

Impacts of Olive Mill Wastewater on Soil Environment in the Mediterranean Region

Sleem Ali Kreba

Sciences College || Alasmarya Islamic University || Libya

Abstract: Olive Mill Wastewater (OMW) is a potential issue for olive oil producers in the Mediterranean region, where it is known as the main producers worldwide. OMW has serious impacts on the environment and agriculture and has double nature; it is a strong pollutant and at the same time a possible source of valuable components. OMW can improve soil properties and productivity if it is added with the right amount and at the right time. This review article considers studying the effects of OMW on soil biological, chemical, and physical properties and processes. It summarizes the importance of olive oil and the common extraction methods besides OMW's properties. It also offers essential information about OMW's impacts on crops and its treatment methods. This article was prepared to help people with different specialties and interests such as farmers, food producers, researchers and scientists in environmental and agricultural sectors. There is still need for improvement of effective OMW treatment methods to reduce its environmental impacts and to be reused in irrigation. It is recommended that OMW should be developed to produce biochar which can be used to improve soil properties and fertility, and new resistant plant breeds to phenolic toxicity should be developed.

Keywords: Environmental pollution – Soil properties - Wastewater treatment – Olive oil extraction.

أثر مخلفات صناعة زيت الزيتون على بيئة التربة في منطقة البحر الأبيض المتوسط

سليم علي كربية

كلية العلوم || الجامعة الأسمرية الإسلامية || ليبيا

المستخلص: تعتبر مخلفات صناعة زيت الزيتون وطرق التخلص منها من أهم المشاكل التي تواجه الدول التي تشتهر بإنتاج ثمار الزيتون في منطقة البحر الأبيض المتوسط. حيث أن تلك المخلفات لها طبيعة مزدوجة فهي تعتبر من ملوثات البيئة والزراعة، وفي الوقت نفسه تحتوي على عناصر ومركبات مهمة يمكن استغلالها والاستفادة منها في تحسين خواص وإنتاجية التربة إذا أضيفت بمقادير ومعدلات مدروسة وفي الوقت المناسب. وبذلك تهدف هذه الورقة إلى دراسة وتسليط الضوء على الآثار الإيجابية والسلبية لمخلفات صناعة زيت الزيتون السائلة على الخواص البيولوجية والكيميائية والفيزيائية للتربة. هذه الورقة تلخص أهمية زيت الزيتون وطرق استخلاصه، كما أنها تقدم معلومات مهمة حول خواص مخلفات صناعة زيت الزيتون. كذلك تتطرق إلى أثر مخلفات صناعة زيت الزيتون على المحاصيل الزراعية وطرق معالجة هذه المخلفات. وتستخدم هذه الدراسة فئة المزارعين والقائمين على صناعة زيت الزيتون، والمهتمين والأكاديميين في مجالي البيئة والزراعة، وتوصي بما يلي:

- إيجاد طرق فعالة لمعالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون، وذلك لتخفيف الضرر البيئي الناتج عنها، وإعادة استعمالها في ري المحاصيل الزراعية.

- تطوير واستعمال هذه المخلفات كفحم نباتي يستخدم في تحسين خواص التربة وزيادة خصوبتها.

- إنتاج واختيار سلالات نباتية مقاومة لسمية مركبات الفينول.

الكلمات المفتاحية: التلوث البيئي – خواص التربة - معالجة المخلفات – استخلاص زيت الزيتون.

المقدمة

عُرف زيت الزيتون منذ أكثر من 7000 سنة باستعمالاته المتعددة منها: كغذاء ودواء ووقود لفتيل الإنارة. وحظيت شجرة الزيتون باهتمام كل الحضارات التي نشأت في منطقة البحر الأبيض المتوسط؛ لأنها تنمو جيدا في تلك الدول. وهي شجرة صغيرة دائمة الخضرة، متوسط ارتفاعها يتراوح بين 3 إلى 5 أمتار. وشجرة الزيتون لا تنتج إنتاجها مبكرا، وتحتاج إلى مدة تتراوح من 8 إلى 10 سنوات لتبدأ في الإثمار، إلا أنه توجد بعض الأصناف التي تثمر من 2 إلى 6 سنوات. وتزهو شجرة الزيتون في مايو وتنضج الثمار بلونها الأخضر في أكتوبر وتتحول إلى اللون الأسود في ديسمبر. وشجرة الزيتون تعطي إنتاجها عام بعد عام فتنمو في عام وتثمر بغزارة في العام التالي وذلك لأسباب بيولوجية ومناخية، مع وجود بعض الأصناف المحسنة التي تثمر كل عام. وعرف الزيتون على أنه ثمرة صديقة للبيئة، حيث أن شجرة الزيتون لا تحتاج إلى التسميد المكثف، وعملية إنتاج زيت الزيتون لا تستهلك الكثير من الطاقة ولا تدخل فيها المواد الكيميائية. ولكن تظل هناك مشكلة التخلص من مخلفات عملية استخلاص زيت الزيتون والتي تعتبر من ملوثات البيئة.

