بمواد حرارية مقاومة للصهر ومدعمة بدعامتين مثبتتين على اسطوانات تسمح للفرن بالدوران على محورها



شكل رقم (١) نظام الترميد باستخدام الفرن الدوار.

المعالجة الحيوية

يمكن ان تستخدم المعالجة الحيوية لمعالجة الصرف الصناعي العضوي ورواشح المدافن الصحية والتربة الملوثة. وتصنف الميكروبات المستخدمة للمعالجة البيولوجية الى ميكروبات عضوية التغذية او اخرى ذاتية التغذية ويعتمد ذلك على مصدرها من المواد الغذائية. فالميكروبات عضوية التغذية تستخدم الكربون العضوى اما الميكروبات ذاتية التغذية فتستخدم المواد الغير عضوية مثل ثانى اكسيد الكربون.

كما يمكن تقسيم المعالجة البيولوجية طبقاً للاستفادة من الاكسجين الى معالجة هوائية ومعالجة لاهوائية. وفى المعالجة الهوائية يلزم وجود الاكسجين لتحويل المادة العضوية الى الطاقة اللازمة لنمو البكتريا وتكاثرها. وفى المعالجة اللاهوائية يتم استخدام البكتريا اللاهوائية لتحليل المادة العضوية. ويشيع استخدام المعالجة الهوائية لمعالجة المخلفات الصناعية العضوية السائلة. وعادة فأن النظم اللاهوائية يقتصر استخدامها على معالجة المخلفات العضوية او الحمأة العضوية الناتجة من المعالجات الهوائية للصرف السائل.

وقد يتطلب الامر ضبط الاس الهيدروجينى (pH) لتحسين التفاعلات البيولوجية التى يتم فيها معالجة الصرف الصناعي اذا تأثر الاس الهيدروجينى بالنشاط البيولوجى للمواد الخطرة الواصلة لهذه الاراضى او المفاعلات.
ومعظم الكائنات التى لها القدرة على معالجة المواد الخطرة تنمو جيداً فى (pH) بين ٦ : ٨. وكثير من المواد العضوية الخطرة تتحلل هوائياً ولكن لأن عمق الطبقة التى يتخللها الاكسجين فى الاراضى تكون محدودة فان معدل ومدى التخلص من المواد السامة بيولوجياً يصبح ايضاً محدوداً. وقد تكون التهوية مطلوبة احياناً للمعالجة البيولوجية للارتشاحات والمواد الثقيلة الاخرى الملوثة للصرف السائل.

المعالجة الحرارية (الترميد)

عملية المعالجة الحرارية (الترميد) هي عبارة عن أكسدة ذات درجة حرارة عالية (متحكم فيها) للمركبات العضوية الأولية حيث ينتج عنها ثاني أكسيد الكربون والماء. ويمكن أن تنتج عن المخلفات أيضاً بعض المواد غير العضوية مثل الأحماض والأملاح والمركبات المعدنية. ويعتبر الفهم الجيد لكيميائية هذه العمليات أمر ضروري لتطبيق عملية الترميد بكفاءة وفاعلية. لذا يعرف الترميد على أنه عملية إحراق تجرى للتخلص من المواد غير المرغوب فيها.

[illegible] الترميد

يحدد التركيب الجزيئي درجة خطورة أى مادة عضوية على الإنسان والبيئة. فإذا أمكن تفتيت الجزيء أو تحويله إلى ثاني أكسيد الكربون والماء والمواد غير العضوية المصاحبة، فسوف تصبح المواد العضوية غير ضارة. ومن ثم، يعتبر التخلص الحراري وسيلة معالجة مفضلة في إدارة المخلفات الخطرة. هذا ويحبذ استخدام عملية الترميد خاصة عند التعامل مع كميات كبيرة من المخلفات العضوية الخطرة لأنها تضمن درجة عالية من التدمير لهذه المخلفات العضوية. وفي نفس الوقت لا ينتج عنها سوى كمية قليلة من الإنبعاثات الهوائية التي يمكن التحكم فيها. كما أن هذه التكنولوجيا استطاعت أن تقلل إلى حد كبير من حجم الطلب على عمليات الدفن الصحى للمخلفات الخطرة. حيث عادة ما يصاحب عمليات الدفن الصحى مشكلات التسرب وانطلاق المواد الخطرة إلى البيئة.

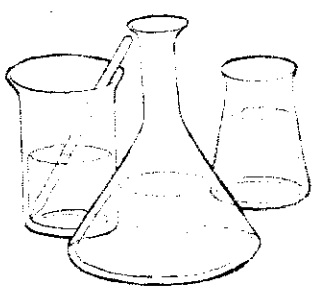
وهكذا تقدم عملية الترميد عدداً من المزايا عن غيرها من طرق معالجة المخلفات بما فيها عملية الدفن الصحى. كما تعتبر عملية الترميد وسيلة ممتازة للتخلص من جميع المواد التي لها قدرة عالية على إطلاق محتواها الحراري. إضافة إلى ذلك، تقلل عملية الترميد من المخلفات المتسربة التي تنتج عن عمليات الدفن الصحى ، كما أنها تحد أيضاً من إمكانية انبعاث الطاقة من الحرارة المنطلقة ومن النواتج الثانوية المفيدة التي يمكن استخدامها مرة أخرى.

