LANDFILL MINING:
CHARACTERIZATION OF SOIL-LIKE MATERIAL (SLM) RECLAIMED FROM OLD MSW DUMPSITES AND ITS SUITABILITY FOR GEOTECHNICAL RE-USE

MOHIT SOMANI

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
SEPTEMBER 2021

LANDFILL MINING:
CHARACTERIZATION OF SOIL-LIKE MATERIAL (SLM) RECLAIMED FROM OLD MSW DUMPSITES AND ITS SUITABILITY FOR GEOTECHNICAL RE-USE

by

MOHIT SOMANI

Department of Civil Engineering

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of

DOCTOR OF PHILOSOPHY

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
HAUZ KHAS, NEW DELHI-110016, INDIA
SEPTEMBER 2021

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled "**LANDFILL MINING: CHARACTERIZATION OF SOIL-LIKE MATERIAL (SLM) RECLAIMED FROM OLD MSW DUMPSITES AND ITS SUITABILITY FOR GEOTECHNICAL RE-USE"** being submitted by **Mr. Mohit Somani** to the **Indian Institute of Technology Delhi** is a record of bonafide research work carried out by him under our supervision and guidance. The thesis work, in our opinion, has reached the standard fulfilling the requirements for **DOCTOR OF PHILOSOPHY** degree. The research report and results presented in this thesis have not been submitted, in part or full, to any University or Institute for the award of any degree or diploma.

Prof. Manoj Datta
Professor
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi – 110016
INDIA

Prof. G. V. Ramana
Professor
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi – 110016
INDIA

Prof. T. R. Sreekrishnan
Professor
Department of Biochemical Engineering and Biotechnology
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi – 110016
INDIA

ACKNOWLEDGEMENTS

Words simply cannot register my gratitude and indebtedness to my eminent supervisors, Prof. Manoj Datta, Prof. G. V. Ramana, and Prof. T. R. Sreekrishnan. It has been a long period of association in which they have subtly guided the development of my ideas and presided over the unfolded of my understanding. Without their able supervision and constant encouragement this thesis would not have been materialized. I am extremely grateful to my supervisor Prof. Manoj Datta for providing me opportunity and introducing me to this novel idea. Thanks for his guidance and invaluable advice throughout this work. I am forever thankful for his professional mentorship.

I owe a big thank you to Dr. Michael Harbottle*, Cardiff University, UK for his constant support and painstaking efforts in the experimental work carried out during my short-term stay at Cardiff, UK. I gratefully acknowledge his generous support both professionally and personally.

I express my sincere thanks to the members of the Student Research Committee, namely, Prof. Suresh Bhalla, Prof. B. J. Alappat, and Prof. Maloy K. Singha for their suggestions during the course of this work. I would like to recognise the help and support of the laboratory technicians, in particular, Mr. Manoj Neelam, Mr. Ramcharan, and Mr. Ramjanam for all their help and companionship over the last five years. I am thankful to Jeff for all his help in conducting experimental work at Geoenvironmental Research Centre at Cardiff University. I am grateful to all my lab mats and colleagues (Ms. Garima Gupta, Dr. Aali Pant, Mrs. Apoorva Agarwal, Mr. Devprakash Parida, Mr. Deepesh Bansal) for helping me in all the technical problems and discussions while carrying out experimental work.

I would like to acknowledge South Delhi Municipal Corporation, North Delhi Municipal Corporation, M/s Ramky Enviro Engineers Ltd. for providing logistics support during sample collection from the dumpsites. Special thanks are due to Mr. Taufail Ahmed, SDMC, New Delhi for his interest in my work and valuable inputs during the sampling. I am grateful to Bharuch Enviro Infrastructure Ltd. (BEIL), Ankleshwar for providing me advance laboratory testing facilities which are all of great help during the course of this work.

I have the galaxy of friends who have been a source of my continuous strength during the course of this research. Some of the outstanding names among those are Mr. Prasun Halder, Mr. Rahul Singh, Dr. Abinash Mahanta, Mr. Abhishek N. Srivastava, Mr. Amar Sinh Landage, Mr. Sathirth Sarma, Mr. Mayuresh Bakare, Mr. Lalit Kandapal, Mr. Shiva Kumar Gummadivalli who made this arduous task a pleasurable experience through their spiritual and moral support.

