Title	Microbial Bioremediation as a Sustainable Solution to Environmental Pollution
Supervisor	Dr. Marwa Yousry Abdel Monem Mohamed
Students	Danah Tayeb Almutairi ID: 444007003 Layan Ahmed Alqarni ID: 444007340 Sadeem Abdulrahman Alshehri ID: 444006856
Abstract	Environmental pollution driven by industrialization, urbanization, intensive agriculture, and inadequate waste management poses a major global threat to ecosystems and public health. Conventional physicochemical remediation methods, though effective in some contexts, are often costly, energy-intensive, and may generate secondary pollutants. In contrast, microbial bioremediation has emerged as a sustainable, eco-friendly, and versatile alternative for restoring contaminated environments. This review presents a comprehensive overview of microbial bioremediation, highlighting microbial diversity, ecological adaptability, and pollutant-specific applications. It outlines key mechanisms of degradation and detoxification, including enzymatic activity, redox transformations, biosorption, and genetically regulated metabolic pathways. Applications extend to organic and inorganic pollutants, persistent organic pollutants, emerging contaminants, microplastics, radioactive waste, and biomass-derived residues. The review also explores current applications of bioremediation in Saudi Arabia, particularly in the treatment of oil-contaminated soils, industrial effluents, and saline, arid environments. Microbial bioremediation offers advantages such as cost-effectiveness, low ecological disruption, resilience under harsh conditions, and potential integration into circular bioeconomy strategies. Although challenges remain, including slower degradation rates and environmental variability, it remains a practical and sustainable pollution management

	approach. Future advances integrating omics technologies, genetic engineering, artificial intelligence, and hybrid systems within strong regulatory frameworks will further enhance its effectiveness and global impact.
الملخص باللغة العربية	يُعد التلوث البيئي الناجم عن التصنيع والتوسع الحضري والزراعة المكثفة وسوء إدارة النفايات تهديدًا عالميًا خطيرًا للنظم البيئية والصحة العامة. ورغم فعالية أساليب المعالجة الفيزيائية والكيميائية التقليدية في بعض الحالات، إلا أنها غالبًا ما تكون مكلفة وتستهلك كميات كبيرة من الطاقة، وقد تُنتج ملوثات ثانوية. في المقابل، برزت المعالجة الحيوية الميكروبية كبديل مستدام وصديق للبيئة ومتعدد الاستخدامات لاستعادة البيئات الملوثة. تقدم هذه المراجعة نظرة شاملة على المعالجة الحيوية الميكروبية، مع تسليط الضوء على التنوع الميكروبي، والقدرة على التكيف البيئي، والتطبيقات الخاصة بكل نوع من الملوثات. كما تُحدد الآليات الرئيسية للتحلل وإزالة السموم، بما في ذلك النشاط الإنزيمي، وتحولات الأكسدة والاختزال، والامتصاص الحيوي، ومسارات الأيض المنظمة وراثيًا. وتشمل التطبيقات الملوثات العضوية وغير العضوية، والملوثات العضوية الثابتة، والملوثات الناشئة، والجسيمات البلاستيكية الدقيقة، والنفايات المشعة، ومخلفات الكتلة الحيوية. تتناول هذه المراجعة أيضًا التطبيقات الحالية للمعالجة الحيوية في المملكة العربية السعودية، لا سيما في معالجة التربة الملوثة بالنفط، والمخلفات الصناعية، والبيئات المالحة والجافة. توفر المعالجة الحيوية الميكروبية مزايا عديدة، منها فعاليتها من حيث التكلفة، وانخفاض تأثيرها البيئي، وقدرتها على التكيف مع الظروف القاسية، وإمكانية دمجها في استراتيجيات الاقتصاد الحيوي الدائري. ورغم وجود بعض التحديات، كبطء معدلات التحلل والتقلبات البيئية، إلا أنها تبقى نهجًا عمليًا ومستدامًا لإدارة التلوث. ومن شأن التطورات المستقبلية التي تدمج تقنيات علم الجينوم، والهندسة الوراثية، والذكاء الاصطناعي، والأنظمة الهجينة ضمن أطر تنظيمية قوية، أن تعزز فعاليتها وتأثيرها العالمي.