عيوب عملية الترميد

بالرغم مما تتمتع به عملية الترميد من مزايا عديدة، إلا أن لها بعض العيوب. حيث يكون رأس المال المستثمر أكبر من غيره فى حالة الوسائل التكنولوجية الأخرى، وبالتأكيد أعلى من عملية الدفن الصحى. علاوة على ذلك، تتطلب عملية الترميد عمالة على مستوى عالي من الكفاءة والتدريب، كما ينبغي تعيين هيئة إشراف وتشغيل مؤهلة جيداً لضمان توافقها مع القوانين واللوائح.

هذا وتعتبر عملية ترميد النفايات الخطرة أكثر تعقيداً عن مثيلاتها من وسائل المعالجة نظراً لاختلاف وتنوع مكونات المخلفات وظروف التشغيل القاسية المطلوبة لتحقيق نتائج التخلص الحراري المرجوة. ويجب اختيار معدات الترميد بعناية فائقة وصيانتها بشكل يكفل تشغيلها على النحو المطلوب. ويمكن أن تؤثر النفايات الخطرة على الإنسان والبيئة بعدة طرق، لذا ينبغي التحكم فى الروائح والجسيمات الدقيقة والغازات الخطرة كي تمنع ملوثات الهواء من الانبعاث إلى الجو. فقد تسبب ملوثات الهواء- مثل كلوريد الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والفلزات الثقيلة وغيرها من جسيمات الرماد- آثار خطيرة غير مرغوب فيها.

كما أصبحت إنبعاثات الديوكسين فى الآونة الأخيرة تثير مخاوف الشعوب على مستوى العالم. فيمكن أن تتولد الديوكسين نتيجة النيران غير المتحكم فيها وبعض المواد الكيماوية المختارة من المواد الكيميائية العضوية التي تحتوي على الكلور، مع ملاحظة أنه لا يتولد من المحارق ذات التصميم الجيد والتشغيل السليم سوى كميات ضئيلة. وعلى الرغم من أن معظم المواد الكيميائية المسببة للسرطان تصيب أعضاء معينة وتتسبب فى نوع واحد من الأورام السرطانية، إلا أن الديوكسين قد يسبب أورام سرطانية مختلفة فى مناطق مختلفة.



المعالجة الكيميائية

تتضمن المعالجة الكيميائية استخدام التفاعلات الكيميائية لتقليل خطر المخلفات الخطرة. وتعتبر المعالجة الكيميائية للمخلفات الخطرة افضل بيئياً من التخلص منها بالدفن الصحي حيث يعتبر أقل تكلفة من المعالجة الكيميائية في بعض الحالات.

هناك العديد من الطرق المختلفة للمعالجة الكيميائية للمخلفات الخطرة مثل التعادل والترسيب والترويب والاكسدة والأختزال. ويمكن ان يستخدم التفاعل الكيماوى لتقليل حجم المخلفات او للتقليل من خطرها.

التعادل الكيماوى

تعتبر معادلة المخلفات الحامضية والقلوية امثلة للمعالجة الكيماوية لتقليل المخلفات التى تسبب التآكل الكيميائي. وتتضمن عملية تعادل المخلفات الحامضية او القلوية على إضافة مادة كيميائية لتغيير الـ pH الى المستوى الاكثر تعادل فى مدى يتراوح بين ٦ : ٨. وكثيرا ما يتطلب الصرف الصناعي السائل اجراء عملية تعادل له قبل اجراء اى معالجة اخرى او تصريفه فى نظام الصرف الصحى التابع للبلدية ومن ثم يستخدم حوض تعادل ذو مستوى ثابت كحوض للمعادلة. ومن الطبيعى والضرورى ان يتم معادلة المخلفات الحامضية بقاعدة كما ان المخلفات القاعدية تتم معادلتها بحامض طبقاً للمعادلة الاتية:

حمض + قاعدة ⟵ ملح + ماء

وقد تتم معادلة السائل القلوى بحمض معدنى مثل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) او حمض الهيدروكلوريك (HCL) او بأستخدام ثانى اكسيد الكربون (CO_2) الذى يكون حمض الكربونيك (H_2CO_3) الذى يتعادل مع المواد القلوية.