Last, but certainly not the least, words alone cannot express my deepest gratitude to my parents. I am thankful to my wife, Mrs. Kirti Gattani for her love, constant support, understanding and affection during the tenure of my study that provided me necessary impetus to work on this thesis.

(*I visited Cardiff University, UK from Oct., 2020 till Jan, 2021 under Newton-Bhabha Fellowship program. Experimental work including electrokinetic remediation and phytoremediation was performed at Geoenvironmental Research Centre, Cardiff University under the supervision of Dr. Michael Harbottle.)

ABSTRACT

In developing countries, the accumulation of large quantities of municipal solid waste (MSW) in open dumpsites (unlined landfills) over the past few decades has resulted in such dumps occupying vast areas of land and reaching heights as tall as 50 m or more. Statistics shows that 30–40 million metric tons of MSW is disposed in dumpsites annually in India. Around 25,000 acres of urban land is locked in dumpsites with more than 140 million tons of legacy waste (in 517 dumpsites) occupying valuable land in 472 cities of India causing significant environmental impacts on the nearby ecosystem. To reclaim these dumpsites, landfill mining has gained major attention in past few years in India. Landfill mining is an approach whereby solid waste that has previously been landfilled is excavated and processed for recovery of resources. In the present study, an experimental investigation has been undertaken to characterize and assess the feasibility of reusing soil-like material (SLM) obtained by the screening of aged municipal solid waste (MSW) in offsite geotechnical applications. SLM constitutes a major portion of the total MSW in old dumpsites.

Aged MSW (more than 10 years old) has been collected from four old MSW dumpsites of India located at Delhi, Hyderabad, and Kadapa. Soil-like material (SLM, minus 4.75 mm) is observed to be the major component (60-70%) of total aged MSW. The following experimental investigation was conducted on the SLM:

a. Physicochemical characterization including moisture content, organic content, pH, electrical conductivity, ultimate analysis etc.
b. Geoenvironmental characterization (contaminants of concern) including total soluble solids, release of dark-colored leachate, and heavy metals (total as well as leachable).
c. Geotechnical characterization including grain size distribution, compaction characteristics, shear strength, permeability, and compressibility.

The effect of depth of waste on the characteristics of total aged MSW and SLM has been assessed by collecting undisturbed samples through drilling and sampling in 150 mm dia. boreholes up to 35 m depth from the top level and mid-height at Bhalswa dumpsite in Delhi.

The results of the characterization of SLM have been compared with the background soil of the nearby virgin area of the dumpsites as well as with the national and international regulatory practices. Organic content in the SLM of all four dumpsites is found to be 5-18% which is 5-15 times higher than the background soil. Total soluble solids in the SLM and background soil have been found to be in the range of 4880-25220 mg/kg and 500-1000 mg/kg respectively. Majority of the total soluble solids consist of sulphate and chlorides. Sulphates and chlorides are observed to be 10-25 times higher than the background soils. SLM is found to release dark-colored leachate (225-925 PCU) in comparison to background soils (25-40 PCU). The total heavy metal concentration of Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn has been found to be significantly higher (5 to 30 times) in the SLM than the background soils. The leachable heavy metals (Cr, Ni, Cu, As, Cd, Pb) have been found to be 3-10 times higher in leachate from SLM than the water extract from background soils. The leachable fraction of Cd is found to exhibit extremely high concentration (58-97 times) higher in SLM than the background soil. Toxicity characteristics leaching procedure (TCLP) results reveal that the level of heavy metals in soil-like material is not high enough to classify SLM as hazardous.

The total unit weight, organic content, and moisture content have been found to be 1.25-1.90 g/cc, 10 to 25%, and 15 to 40% respectively in the undisturbed samples of total MSW collected from boreholes up to 35 m depth from the top and mid-height at Bhalswa dumpsite. A wide variation has been observed in the characteristics of all the parameters of total MSW samples which reflects the heterogeneity of the material. A slight decrease in the organic content is observed towards the lower end of the boreholes, whereas, total unit weight is observed to increase with increase in the depth of waste. Increase in the percentage of soil-like material

(SLM) with increase in the depth of waste has been observed. A significant increase in the concentration of soluble salts (mainly sulphates and chlorides) and leachable heavy metals (Cr, Cu, and Zn) has been observed with increase in the depth of waste.