إن معظم إنتاج زيت الزيتون العالمي يأتي من الدول المحيطة بالبحر الأبيض المتوسط، فتنتج دول الاتحاد الأوروبي المحيطة بالبحر الأبيض المتوسط حوالي 10 مليون طن سنويا من الزيتون وهو ما يمثل 75% من الإنتاج العالمي من الزيتون وهو ما يقابل 1.8 مليون طن سنويا من زيت الزيتون (Azbar et al., 2004). وتعتبر إسبانيا الأعلى إنتاجا من ثمار الزيتون (42%)، تليها إيطاليا (17%)، ثم اليونان (11%)، بينما تنتج الدول الآسيوية ما يعادل 15%، والدول الأفريقية ما يعادل 12% (Khdair & Abu-Rumman, 2020). وتتمثل أهمية زيت الزيتون في استعماله في الطعام، وفي استعمالاته الطبية التي تم التعرف عليها منذ قرون. فيستعمل كعلاج للحروق واللسعات، وكمرهم للاستعمال الخارجي، وكمغذي لبشرة الأطفال. ويدخل زيت الزيتون في صناعة الصابون حيث يضيف خصائص الترطيب والنعومة. وأوضحت بعض الدراسات أهميته في علاج بعض أنواع مرض السرطان (Martin & Moreno, 2000).

وتنوع أهمية زيت الزيتون في احتوائه على مركبات وعناصر مهمة لجسم الإنسان. فتحتوي ثمار الزيتون على مركبات مختلفة أهمها الماء (50%) والليبيدات (30%) والكربوهيدرات (20%) (Azbar et al., 2004). وجدول (1) يبين التركيب الرئيسي لثمار الزيتون.

جدول 1: محتوى ثمار الزيتون من مركبات مختلفة (Azbar et al., 2004).

المركبات	اللبن %	البذور %
ماء	60-50	30
زيت	30-15	27.3
مركبات النيتروجين	5-2	10.2
سكريات	7.5-3	26.6
سليولوز	6-3	1.9
معادن	2-1	1.5
متعدد الفينولات	2.25-2	1-0.5
أخرى	-	24

تعتبر تراكم مخلفات صناعة زيت الزيتون في مدة قصيرة مشكلة بيئية يجب دراستها وإيجاد الحلول الجذرية للتخلص من هذه المخلفات أو الإستفادة منها واستعمالها في الزراعة. ولكي يتم الإستفادة منها في الزراعة، يجب

دراسة أثرها الإيجابي والسلبي على بيئة التربة. هذا، ونتيجةً لنقص المعلومات المتعلقة بمخلفات صناعة زيت الزيتون وأثرها على الزراعة والبيئة باللغة العربية، فإن الهدف من هذه الورقة المسحية (review article) هو دراسة أثر مخلفات صناعة زيت الزيتون السائلة على الخواص البيولوجية والكيميائية والفيزيائية للتربة. والمستهدفون من هذه الورقة هم جميع المهتمين بمجالي الزراعة والبيئة من مزارعين وطلبة وباحثين، بالإضافة إلى المهتمين بصناعة واستخلاص زيت الزيتون. وتعتمد منهجية هذا البحث المسحي على جمع معلومات موثقة من ورقات وكتب علمية منشورة بلغات مختلفة من مصادر علمية معتمدة وتوثيقها باللغة العربية للتسهيل ولمساعدة الباحث العربي. وتعتمد هذه المنهجية على تسلسل المواضيع المتعلقة بمخلفات صناعة زيت الزيتون وترتيبها من المهمة إلى الأقل أهمية حتى نصل إلى التوصيات. هذا الترتيب يكون على شكل توضيح وباختصار أهمية زيت الزيتون وطرق استخلاصه، والتعريف بخواص مخلفات صناعة زيت الزيتون، ووصف الآثار الإيجابية والسلبية لهذه المخلفات على الخواص البيولوجية والكيميائية والفيزيائية للتربة، ودراسة تأثير هذه المخلفات على المحاصيل الزراعية، وإيضاح كيفية وأسس معالجة هذه المخلفات والاستفادة منها.

طرق استخلاص زيت الزيتون:

