## Dedication

To the soul of my father
and to my mother

# Acknowledgements

I would like to express my sincere gratitude to my supervisor Dr. Mohamed El Mukhtar Abdel Aziz for his support, advice, patience, motivation and invaluable guidance. He has been a constant source of inspiration, and it has truly been a great privilege for me to work with him. Without his support and help, this work could not have been accomplished.

I would also like to express my gratitude to Dr. Elfatih Ahmed Hassan for his interest in my research, suggestions, valuable remarks and support, and for his kind heart, and to Mr Omar Adam Bekheit for sharing knowledge and comments to initiate this research.

Also I would like to express my appreciation to Dr. Eisa Ismaiel ,Mr Mohammed Elmahdi, and Mr Elnoor with whom it had a real pleasure to work together and who kindly assisted me during field sampling trips. Thanks to Mr Mohammed Eisa for providing the certified reference material, and to captain Mohammed (Boats Club) for the grab-sampling boat service. Thanks are extended to the creative artist Mr Akram Gurashi for preparing maps and to the staff of water and environment laboratories in Khartoum Refinery and in CPL as well for efforts in effluents and sediments analyses. Thanks also to Dr. Amira Abdel Aziz for great assistance in printing the thesis text.

Special thanks and gratitude to dear brothers Mr Aktham Elsayid, Dr. Mohammed Siddig, and Dr. Mutassim Maknoon for their kind hearts and support during hard moments.

Special thanks to my parents who provide me love, endless encouragement, and righteousness.

# Abstract

The environment is considered as man's important asset that must be protected for his life support. Unfortunately, the situation is different where oil refinery and petrochemical plants operate. Environmental pollution in these areas poses serious threat to the ecosystem, often with undesirable effects. This study, therefore, was undertaken in order to investigate the quality of the liquid effluents released from Khartoum Refinery and their potential impacts on the surrounding environment. The results of this study provide a better understanding of pollutants load in the effluents generated by Khartoum Refinery and the corresponding potential environmental consequences. Effluents and sediments sampling and subsequent laboratory analyses were performed to evaluate the pollutants levels in both the effluents and sediments. Geological, geographical, and topographic data collection and field survey were conducted to assess the potential environmental impact of the effluent. 9 composite effluent samples were collected from the monitoring pond (MP), which is the final station for the treated effluent inside the refinery, and analysed for physical parameters ( Temperature, pH, TS, TDS, TSS, conductivity, and turbidity), inorganics (alkalinity, hardness, chloride, sulfate, cyanide, and sulfide), nutrients (ammonia, nitrate, nitrite, ortho phosphate, and total phosphorus), and organics (BOD, COD, oil and grease, and phenols). Effluent samples were also collected from the oxidation ponds, (27 composite each from 15 grab samples), that receives the effluent from MP outside the refinery, and analysed for the same parameters in addition to heavy metals (Cr, Cd, Ni, Fe, Pb, Zn, Ba, Ag, Se and Cu), which were also measured in the sediment samples collected from the oxidation ponds A, B, and C (3 samples, each was a composite of 5 grab samples).

Based on the results of MP effluent analyses, it was observed that the effluent was alkaline (pH 8.47) and characterized by high levels exceeded the national and international standard limits, for temperature increase (12°C), TSS (56 mg/L), conductivity (746.6 µs/cm), turbidity (43.25 NTU), sulfide (9.07 mg/L), ammonia-nitrogen (83.17 mg/L), BOD (41.2 mg/L), COD (611.33 mg/L), and phenols (39.72 mg/L). The rest of the parameters ranged from low to relatively high concentrations. Effluent quality survey in the oxidation ponds demonstrated removal efficiencies of 50%, 55.9%, 71%, 98.9%, 98.6%, 92.6%, 87%, 45.46%, 46.4%, and 99.8% for temperature increase, turbidity, alkalinity, hardness, sulfide, ammonia, BOD, COD, oil/grease, and phenols, respectively. Despite the biodegradation capability of oxidation ponds, it was obvious that, the levels of many effective pollution parameters were increasd to be above the maximum permissible limits. pH, TS, TDS, TSS, conductivity, chloride, sulfate, cyanide, nitrate, nitrite, orthophosphate, and total phosphorus were increased by 16.8%, 574.6%, 638.9%, 278.6%, 289.6%, 1,045.7%, 2,197.6%, 7.7%, 149,200%, 18,323%, 900%, and 129.2%, respectively, besides high residual COD of 333.33 mg/L. Heavy metals were generally found in low concentrations in oxidation ponds effluents, but the sediment was heavily polluted with Ba, Cr, and Cu and moderately polluted with Ni, Zn, and Fe.