Based on the grain size distribution analysis, the SLM from all four dumpsites has been found to be significantly coarser than the background soil which may be due to the significant presence of construction and demolition debris in the SLM. SLM is found to be non-plastic in nature. Specific gravity of SLM is found to vary between 2.10-2.60. The shear strength of SLM is found to be similar or better than the background soil. SLM exhibits an angle of shearing resistance in the range of 34^{o}-38^{o} in saturated conditions. The permeability of SLM is found to range between 8.9×10^{-6} to 7.7×10^{-7} m/sec which is similar to the background soil of Delhi (Delhi silt). The compression index of SLM is found to be in the range of 0.13-0.20.

The feasibility of reuse of SLM in offsite applications such as earth-fill and compost has been assessed by comparing the characteristics of SLM with the national and international regulatory thresholds for reuse as well as with the background soil. The organic content in the SLM is found to be higher than the maximum permissible limits (1-5%) for use of soil in earth-fills. The total soluble solids (including sulphates and chlorides) have been found to be significantly higher than the permissible limits of unrestricted use of soil as per German protocol (LAGA, 2012). Not much attention has been focused in the literature on the release of dark-colored leachate from SLM, however, it has a great potential to cause the coloration of the nearby water bodies which can affect the consumer perception towards water consumption. Leachable heavy metals (based on single batch leaching with DI water) in the SLM have been found to be significantly higher than the limits given in the regulatory thresholds for the unrestricted use of soil as per LAGA, 2012. Total heavy metals (Cd, Cr, Cu, and Zn) have been found to be slightly higher than the maximum allowable limits for the unrestricted use of soil. Although SLM is found to be non-hazardous in nature on the basis of TCLP test, the open and unrestricted use of SLM as earth-fill in off-site applications is not a feasible option. The nutrients (N, P, and K) levels in SLM, by and large, satisfy the requirements prescribed in the SWM Rules (2016) for use of SLM as compost, however, low total organic carbon and elevated heavy metals do not allow its direct use in agricultural applications. At best it has potential to be used in non-agricultural applications for non-edible vegetation.

The feasibility of reuse of SLM in offsite geotechnical applications such as earth-fill in embankments for roads, railways, and water retaining structures; filling of low-lying areas; filling of deep pits would require reduction/removal of organic content (through thermal treatment etc.). In addition, the requirement of sealing layer would have to be assessed along with leachate collection wells (as in earth-fills for deep pits) and horizontal leachate drainage pipes (as in earth-fills for embankments). SLM can be used directly in thin layers by blending with local top soil for large surface area projects involving re-vegetation, landscaping etc. with non-edible plants.

Treatment technologies including electrokinetic remediation, phytoremediation, thermal treatment, and washing have been explored to reduce the level of contaminants below the maximum allowable limits for the offsite reuse of the SLM. The application of the electric field has shown a significant reduction of heavy metals and soluble salts from SLM. However, no effect of electrokinetic treatment is observed on organic content and release of dark-colored leachate. The phytoremediation experiments have shown a decrease in the concentration of heavy metals in the SLM. However, no effect on organic content, soluble salts, and release of dark-colored leachate is observed. The thermal treatment of SLM at 500^{o}C and above has shown removal of organic content and a significant decrease in the release of color, however, no effect of thermal treatment is observed on the leaching of soluble salts and total heavy metals. The washing of SLM with ultrapure water has shown a significant reduction in the intensity of release of color, leaching of soluble salts, and leaching heavy metals from SLM, however, washing has not shown a minimal effect on organic content and total heavy metals.

The findings of present study shows that the bulk of the material reclaimed after the mining of old MSW dumps consists of soil-like material (SLM). However, SLM is found to be contaminated on the basis of excessive presence of soluble salts, release of dark-colored leachate, elevated total heavy metals, and significantly higher leachable heavy metals, therefore, its unrestricted (direct) reuse in offsite geotechnical applications is not feasible. There is no one comprehensive treatment technology that can remove/reduce all the contaminants. Therefore, SLM can only be re-used after adopting suitable design measures such as sealing layers, leachate collection system/drainage system.