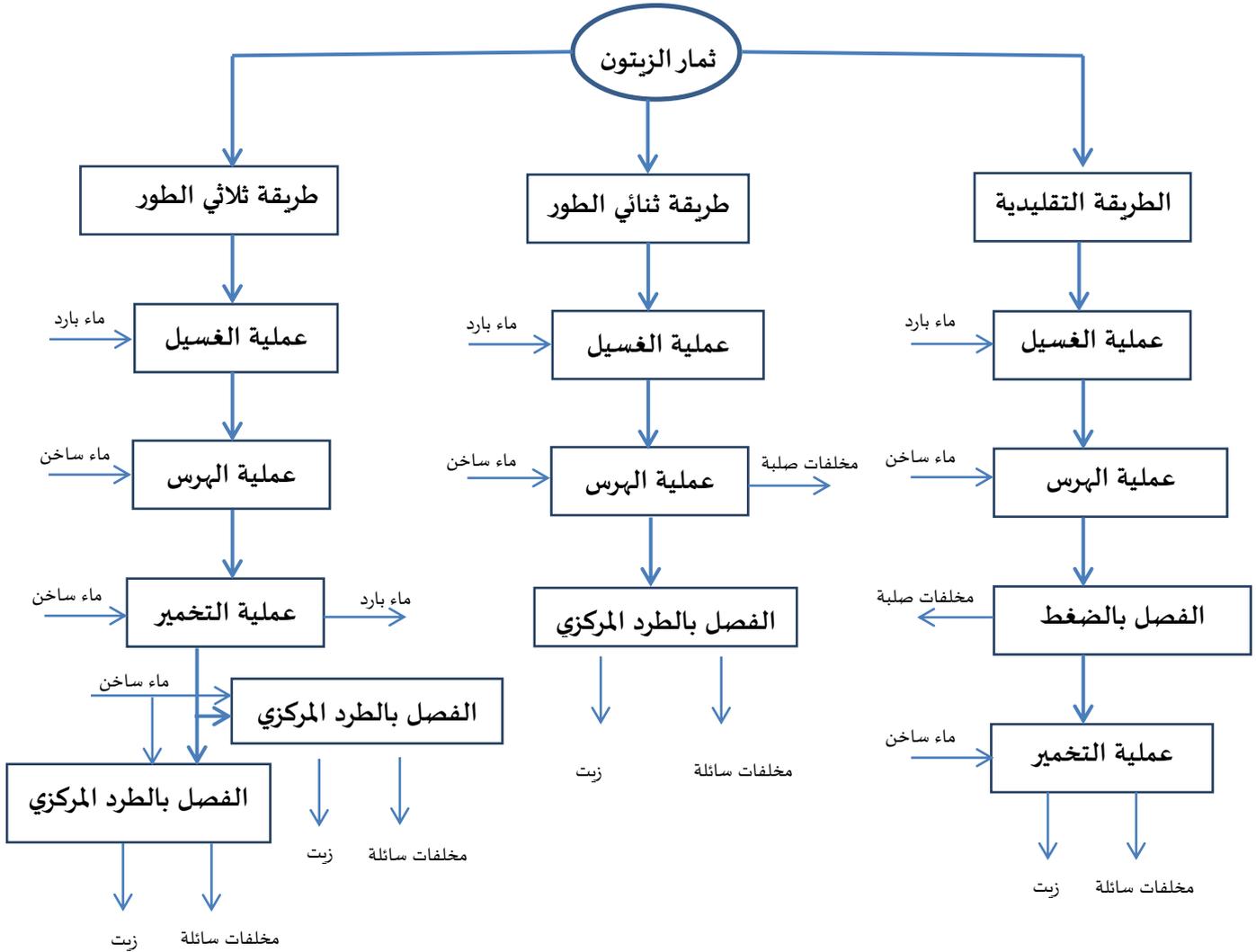
لمعرفة تأثير مخلفات صناعة واستخلاص زيت الزيتون على التربة والبيئة وكيفية إنتاج هذه المخلفات، من المهم الإطلاع على طرق استخلاص زيت الزيتون. هناك ثلاث طرق معروفة تستعمل في استخلاص زيت الزيتون هي: الطريقة التقليدية وطريقة ثنائي الطور، وطريقة الطرد المركزي ثلاثي الطور. فالطريقة التقليدية هي الطريقة المتعارف عليها في استخلاص زيت الزيتون لقرون عديدة، حتى جاءت التقنية الصناعية الحديثة وتقنية الطرد المركزي في عمليات الاستخلاص. فالغرض من استعمال تقنية الطرد المركزي هو زيادة كفاءة عمليات الاستخلاص، وتحسين نوعية الزيت المستخلص، مع تقليل المخلفات البيئية قدر الإمكان. فقد أوضح توريس وميستري (Torres & Maestri, 2006) أن استعمال وتطوير تقنية الطرد المركزي قللت من مخلفات عملية الاستخلاص بمقدار 75%. أما طريقة ثنائي الطور فهي الطريقة الأكثر استعمالاً حالياً؛ وذلك لانخفاض مقدار الماء المستعمل في عمليات الاستخلاص مما يؤدي إلى انخفاض كمية المخلفات لتلك العملية.

شكل (1) يوضح عصر ثمار الزيتون بثلاث طرق مختلفة. ففي الطريقة التقليدية: تهرس ثمار الزيتون بعد تنظيفها باستعمال رحي حجرية مصنوعة من الجرانيت، ثم يخلط الناتج من عملية الهرس (العجينة) جيداً، ثم تفصل مكونات عجينة ثمار الزيتون عن طريق الضغط. أما في طريقة الطرد المركزي الحديثة: فهرس ثمار الزيتون باستعمال رحي معدنية ومن ثم تخلط جيداً ثم يتم فصل مكونات عجينة ثمار الزيتون عن طريق الطرد المركزي الأفقي ثم الطرد المركزي العمودي ثنائي وثلاثي الطور. وقد أوضح قادر وأبورومان (Khdair & Abu-Rumman, 2015) أن طريقة ثلاثي الطور تحتاج إلى كمية أكبر من الماء في عمليات الاستخلاص مقارنة بطريقة ثنائي الطور، حيث أن طريقة ثلاثي الطور تنتج ما مقداره 20% زيت و30% مخلفات صلبة و50% مخلفات سائلة، وبذلك تكون نسبة مخلفات عملية الاستخلاص أربعة أضعاف كمية الزيت المستخلص.