ويتم معادلة الصرف الصناعي السائل الحامضى بأستخدم الجير (هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH_2)$) او رماد الصودا أو كربونات الصوديوم Na_2CO_3. ويعتبر الجير أشهر القواعد المستخدمة لمعادلة السوائل الحمضية نظرا لتوافره ورخصة.

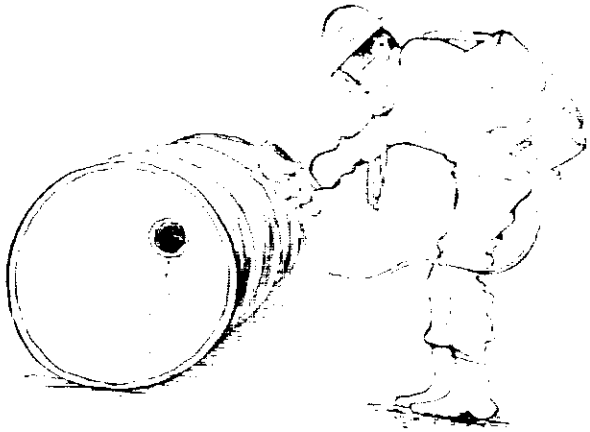
الترسيب الكيماوى

ان الطريقة المعتادة لازالة المعادن الثقيلة من سوائل الصرف الصناعي الغير عضوية هى الترسيب الكيماوى. وتترسب المعادن على درجات مختلفة للأس الهيدروجينى (pH) ويتوقف ذلك على الايون المعدنى مما يؤدى الى تكوين ملحاً غير ذائب. ومن ثم فأن معادلة سوائل الصرف الصناعي الحامضية يمكن ان يسبب ترسيباً للمعادن الثقيلة ويسمح بأزالتها على شكل راسب طينى متبقى (حمأة). وعادة ما تكون هيدروكسيدات المعادن الثقيلة غير ذائبة ولذا فأن الجير او المواد القلوية يشيع استخدامها لترسيب المعادن الثقيلة. وذوبان هيدروكسيدات المعادن له ارتباط كبير بالأس الهيدروجينى (pH). ولكل عنصرمعدنى اس هيدروجينى (pH) امثل للترسيب. والكربونات والكبريتيدات اقل ذوباناً من الهيدروكسيدات: وترسيب الكبريتيدات المعدنية يعتمد ايضاً على الـ (pH).

الترويب الكيميائي

يمكن اسراع ترسيب المعادن الثقيلة الى حد كبير بإضافة مواد كيماوية مختلفة ذائبة فى الماء وبوليمرات لتنشيط عملية الترويب. وتستخدم هذه العمليات لفصل المواد الصلبة العالقة فى السوائل عندما تكون معدلات ترسيبها الطبيعية بطيئة جداً وذلك للتنقية الفعالة.

ان الترويب الكيميائي هو إضافة المروبات مع سرعة خلطها لمعادلة الشحنات وتجميع الجزيئات العالقة ومن ثم تتكتل وتترسب. وتتطلب عملية ترسيب المواد العالقة الترويب وذلك لتكوين الحجم الفعال للترويب عندما يكون الوقت غير كافى لازالة المواد العالقة.



وتعمل الشبه واملاح الحديد الشائعة الاستخدام فى تنقية مياة الشرب كمروبات وذلك بتكوين جزيئات ذات شحنات كهربائية موجبة فى (pH) يتراوح من ٦ : ٨. وينتج عن هذا التفاعل هيدروكسيد الالومنيوم او الحديد الهلامى والمروبات المعدنية من الكتل المتجمعة التى تمسك الجزئيات العالقة بعضها البعض. واستخدام كبريتات الألومنيوم اكثر شيوعاً من استخدام املاح الحديد فى تنقية المياه لانها ارخص إلا ان املاح الحديد اكثر فاعلية فى نطاق اوسع للـ (pH).

الاكسدة الكيماوية والاختزال

يمكن استخدام عمليتى الاكسدة والاختزال لتحويل الملوثات السامة الى مواد عديمة الضرر او ذات سمية اقل. ويتغير التكافئ فى الاكسدة والاختزال نتيجة فقد واكتساب الالكترونات. ويجب ان تكون الاكسدة مصحوبة بالاختزال وهو التفاعل الذى يقل فيه التكافئ نتيجة اكتساب الكترونات. والتفاعلات الكيماوية التى تتضمن كلاً من عمليتى الاكسدة والاختزال تسمى بتفاعلات الاكسدة والاختزال.

وعلي سبيل المثال يعتبر الكروم سداسى التكافئ الناتج من صناعة دباغة الجلود سام جداً كما ان وجوده فى المخلفات يتطلب عناية كبيرة فى التعامل معه لتجنب الضرر للانسان والبيئة. واذا اختزل الكروم سداسى التكافئ الى كروم ثلاثى التكافئ فيمكن ترسيبه كهيدروكسيد كروم. إن اختزال الكروم سداسى التكافئ الى صوره ثلاثية التكافئ من خلال تقنيات التصنيع يؤدى الى انتاج مركب يحتوى على الكروم حيث يكون اقل سمية واكثر سهولة للاسترجاع والتخلص النهائى.