सार

विकासशील देशों में, पिछले कुछ दशकों में खुले डंपसाइट्स (अनलाइन लैंडफिल) में बड़ी मात्रा में ठोस अपशिष्ट (MSW) के संचय के परिणामस्वरूप ऐसे डंप भूमि के विशाल क्षेत्रों पर कब्जा कर लिए है और ५० मीटर या उससे अधिक की ऊंचाई तक पहुंच गए हैं। आंकड़े बताते हैं कि भारत में सालाना ३०-४० मिलियन मीट्रिक टन MSW डंपसाइट में डाला जाता है। लगभग २५,००० एकड़ शहरी भूमि भारत के ४७२ शहरों में १४० मिलियन टन से अधिक पुराने कचरे (५१७ डंपसाइट्स में) के साथ डंपसाइट्स में बंद है, जिससे आस-पास के पारिस्थितिकी तंत्र पर महत्वपूर्ण पर्यावरणीय प्रभाव पड़ता है। इन डंपसाइट्स का निराकरण करने के लिए, भारत में पिछले कुछ वर्षों में लैंडफिल खनन ने प्रमुख ध्यान आकर्षित किया है। लैंडफिल माइनिंग एक ऐसा दृष्टिकोण है जिसके तहत पहले लैंडफिल किए गए ठोस कचरे की खुदाई की जाती है और संसाधनों की वसूली के लिए संसाधित किया जाता है। वर्तमान अध्ययन में, ऑफसाइट भू-तकनीकी अनुप्रयोगों में वृद्ध नगरपालिका ठोस अपशिष्ट (MSW) की स्क्रीनिंग द्वारा प्राप्त मिट्टी जैसी सामग्री (SLM) के पुन: उपयोग की व्यवहार्यता को चिह्नित करने और उसका आकलन करने के लिए एक प्रयोगात्मक जांच की गई है। SLM पुराने डंपसाइट्स में कुल MSW का एक बड़ा हिस्सा है।

इस शोध में, वृद्ध MSW (१० वर्ष से अधिक पुराना) दिल्ली, हैदराबाद और कडपा में स्थित भारत के चार पुराने MSW डंपसाइट से एकत्र किया गया है। मिट्टी जैसी सामग्री (SLM, 0-४.७५ मिमी) को कुल वृद्ध एमएसडब्ल्यू का प्रमुख घटक (६0-७0%) माना जाता है। SLM पर निम्नलिखित प्रयोगात्मक जांच की गई:

- नमी सामग्री, कार्बनिक सामग्री, पीएच, विद्युत चालकता, अंतिम विश्लेषण आदि सहित भौतिक रासायनिक लक्षण वर्णन।
- भू-पर्यावरणीय लक्षण वर्णन (चिंता के संदूषक) जिसमें कुल घुलनशील ठोस पदार्थ, गहरे रंग के लीचेट का विमोचन, और भारी धातुएँ (कुल और साथ ही लीचेबल) शामिल हैं।
- आकार के वितरण, संघनन विशेषताओं, कतरनी ताकत, पारगम्यता और संपीड़ितता सहित भू-तकनीकी लक्षण वर्णन।

कुल वृद्ध एमएसडब्ल्यू और एसएलएम की विशेषताओं पर कचरे की गहराई के प्रभाव का आकलन १५0 मिमी व्यास में ड्रिलिंग और नमूने के माध्यम से दिल्ली में भलस्वा डंपसाइट में शीर्ष स्तर से ३५ मीटर गहराई और मध्य ऊंचाई तक बोरहोल करके अबाधित नमूने एकत्र करके किया गया है।