مخلفات استخلاص زيت الزيتون:

نتيجة لزيادة الحاجة إلى معرفة فوائد زيت الزيتون، أصبح التلوث البيئي مشكلة متنامية مع عملية إنتاجه وخاصة في المناطق المحيطة بالبحر الأبيض المتوسط. وبذلك أصبحت الدول المنتجة لزيت الزيتون ملزمة لإيجاد الحلول الجذرية للتخلص من مخلفات صناعته بطرق صديقة للبيئة وغير مكلفة. فتقدر كمية مخلفات صناعة زيت الزيتون من 0.5 إلى 1.5 متر مكعب لكل 1000 كجم من ثمار الزيتون (Barbera, Maucieri, Cavallaro, Ioppolo &)

(Spagna, 2013). وتقدر كمية هذه المخلفات الناتجة عن عملية عصر ثمار الزيتون بـ 3 مليون متر مكعب من جميع دول حوض البحر الأبيض المتوسط المنتجة لزيت الزيتون في الموسم الواحد. فهذا الحجم الكبير من المخلفات راجع إلى كمية الماء الكبيرة المستعملة في استخلاص زيت الزيتون من ثماره (El Hadrami et al., 2004). فهناك نوعان من مخلفات صناعة زيت الزيتون، هما: الصلبة والسائلة، وهي مواد سوداء اللون تحتوي على نسبة عالية من المادة العضوية ولها رائحة مميزة وكريهة. وتختلف تسمية مخلفات صناعة زيت الزيتون من دولة إلى أخرى، فمثلاً: يطلق على المخلفات الصلبة اسم الجفت والفاتورة، ويطلق على المخلفات السائلة اسم المرجين والزيبار. وتمثل



شكل 1: طرق استخلاص زيت الزيتون

(Albuquerque, González, García, & Cegarra, 2004; Ouazzane et al., 2017)

المخلفات السائلة حوالي 75% من مجموع المخلفات والتي تحوي على 83-92% ماء ناتج من ثمار الزيتون ومن عملية التنظيف والعصر (Di Bene, 2012). وتقدر كمية المادة العضوية بـ 50-150 كجم في المتر المكعب من المخلفات السائلة (Rozzi & Malpei, 1996). هذه المخلفات تحتوي على مواد معقدة التركيب ليس من السهل تحليلها أو فصلها. وما يميز هذه المخلفات هي الرائحة النفاذة مما يسبب في تلوث المنطقة المحيطة بأماكن تجميعها والتخلص منها.

إن مخلفات صناعة زيت الزيتون تعمل على تلوث البيئة المائية أيضا، ويظهر هذا التلوث في تغير لون المياه وظهور طبقة زيتية علي سطح الماء وزيادة معدل الإستهلاك البيولوجي والكيميائي للأكسجين في الماء. ولمخلفات صناعة زيت الزيتون تأثير علي التربة باعتبارها سامة للنبات وتؤثر على رائحة التربة. ونتيجة لوجود مواد عضوية سامة ناتجة من عملية تكسير بذور ثمار الزيتون في عمليات الاستخلاص، فإن المخلفات تعتبر مواد سامة على البكتيريا وليس لها طرق معالجة بيولوجية فعالة (Gonzalez, Moreno, Quevedo & Ramos, 1990). ولقد أوضح تساقراكي وآخرون (Tsagaraki, Lazarides & Petrotos, 2007) أن النقاط الرئيسية التي تلخص الأثر السلبي لمخلفات صناعة زيت الزيتون على البيئة بصفة عامة هي:

- الأثر الناتج عن الرائحة الكريهة النفاذة للمخلفات.
- الأثر الناتج عن التلوث العضوي، حيث يصل الاحتياج الكيميائي للأكسجين إلى 220 جرام/لتر، والنسبة بين الاحتياج الكيميائي والبيولوجي للأكسجين إلى 2.5-5، مما يجعل هذه المخلفات من الصعب تحليلها.
- الأثر الناتج عن انخفاض قيم الرقم الهيدروجيني (pH) حيث تتراوح بين 3.5 و5.9.
- الأثر الناتج عن إرتفاع تركيز مركبات الفينول (polyphenols) حيث يصل تركيزها في المخلفات إلى 80 جرام/لتر، مما يُصعب تحليلها بالإضافة إلى أضرارها السمي على معظم الكائنات الحية الدقيقة.
- الأثر الناتج عن ارتفاع تركيز المواد الصلبة الذي يصل إلى 20 جرام/لتر.