الخطوط الارشاديه للمعالجه والتخلص الآمن من المخلفات الخطرة

تعتبر المعالجة والتخلص الآمن للمخلفات الخطرة العصب الرئيسى لإدارة المخلفات الخطرة وذلك للحفاظ على الصحة العامة وحماية البيئة . ومن الضرورى فى الإدارة المتكاملة للمخلفات الخطرة أن يؤخذ فى الأعتبار مبدأ الحد من التلوث وتقليل المخلفات، وذلك لتقليل حجم المخلفات وبالتالى "تقليل تكاليف المعالجة" مع العلم بأن هناك بعض الصناعات التى يصعب تنفيذ مبدأ الحد من التلوث وتقليل المخلفات الناتجة وبالتالى يجب معالجتها والتخلص منها بصورة آمنة.

"فى إطار ما تقوم به الدولة من جهود لتحديث الدولة المصرية والارتقاء بمستوى معيشة المواطن المصرى وضمان مستقبل آمن للأجيال القادمة ، وتطبيقاً لمواد القانون رقم ٤ لسنة ١٩٩٤ ولائحته التنفيذية ، تأتى وثيقة الدليل الإرشادى لإدارة المخلفات الخطرة كثمرة للتعاون الوثيق بين وزارة الدولة لشئون البيئة والهيئات والوزارات المعنية ووزارات الصحة والزراعة والصناعة والكهرباء والبترول والداخلية ، حيث يؤكد إنجاز هذا الدليل على أهمية تضافر جهود الجهات الرسمية ، وجهود المجتمع المدنى والصناعى .

ومن هذا المنطلق تتقدم وزارة الدولة لشئون البيئة بخالص الشكر والتقدير للجهود الصادقة التى بذلت من قبل البرنامج المصرى للسياسات البيئية. وتقدم هذه الأدلة الإرشادية لإدارة المخلفات الخطرة بمشتقاتها المختلفة من ترخيص وتصنيف وتخزين ونقل ومعالجة . وأخيراً تخلص آمن، لتبرهن دائماً على أن الكل يعمل وفق منظومة ملتزمة ومتكاملة لتحقيق التنمية المستدامة ورفعة الوطن."

وزير الدولة لشئون البيئة

د. ممدوح رياض

معالجة المخلفات الخطرة

هناك العديد من تقنيات معالجة المخلفات الخطرة حيث يمكن تصنيفها بصفة عامه الى معالجة كيميائية او معالجة فيزيائية او معالجة بيولوجية أومعالجة حرارية (ترميد) . وتستخدم غالباً تقنيات المعالجة الكيميائية المركبة لتحسين فاعلية المعالجة وتقليل التكلفة والتوافق البيئي للمخلفات الخطرة.

وقد نصت المادة "٢٧" من اللائحة التنفيذية لقانون البيئة على أنه للجهة المانحة للترخيص الحق في أن تطلب من طالب الترخيص استيفاء ما تراه من أى شروط تراها ضرورية لتأمين التداول، وذلك بالتنسيق مع جهاز شئون البيئة ووزارة الصحة.

المعالجة الفيزيائية

تتضمن العمليات الفيزيائية عملية فصل السوائل والمواد الصلبة مثل الغربلة والترسيب والتنقية والطرد المركزى والطفو والترشيح والامتصاص والتبخير والتقطير والاسموزية العكسية. كما تتضمن هذه العمليات نزع المادة العالقة من الوسط السائل وتعتمد اساساً على نوعية وخواص المواد الصلبه العالقة. وعند معالجة المخلفات المحتوية على سوائل ومواد صلبة ينبغى ان يجرى الفصل الفيزيائى اولا لأنه ذو تكاليف وحلول أقل تعقيداً لكثير من مشاكل ادارة المخلفات الخطرة.

وعادة فان المعالجة الفيزيائية تقوم بنقل المكون الخطر من وسط الى أخر بدون تغيير فى خواصه الأساسية. وعموماً فان الجزيئات الكبيرة ذات الكثافات العالية تزال بسهولة اكثر من الجزيئات ذات الكثافة المنخفضة مثل وحدات فصل الزيت بالجاذبية الأرضية وفصل الزيوت المذابه باستخدام طريقة التعويم بالهواء المستخدمة لفصل الزيت والشحم من الصرف الصناعي السائل والناتج من صناعة الزيت والصابون وذلك قبل التخلص منه فى الصرف الصحى أو علي المصارف المائية. وتستخدم عادة المعالجة الفيزيائية بمصاحبة تكنولوجيات المعالجة الاخرى للتخلص الأمثل من المخلفات.