Through this research, it is concluded that Khatoum Petroleum Refinery discharge low quality effluent and did not comply with the national and international standard limits in terms of many pollution parameters which could adversely impact the surrounding environment, although some parameters were within the acceptable limits, and recommendations are made for the development of future policies with regard to effluent management and for further research as well.

# المستخلص

تعتبر البيئة ثروة مهمة للإنسان ينبغي حمايتها لأنها تدعم حياته. للأسف إن الوضع غير ذلك في مناطق مصافي البترول ومصانع البتروكيماويات ، حيث التلوث البيئي الذي يشكل تهديداً خطيراً على النظام الإيكولوجي. لذلك فقد اجريت هذه الدراسة للتحقيق في جودة المخلفات السائلة لمصفاة الخرطوم للبترول والتأثيرات الضاره المحتملة لتلك المخلفات على البيئة المجاوره لمنطقة المصفاة. نتائج هذه الدراسه تزودنا بفهم افضل لكمية الملوثات في هذه المخلفات السائلة وما يمكن ان يقابلها من تبعات سالبة على البيئة. أخذت عينات من المخلفات السائلة والرواسب وتم تحليلها لتقييم مستوى الملوثات فيها. جمعت بيانات جيولوجية ، جغرافية وتوبوغرافيه بالاضافة إلي المسح الحقلي و ذلك لتقييم الآثار البيئية المحتملة علي المنطقة. جمعت 9 عينات مركبة من المخلفات السائلة من حوض المراقبة والذي يمثل المحطة الاخيرة للمخلفات السائلة داخل المصفاة. حللت هذه العينات لمعرفة مستويات المتغيرات الفيزيائية (العكوره ، التوصيلية ، المواد الصلبة العالقة الكلية، المواد الصلبة الذائبة الكلية، المواد الصلبة الكلية ، الرقم الهيدروجيني ،زيادة درجة الحرارة)،اللاعضوية (القلوية ، العسر ،الكلوريد، الكبريتات، السيانيد والكبريتيد)،المغذيات (الامونيا ،النترات،النتريت ،اورثو فوسفات والفسفور الكلي) والعضوية (الاحتياج الحيوي للاكسجين ، الاحتياج الكيميائي للاكسجين ، الزيوت والدهون والفينولات ) . ايضاً جمعت 27 عينة مركبة كل واحدة مركبة من 15 عينة فرعية من المخلفات السائلة من برك الاكسدة والتي تستقبل المخلفات السائلة القادمة من حوض المراقبة . حللت هذه العينات لقياس مستوى نفس المتغيرات السابقة بالاضافة إلي العناصر الثقيلة (الكروم ، الكادميوم ، النيكل ، الحديد ، الرصاص ، الخارصين، الباريوم، الفضة، السيلينيوم والنحاس) والتي تم تقديرها أيضاً في عينات الرواسب التي جمعت من برك الاكسدة B،A وC (3عينات مركبة كل واحدة من 5 عينات فرعية ).

إستناداً على نتائج تحاليل عينات المخلفات السائلة في حوض المراقبة، فقد لوحظ أن المخلفات قلوية (pH 8.47)، وتتميز بمستويات عاليه تجاوزت الحدود القياسية الوطنية والعالمية بالنسبة لكل من الزيادة في درجة الحراره(12°C) ، المواد الصلبة العالقة الكلية (56 mg/L)، التوصيلية (746.6 µS/cm)، العكورة (43.25 NTU)الكبريتيد (9.07 mg/L)، نيتروجين