وأوضحت بعض الدراسات أن لمخلفات صناعة زيت الزيتون أهمية إقتصادية تتمثل في استعمالها كمحسن لخواص التربة، ومصدر للطاقة، وسماد عضوي، ومادة أولية تدخل في بعض الصناعات مثل: صناعة الأنزيمات والوقود البيولوجي ومضادات الأكسدة. كذلك الماء الناتج عن عملية صناعة زيت الزيتون ممكن إعادة استعماله في ري المحاصيل بعد التأكد من صلاحيته ومعالجته. فرغم الأثر السلبي لمخلفات صناعة زيت الزيتون على البيئة، فإن لها أثراً إيجابياً على التربة الزراعية. فهي تحتوي على العديد من مغذيات النبات مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد بالإضافة إلى المادة العضوية (Lozano-García, Parras-Alcántara & del Toro, 2011). (Carrillo de Albornoz, 2011).

يمكن تقسيم مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى مخلفات صلبة وسائلة. حيث يستفاد من المخلفات الصلبة كسماد عضوي أو في تغذية الماشية أو كوقود. أما المخلفات السائلة فيتم التخلص منها بعدة طرق منها تجميعها في أحواض هوائية ضخمة حتى تتبخر، أو التخلص منها مع المواد العادمة المنزلية (مياه الصرف الصحي)، أو في مياه البحر. وتوجد طرق أخرى مستعملة مثل: إقامة محطات معالجة لفصل الماء وإعادة استعماله في استخلاص وصناعة زيت الزيتون، أو استخدام طرق المعالجة البيولوجية والكيميائية، أو رش المخلفات على التربة الزراعية واستعمالها كسماد ومحسن لخواص التربة.

إن عملية التخلص من مخلفات صناعة زيت الزيتون بالرش على الأراضي الزراعية تعتبر أكثر الطرق شيوعاً في دول حوض البحر الأبيض المتوسط. حيث يعتبر أنجلكيس وآخرون (Angelakis, Marecos Do Monte, Bontoux & Asano, 1999) أن هذه الطريقة اقتصادية وذو كفاءة عالية وذلك لوجود المواد المعدنية والعضوية المغذية للنبات في هذه المخلفات. وتعتبر هذه الطريقة منخفضة التكاليف مقارنة بالطرق الأخرى المتبعة في تسميد وري المحاصيل الزراعية (Komilis, Karatzas & Halvadakis, 2005). لكن هذه الطريقة لها عدة آثار بيئية سلبية منها: أضرارها السلبية على الخواص الكيميائية والبيولوجية والفيزيائية للتربة، وأثر مركبات الفينول السامة على المحصول المزروع، وأضرارها السلبية علي تلوث المياه الجوفية (Spandre & Dellomonaco, 1996; Saadi, Laor, Raviv & Medina, 2007).

خواص مخلفات صناعة زيت الزيتون:

إن التركيب الكيميائي لمخلفات صناعة زيت الزيتون يختلف من دراسة إلى أخرى. فهو يختلف بحسب مجموعة عوامل منها: الطريقة المستعملة في عصر الزيتون، ونوع الزيتون المستعمل، والموقع الذي تنمو فيه أشجار الزيتون، والمناخ السائد في المنطقة، وطريقة جمع ثمار الزيتون (Aviani et al., 2012). وجدول (2) يوضح التركيب الكيميائي لمخلفات صناعة زيت الزيتون لعينات جمعت من موقعين في إيطاليا. وهناك دراسة أخرى أوضح فيها حمدي (1993) أن مخلفات صناعة زيت الزيتون تحتوي على مواد صلبة متطايرة بنسبة 15% ومواد معدنية بنسبة 2%، وأن الجزء العضوي منها يحتوي على سكريات وأحماض عضوية وأحماض أمينية ومركبات فينولات مختلفة كما هو مبين في جدول (3). كما يقدر تركيز مركبات الفينولات بـ 0.01 جم/سم³، ويقدر تركيز الزيت المتبقي بـ 0.05 جم/سم³ (Fiestas Ros de Ursinos, 1981).

جدول 2: الخواص الكيميائية لعينات من مخلفات صناعة زيت الزيتون (Di Bene, 2012; Mekki, Dhouib & Sayadi, 2009).

التركيز	الخاصية	التركيز	الخاصية
8.8	البوتاسيوم (g L ⁻¹)	5.1	pH
36.0	الفوسفور (g L ⁻¹)	8.9	التوصيلية الكهربائية (dS m ⁻¹)
0.9	الصوديوم (g L ⁻¹)	6.8	الملوحة (g L ⁻¹)
1.6	الكلوريد (g L ⁻¹)	52.0	مجموع المواد الصلبة (g L ⁻¹)
32.0	الحديد (mg L ⁻¹)	8.0	المادة المعدنية (g L ⁻¹)
13.0	الإحتياج البيولوجي للأكسجين (g L ⁻¹)	25.5	الكربون العضوي (g L ⁻¹)
72.0	الإحتياج الكيميائي للأكسجين (g L ⁻¹)	0.6	النيتروجين العضوي (g L ⁻¹)
9.2	الفينول (g L ⁻¹)	43.0	كربون/نيتروجين (C/N)
99.0	السمية (LUMISTox (%/B))	1.2	الكالسيوم (g L ⁻¹)
		0.2	الماغنسيوم (g L ⁻¹)