एसएलएम के लक्षण वर्णन के परिणामों की तुलना डंपसाइट्स के पास के कुंवारी क्षेत्र की पृष्ठभूमि की मिट्टी के साथ-साथ राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय नियामक प्रथाओं के साथ की गई है। सभी चार डंपसाइटों के एसएलएम में जैविक सामग्री 5-18% पाई जाती है जो कि पृष्ठभूमि की मिट्टी से 5-15 गुना अधिक है। एसएलएम और पृष्ठभूमि मिट्टी में कुल घुलनशील ठोस क्रमशः 4880-25220 मिलीग्राम/किलोग्राम और 500-1000 मिलीग्राम/किलोग्राम की सीमा में पाए गए हैं। कुल घुलनशील ठोसों में से अधिकांश में सल्फेट और क्लोराइड होते हैं। सल्फेट और क्लोराइड पृष्ठभूमि की मिट्टी की तुलना में 10-25 गुना अधिक पाए जाते हैं। एसएलएम पृष्ठभूमि मिट्टी (25-40 पीसीयू) की तुलना में गहरे रंग का लीचेट (225-925 पीसीयू) जारी करता है। Cd, Cr, Cu, Pb, और Zn की कुल भारी धातु सांद्रता SLM में पृष्ठभूमि मिट्टी की तुलना में काफी अधिक (5 से 30 गुना) पाई गई है। लीचेबल हेवी मेटल्स (Cr, Ni, Cu, As, Cd, Pb) एसएलएम से लीचेट में पृष्ठभूमि मिट्टी से पानी निकालने की तुलना में 3-10 गुना अधिक पाया गया है। सीडी का लीचेबल अंश एसएलएम में पृष्ठभूमि की मिट्टी की तुलना में अत्यधिक उच्च सांद्रता (58-97 गुना) अधिक प्रदर्शित करता है। विषाक्तता विशेषता लीचिंग प्रक्रिया (टीसीएलपी) के परिणामों से पता चलता है कि मिट्टी जैसी सामग्री में भारी धातुओं का स्तर एसएलएम को खतरनाक के रूप में वर्गीकृत करने के लिए पर्याप्त नहीं है।

बोरहोल से 35 मीटर गहराई तक एकत्र किए गए कुल एमएसडब्ल्यू के अबाधित नमूनों में कुल इकाई वजन, जैविक सामग्री और नमी की मात्रा क्रमशः 1.25-1.90 ग्राम / सीसी, 10 से 25% और 15 से 40% पाई गई है। भलस्वा डंपसाइट पर शीर्ष और मध्य ऊंचाई। कुल MSW नमूनों के सभी मापदंडों की विशेषताओं में व्यापक भिन्नता देखी गई है जो सामग्री की विविधता को दर्शाती है। बोरहोल के निचले सिरे की ओर कार्बनिक सामग्री में थोड़ी कमी देखी गई है, जबकि, कचरे की गहराई में वृद्धि के साथ कुल इकाई वजन में वृद्धि देखी गई है। कचरे की गहराई में वृद्धि के साथ मिट्टी जैसी सामग्री (एसएलएम) के प्रतिशत में वृद्धि देखी गई है। घुलनशील लवणों (मुख्य रूप से सल्फेट्स और क्लोराइड्स) और लीच करने योग्य भारी धातुओं (Cr, Cu, और Zn) की सांद्रता में उल्लेखनीय वृद्धि अपशिष्ट की गहराई में वृद्धि के साथ देखी गई है।

SLM के आकार के वितरण विश्लेषण के आधार पर, सभी चार डंप साइटों से एसएलएम को पृष्ठभूमि की मिट्टी की तुलना में काफी मोटा पाया गया है जो एसएलएम में निर्माण और विध्वंस मलबे की महत्वपूर्ण उपस्थिति के कारण हो सकता है। एसएलएम प्रकृति में गैर-प्लास्टिक पाया गया है। एसएलएम का विशिष्ट गुरुत्व 2.10-2.60 के बीच भिन्न

पाया गया है। एसएलएम की अपरूपण शक्ति पृष्ठभूमि मिट्टी के समान या बेहतर पाई जाती है। एसएलएम संतृप्त स्थितियों में 34o-38o की सीमा में कतरनी प्रतिरोध के कोण को प्रदर्शित करता है। एसएलएम की पारगम्यता 8.9×10^{-6} से 7.7×10^{-7} मीटर/सेकंड के बीच पाई जाती है जो दिल्ली (दिल्ली गाद) की पृष्ठभूमि मिट्टी के समान है। एसएलएम का संपीड़न सूचकांक 0.13-0.20 की सीमा में पाया जाता है।