الأمونيا (83.17 mg/L)، الاحتياج الحيوي للأكسجين (41.2 mg/L)، الاحتياج الكيميائي للأكسجين(611.33 mg/L)، والفينولات (39.72 mg/L). بقية المتغيرات تراوحت من المستوى المنخفض إلي المستوى العالي نسبياً. مسح الجودة للمخلفات السائلة في برك الاكسدة أظهر كفاءة إزاله 50%, 55.9%, 71.2%, 98.9%, 98.6%, 92.6%, 87%, 45.46%, 46.4% و 99.8% بالنسبة لزيادة درجة الحراره، العكوره، القلوية، العسر، الكبريتيد، الامونيا، الاحتياج الحيوي للاكسجين، الاحتياج الكيميائي للأكسجين ،الزيوت والدهون والفينولات على التوالي. بالرغم من القدره العالية لبرك الاكسدة في التحلل الحيوي ،إلا أنه كان واضحاً إرتفاع مستويات العديد من متغيرات التلوث المؤثره لدرجة تجاوزها للحدود القصوى المسموح بها. pH، TS، TDS، TSS ، التوصيلية، الكلوريد، الكبريتات، السيانيد، النترات، النتريت، أورثوفوسفات ، الفسفور الكلي زادت بمقدار 16.8%, 574.6, 638.9%, 278.6%, 289.6%, 1,045.7%, 2,197.6, 7.7%, 149,200%, 18,323%, 900%, 129.2% على التوالي، بالاضافة إلى مستوى عالي من فضلة الأحتياج الكيميائي للأكسجين بلغت 333.33 mg/L. العناصر الثقيلة عموماً وجدت بتراكيز منخفضه في المخلفات السائلة لبرك الأكسدة ولكن الرواسب وجدت ملوثة بشدة بالباريوم والكروم والنحاس وملوثة بدرجة معتدله بالنيكل والخارصين والحديد.

خلال هذا البحث يستنتج بأن مصفاة الخرطوم للبترول تفرغ مخلفات سائلة بجودة منخفضه لا تمتثل للحدود القياسية الوطنية و العالمية بالنسبة للعديد من متغيرات التلوث والتي يمكن أن تؤثر سلباً على البيئه المحيطه بمنطقة المصفاه بالرغم من أن بعض المتغيرات كانت ضمن الحدود المقبولة ، كما قدمت التوصيات لتطوير السياسات المستقبلية بالنسبة لإدارة المخلفات السائلة وكذلك التوصيات للبحث المستقبلي.

# Table of Contents

**Chapter 3: Research Methodology**



**Chapter 4: Results and Discussion**

# List of Tables

# List of Figures

# Abbreviations

| | |
|---|---|
| API | American Petroleum Institute |
| ATSDR | Agency for Toxic Substances and Disease Registry |
| BLS | Base Line Study |
| $BOD_5$ | 5-day Biochemical Oxygen Demand |
| CBS | Central Bureau of Statistics |
| CCME | Canadian Council of Ministers of the Environment |
| CDU | Crude Distillation Unit |
| CNPC | China National Petroleum Corporation |
| COD | Chemical Oxygen Demand |
| CPI | Corrugated Plate Interceptor |
| CPL | Central Petroleum Laboratories |
| DAF | Dissolved Air Flotation |
| DO | Dissolved Oxygen |
| EIA | Environmental Impact Assessment |
| EPA | Environmental Protection Authority, Australia. |
| EU Commission | Europian Commission |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| FEPA | Federal Environmental Protection Agency, Nigeria |
| HDT | Diesel Hydrotreating Unit |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IAF | Induced Air Flotation |
| IFC | International Finance Corporation, World Bank Group |
| KRC | Khartoum Refinery Company |
| LPG | Liquefied Petroleum Gas |
| MEF | Ministry of Environment & Forests, India |
| MEM | Ministry of Energy & Mining, Sudan |

| | |
|---|---|
| MOSC | Mobil Oily Sludge Coking |
| MP | Monitoring Pond |
| Oil & G | Oil and Grease |
| OME | Ontario Ministry of the Environment, Canada |
| P−reactive | Reactive Phosphorus |
| $P_{ortho}$ | Ortho Phosphate |
| $P_{total}$ | Total Phosphorus |
| REF | Catalytic Reforming Unit |
| RFCC | Residue Fluidize Catalytic Cracking |
| SARA | Saturates, Aromatics, Resins and Asphaltenes |
| SGRA | Sudan Geological Research Authority |
| SQGs | Sediment Quality Guidelines |
| TDS | Total Dissolved Solids |
| TOC | Total Organic Carbon |
| TS | Total Solids |
| TSS | Total Suspended Solids |
| UIA | Un-ionised Ammonia |
| UNDP | United Nations Development Programme |
| WB | World Bank |
| WHO | World Health Organization |
| WWTP | Wastewater Treatment Plant |