جدول 3: التركيب العضوي لمخلفات صناعة زيت الزيتون

(Fiestas Ros de Ursinos, 1981; Fernandez Diaz, 1983; Salvemin, 1985; Balice & Cerai, 1984; Cichelli & Solinas, 1984)

Sugars	Organic acids
Cellulose	Fumaric acid
Pectin	Glyceric acid
Raffinose	Lactic acid
Mannose	Malic acid
Saccharose	Malonic acid
Glucose	Phenolic acids
Arabinose	Syringic acid

Sugars	Organic acids
Xylose	P-hydroxyphenylacetic acid
Amino acids	Vanillic acid
Aspartic acid	Veratric acid
Glutamic acid	Caffeic acid
Proline acid	Protocatechuic acid
Glycine acid	P-coumaric acid
Phenolic alcohols	Cinnamic acid
4-hydroxyphenyl alcohol	
3,4-dihydroxyphenyl ethanol	

تأثير مخلفات صناعة زيت الزيتون علي الخواص البيولوجية للتربة:

إن أثر مخلفات صناعة زيت الزيتون على الكائنات الحية في التربة متفاوت بين الدراسات العلمية، حيث أن بعضها استنتج الأثر الإيجابي بينما الآخر بين الأثر السلبي. وأوضحت التجارب الحقلية والمعملية الأثر الإيجابي لمخلفات صناعة زيت الزيتون على الخواص البيولوجية للتربة بصفة عامة. حيث وجدت ارتفاع في انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من التربة بعد إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون لها، والذي يعتبر دليلاً على زيادة نمو ونشاط الكائنات الحية وخاصة الهوائية فيها (Mekki, Dhouib, Aloui & Sayadi, 2006a; Di Serio et al., 2008). وبصفة عامة، تزداد أعداد الكائنات الحية الدقيقة في التربة بزيادة كمية مخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة (Piotrowska, Rao, Scotti & Gianfreda, 2011)، ولكن هذه الزيادة الطردية لا تدوم طويلاً، فهي محدودة لمدة بضع أشهر. والزيادة الطردية في أعداد ونشاط الكائنات الحية في التربة لها سببان: أولهما: سهولة تحليل المادة العضوية في مخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة إلى التربة وثانئهما: أن المواد السامة في المخلفات تؤثر في كائنات حية معينة في التربة (Barbera et al., 2013).

إن أثر مخلفات صناعة زيت الزيتون ليس إيجابياً على كل أنواع الكائنات الحية في التربة، حيث أوضح مشري وآخرون (Mechri, Ben Mariem, Baham, Ben Elhadj & Hammami, 2008) أن إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون تزيد من أعداد الفطريات على حساب أعداد البكتيريا في التربة، وأن ناتج تحليل المادة العضوية الناتجة من إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى التربة تعتبر مغذيات لمعظم أنواع الفطريات في التربة. كذلك أوضح كاربوزاس وآخرون (Karpouzias et al., 2010) أن العوامل المسببة في انخفاض أعداد البكتيريا مباشرة بعد إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون هي:

- التغير في البيئة الدقيقة للتربة كعدم وجود البيئة المناسبة للأكسدة في التربة
- التنافسية العالية بين الكائنات الحية في التربة على النيتروجين المعدني المضاف إلى التربة مع مخلفات صناعة زيت الزيتون
- التأثير المثبط لمركبات الفينول على بعض أنواع البكتيريا.

وهناك بعض الدراسات مثل: (El Hassani, Zinedine, Mdaghri و Mekki, Dhoub, & Sayadi, 2006b) و (Alaoui, Merzouki & Benlemlih 2010) وجدت نتائج تختلف عما سبق، حيث أنها لاحظت ارتفاع في أعداد البكتيريا في التربة بعد إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون. كذلك وجد مكي وآخرون (Mekki et al. 2009) انخفاض في معدل غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من التربة مما يدل على انخفاض نشاط الكائنات الحية في التربة بعد رشها بمخلفات صناعة زيت الزيتون. كذلك أوضح دي بين وآخرون (Di Bene, Pellegrino, Debolini, Silvestri & Bonari 2012) أن لمخلفات صناعة زيت الزيتون أثراً سلبياً على الخواص البيولوجية للتربة، لكن هذا الأثر لا يدوم طويلاً، حيث يعود توازن التربة الكيميائي والبيولوجي مع الوقت بعد إضافة المخلفات، وهذا الوقت يعتمد على طبيعة المناخ بالإضافة إلى خواص التربة والمخلفات المضافة. كما أنهم توصلوا إلى حقيقة مفادها أنه ليس لمخلفات صناعة زيت الزيتون أثر سلبي على خواص التربة الكيميائية والبيولوجية بشرط التقيد بكمية المخلفات المضافة وطريقة إضافتها إلى التربة. حيث أوصوا بأن تكون كمية مخلفات صناعة زيت الزيتون لا تتعدى 80 متر مكعب في الهكتار، وأن ترش المخلفات بحيث يتم توزيعها بالتساوي على المساحة مع تقليب التربة. ومن الطبيعي أن هذه الكمية تختلف على حسب نوع التربة والظروف المناخية السائدة في المنطقة، بالإضافة إلى التركيب الكيميائي لمخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة إلى التربة.