मिट्टी के भराव और खाद जैसे ऑफसाइट अनुप्रयोगों में एसएलएम के पुन: उपयोग की व्यवहार्यता का आकलन एसएलएम की विशेषताओं की पुन: उपयोग के लिए राष्ट्रीय और अंतरराष्ट्रीय नियामक सीमाओं के साथ-साथ पृष्ठभूमि मिट्टी के साथ तुलना करके किया गया है। मिट्टी के भराव में मिट्टी के उपयोग के लिए एसएलएम में कार्बनिक सामग्री अधिकतम अनुमेय सीमा (1-5%) से अधिक पाई गई है। जर्मन प्रोटोकॉल (LAGA, 2012) के अनुसार कुल घुलनशील ठोस (सल्फेट और क्लोराइड सहित) मिट्टी के अप्रतिबंधित उपयोग की अनुमेय सीमा से काफी अधिक पाया गया है। एसएलएम से गहरे रंग के लीचेट की रिहाई पर साहित्य में ज्यादा ध्यान नहीं दिया गया है, हालांकि, इसमें आस-पास के जल निकायों के रंग का कारण बनने की एक बड़ी क्षमता है जो पानी की खपत के प्रति उपभोक्ता धारणा को प्रभावित कर सकती है। एसएलएम में लीच करने योग्य भारी धातु (डीआई पानी के साथ सिंगल बैच लीचिंग पर आधारित) को एलएजीए, 2012 के अनुसार मिट्टी के अप्रतिबंधित उपयोग के लिए नियामक थ्रेसहोल्ड में दी गई सीमा से काफी अधिक पाया गया है। कुल भारी धातु (Cd, Cr) मिट्टी के अप्रतिबंधित उपयोग के लिए अधिकतम स्वीकार्य सीमा से थोड़ा अधिक पाया गया है। यद्यपि टीसीएलपी परीक्षण के आधार पर एसएलएम को गैर-खतरनाक प्रकृति का पाया गया है, एसएलएम का ऑफ-साइट अनुप्रयोगों में अर्थ-फिल के रूप में खुला और अप्रतिबंधित उपयोग एक व्यवहार्य विकल्प नहीं है। एसएलएम में पोषक तत्व (N, P, और K) स्तर, कुल मिलाकर, एसएलएम के खाद के रूप में उपयोग के लिए एसडब्ल्यूएम नियम (2016) में निर्धारित आवश्यकताओं को पूरा करते हैं, हालांकि, कम कुल कार्बनिक कार्बन और उच्च भारी धातु इसकी अनुमति नहीं देते हैं। कृषि अनुप्रयोगों में प्रत्यक्ष उपयोग। अधिक से अधिक अखाद्य वनस्पति के लिए गैर-कृषि अनुप्रयोगों में इसका उपयोग करने की क्षमता है।

ऑफसाइट भू-तकनीकी अनुप्रयोगों में एसएलएम के पुन: उपयोग की व्यवहार्यता जैसे सड़कों, रेलवे और जल प्रतिधारण संरचनाओं के लिए तटबंधों में मिट्टी भरना; निचले इलाकों को भरना; गहरे गड्ढों को भरने के लिए जैविक सामग्री (थर्मल ट्रीटमेंट आदि के माध्यम से) में कमी/निकालने की आवश्यकता होगी। इसके अलावा, लीचेट संग्रह

कुओं (जैसे गहरे गड्ढों के लिए मिट्टी के भराव में) और क्षैतिज लीचेट ड्रेनेज पाइप (जैसे तटबंधों के लिए अर्थ-फिल में) के साथ सीलिंग परत की आवश्यकता का आकलन करना होगा। एसएलएम का उपयोग अखाद्य पौधों के साथ पुन: वनस्पति, भूनिर्माण आदि से जुड़ी बड़ी सतह क्षेत्र परियोजनाओं के लिए स्थानीय शीर्ष मिट्टी के साथ सम्मिश्रण करके सीधे पतली परतों में किया जा सकता है।