وبصفة عامة، هناك علاقة إيجابية بين مخلفات صناعة زيت الزيتون والكائنات الحية في التربة. حيث تعمل هذه الكائنات على تحلل المواد العضوية المعقدة التركيب الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون وينتج عن هذا التحلل المواد المعدنية المهمة في تغذية النبات وزيادة خصوبة التربة. كذلك تعتبر عملية تحلل مخلفات صناعة زيت الزيتون مهمة في التخلص منها ومعالجة التلوث البيئي الناتج عنها. فمثلاً، استعملت الباس وآخرون (El-Bassi et al. 2020) مخلفات صناعة زيت الزيتون في صناعة فحم نباتي (biochar) الذي يتم الاستفادة منه في تحسين خواص التربة وزيادة خصوبتها وذلك اعتماداً على العلاقة الإيجابية بين هذه المخلفات والكائنات الحية في التربة. كذلك أوضح سكيوبا وآخرون (Sciubba et al. 2020) أن مخلفات صناعة زيت الزيتون يمكن استعمالها كمبيد طبيعي للآفات الزراعية وليس له آثار سلبية على البيئة بالإضافة إلى استعمالها كسماد. حيث أوضح أن المركب (oligosaccharide) الموجود في مخلفات صناعة زيت الزيتون يمكن أن يعمل على حماية النبات من الآفات.

تأثير مخلفات صناعة زيت الزيتون على الخواص الكيميائية للتربة:

تتصف مخلفات صناعة زيت الزيتون بالحمضية، ويرجع ذلك إلى الأحماض العضوية والدهنية وأحماض الفينول (phenolic and fatty acids) الموجودة في هذه المخلفات، ودرجة حموضتها تعتمد على نضج المحصول وظروف التخزين بعد الحصاد، ولا تعتمد على عملية العصر (Achak, Hafidi, Ouazzani, Sayadi & Mandi, 2009). ونتيجة للطبيعة الحمضية لمخلفات صناعة زيت الزيتون فإن إضافتها إلى التربة تعمل على خفض الرقم الهيدروجيني (pH) بها (Kavvadias, Doula, Komnitsas & Liakopoulou, 2010)، ولكن لا يوجد أثر سلبي على خصوبة وخواص التربة إذا أضيفت الكمية المناسبة من المخلفات لها (Cabrera, López, Martínez-Bordiú, Dupuy de Lome & 2010; Murillo, 1996; Chartzoulakis, Psarras, Moutsopoulou & Stefanoudaki, 2010). وأوضحت بعض الدراسات أن التغير في الرقم الهيدروجيني للتربة مؤقت ولا يدوم طويلاً ولو بإضافة كميات كبيرة من مخلفات صناعة زيت الزيتون (Piotrowska, Rao, Scotti & Gianfreda, 2011; Chartzoulakis et al., 2010). إن حمضية مخلفات صناعة زيت الزيتون تؤدي إلى فقدان الكربونات في التربة على الأمد الطويل (Mahmoud, Janssen, Haboub, Nassour & 2010; Lennartz, 2010)، ووجود الكربونات في التربة مهم لأنها تعادل وتوازن حموضة التربة، لذلك ينصح بإضافة مخلفات

صناعة زيت الزيتون إلى التربة القلوية الغنية بالكربونات والبيكربونات (Sierra, Marti, Montserrat, Crua~nas & Garau, 2001; Mekki et al., 2009). وكذلك تتأثر ملوحة التربة بإضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون، حيث أن التوصيلية الكهربائية لمحلل التربة (soil electric connectivity) تزداد بزيادة كمية مخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة لها (Mekki et al., 2009). ويرجع ذلك إلى إضافة ملح الطعام إلى ثمار الزيتون بعد جنبها لغرض تخزينها حتى ينتهي موسم الجني. والتوصيلية الكهربائية للتربة هي مقياس لتركيز الأملاح الذائبة فيها (كربية، 2019). إن ارتفاع ملوحة التربة سببه وجود بعض الأيونات مثل: الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم بتركيزات عالية في مخلفات صناعة زيت الزيتون (Zenjari & Nejmeddine, 2001). وقد أوضحت الأبحاث العلمية أن ملوحة التربة ترتفع عند رش مخلفات صناعة زيت الزيتون، ولكنها تنخفض مع مرور الوقت على رشحها (et al., 2010; Moraetis, Stamati, Kavvadias Nikolaidis & Kalogerakis, 2011).