एसएलएम के ऑफसाइट पुन: उपयोग के लिए अधिकतम स्वीकार्य सीमा से नीचे दूषित पदार्थों के स्तर को कम करने के लिए इलेक्ट्रोकेनेटिक उपचार, फाइटोरेमेडिएशन, थर्मल उपचार और धुलाई सहित उपचार तकनीकों का पता लगाया गया है। विद्युत क्षेत्र के अनुप्रयोग ने एसएलएम से भारी धातुओं और घुलनशील लवणों की उल्लेखनीय कमी दिखाई है। हालांकि, कार्बनिक सामग्री और गहरे रंग के लीचेट की रिहाई पर इलेक्ट्रोकेनेटिक उपचार का कोई प्रभाव नहीं देखा गया है। फाइटोरेमेडिएशन प्रयोगों ने SLM में भारी धातुओं की सांद्रता में कमी दिखाई है। हालांकि, कार्बनिक सामग्री, घुलनशील लवण और गहरे रंग के लीचेट की रिहाई पर कोई प्रभाव नहीं देखा गया है। 500°C और उससे अधिक पर SLM के थर्मल उपचार ने कार्बनिक सामग्री को हटाने और रंग की रिहाई में उल्लेखनीय कमी दिखाई है, हालांकि, घुलनशील लवण और कुल भारी धातुओं के लीचिंग पर थर्मल उपचार का कोई प्रभाव नहीं देखा गया है। अल्ट्राप्योर पानी से एसएलएम की धुलाई ने रंग छोड़ने, घुलनशील लवणों की लीचिंग और एसएलएम से भारी धातुओं के लीचिंग की तीव्रता में उल्लेखनीय कमी दिखाई है, हालांकि, धोने से कार्बनिक सामग्री और कुल भारी धातुओं पर न्यूनतम प्रभाव नहीं दिखा है।

वर्तमान अध्ययन के निष्कर्षों से पता चलता है कि पुराने एमएसडब्ल्यू डंपों के खनन के बाद पुनः प्राप्त सामग्री के बड़े हिस्से में मिट्टी जैसी सामग्री (एसएलएम) होती है। हालांकि, एसएलएम घुलनशील लवणों की अत्यधिक उपस्थिति, गहरे रंग के लीचेट की रिहाई, उच्च कुल भारी धातुओं और काफी अधिक लीच करने योग्य भारी धातुओं के आधार पर दूषित पाया जाता है, इसलिए, ऑफसाइट भू-तकनीकी अनुप्रयोगों में इसका अप्रतिबंधित (प्रत्यक्ष) पुन: उपयोग है। संभव नहीं है। कोई एक व्यापक उपचार तकनीक नहीं है जो सभी दूषित पदार्थों को हटा / कम कर सके। इसलिए, एसएलएम का पुन: उपयोग केवल उपयुक्त डिजाइन उपायों जैसे सीलिंग परतों, रिसाव को अपनाने के बाद किया जा सकता है।

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

LIST OF NOTATIONS AND ABBREVIATIONS

MSW = Municipal Solid Waste

NGT = National Green Tribunal

SLM = Soil-Like Material

MSE = Mechanically Stabilized Earth

BMP = Biochemical Methane Potential

XRD = X-Ray Diffraction

XRF = X-Ray Fluorescence

C&D = Construction and Demolition

CLO = Compost Like Output

LOI = Loss on Ignition

TOC = Total Organic Carbon

TN = Total Nitrogen

TP = Total Phosphorous

TK = Total Potassium

EC = Electrical Conductivity

C_f = Contamination Factor

EF = Enrichment Factor

I_{geo} = Geoaccumulation Index

C_d = Degree of Contamination

EK = Electrokinetic

EDTA = Ethylenediamine Tetraacetic Acid

RDF = Refused Derived Fuel

UDS = Undisturbed Sampling

APHA = American Public Health Association

ASTM = American Society for Testing and Materials

IS = Indian Standard

PCU = Platinum Cobalt Unit

ICP-MS = Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry

ICP-OES = Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry

TCLP = Toxicity Characteristics Leaching Procedure

SPLP = Synthetic Characteristics Leaching Procedure

USEPA = United States Environmental Protection Agency

MDD = Maximum Dry Density

OMC = Optimum Moisture Content

SEM = Scanning Electron Microscopy

VDS = Volatile Dissolved Solids

FDS = Fixed Dissolved Solids

BDL = Below Detection Limit

RAC = Risk Assessment Code

GSD = Grain Size Distribution

OC = Organic Content

PI = Plasticity Index

c' = Cohesion Intercept

ø' = Angle of Shearing Resistance

C_c = Compression Index

L/S = Liquid to Solid

SWM = Solid Waste Management