إن مخلفات صناعة زيت الزيتون غنية بالمادة العضوية، حيث تحتوي هذه المخلفات على حوالي 65% من وزنها الجاف كمادة عضوية، كما أنها تحتوي على 4-17% من وزنها الجاف ككربون عضوي (Paredes, Ceggara, Roing, Sanchez-Monedero, & Bernal, 1999). وبذلك يؤدي رش مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى ارتفاع تركيز المادة العضوية في التربة بمقدار يصل إلى 36.8 جرام لكل كيلوجرام بعد 15 سنة (Mahmoud et al., 2010). ويقدر محتوى مخلفات صناعة زيت الزيتون من النيتروجين العضوي الكلي بـ 0.96 جرام لكل لتر، ويعتبر هذا ضئيلاً جداً مقارنة بمحتواها من الكربون العضوي (Roig, Cayuela & Sánchez-Monedero, 2006) مما يجعل نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N) مرتفعة في التربة نسبياً (20-50) (Di Serio et al., 2008). وهذه النسبة العالية من الكربون إلى النيتروجين في التربة يمكن أن تؤثر بالسلب على نشاط الكائنات الحية فيها، مثل أكسدة وتحلل المادة العضوية، لأن عنصر النيتروجين مهم لنشاطها في التربة. ولوحظ في بعض الدراسات انخفاض تركيز الكربون العضوي والنيتروجين في التربة بعد إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون بمدة قصيرة مع أن هذه المخلفات غنية بالمادة العضوية والنيتروجين (Sierra, Martí, Garau & Crua~nas, 2007). وهذا الانخفاض سببه التحلل السريع واستهلاك الكربون العضوي والنيتروجين العضوي عن طريق البكتيريا والفطريات وغيرها من ميكروبات التربة. وأوضحت بعض الأبحاث الأخرى ارتفاع تركيزهما في التربة إذا استمرت إضافة المخلفات لمدة أطول (López-Piñero, Fernández, Rato Nunes & García, 2006).

تعتبر مركبات الفينول من أهم عناصر مخلفات صناعة زيت الزيتون الضارة للنبات، وذلك لسميتها، وأثرها المثبط لميكروبات التربة. فهي تعتبر من مشاكل استعمال المخلفات كسماد أو لتحسين خواص التربة الزراعية وهي من أهم الملوثات الزراعية (Cardinali et al., 2010). ويقدر تركيز الفينولات في مخلفات صناعة زيت الزيتون 0.79-13 جرام لكل لتر (El Hajjouji et al., 2008; Achak et al., 2009). وأوضح رودس وآخرون (Rodis, Karathanos & Mantzavinou, 2002) أن حوالي 2% من مركبات الفينول في ثمار الزيتون موجودة في الزيت قبل عصره و53% منها موجودة في المخلفات السائلة و45% منها موجودة في المخلفات الصلبة من عمليات الاستخلاص. ومركبات الفينول في مخلفات صناعة زيت الزيتون تكون في صورة الفينولات المتأكسدة والفينولات المتبلمرة (oxidized and polymerized phenolic compounds) (Ayed, Assas, Sayadi & Hamdi, 2005). كما أوضح مكي وآخرون (Mekki, Dhouib & Sayadi, 2013) أن هناك مركبان من مركبات الفينول هما التيروسول والهيدروكسي تيروسول (hydroxytyrosol and tyrosol) هما المسؤولين عن ظاهرة السمية لميكروبات التربة. وأوضحت بعض الأبحاث انخفاض تركيز مركبات الفينول في التربة مع مرور الوقت بعد إضافة المخلفات نتيجة لتحللها عن طريق بعض أنواع ميكروبات التربة أو اندماجها مع المادة العضوية فتصبح غير ذائبة وغير فعالة في التربة (Gamba et al., 2005). لكن هناك دراسات أخرى

أوضحت أن مركبات الفينول في التربة المضاف إليها مخلفات صناعة زيت الزيتون تقاوم التحلل بفعل ميكروبات التربة لمدة تصل إلى ثلاثة أشهر (Saadi et al., 2007). ويجدر القول أن عملية تحلل مركبات الفينول خاصةً والمادة العضوية عامةً والنتيجة من إضافة المخلفات إلى التربة تعتمد على العوامل البيئية السائدة مثل درجة حرارة التربة ورطوبتها (Sierra, Martí, Garau & Cruañas, 2007).

وإضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى التربة تؤدي إلى ارتفاع تركيز الحديد والفوسفور والبوتاسيوم وخاصة البوتاسيوم المتبادل في التربة (Mechri, Attia, Braham, Ben Elhadj & Hammami, 2007; Piotrowska, 2006) وذلك لأن هذه العناصر مرتفعة التركيز في المخلفات المضافة. وارتفاع تركيز عنصري الفوسفور والبوتاسيوم له مردوده الإيجابي على خصوبة التربة حيث أنهما من مغذيات النبات الرئيسية (الكبرى) مما يشجع استعمال مخلفات صناعة زيت الزيتون كسماد زراعي. ولإضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون أثر على نشاط الأنزيمات في التربة. وهذا الأثر ناتج عن ارتفاع ملوحة التربة الناتجة من إضافة تلك المخلفات، فيعتبر عنصر الصوديوم مهماً في زيادة أو تثبيط نشاط بعض الأنزيمات في التربة (Piotrowska et al., 2006; Mekki et al., 2009).

تأثير مخلفات صناعة زيت الزيتون على الخواص الفيزيائية للتربة:

إن أثر رش مخلفات صناعة زيت الزيتون على الخواص الفيزيائية للتربة يعتمد على نوع التربة، والمناخ السائد في المنطقة، وكمية إضافة المخلفات إلى التربة وطريقة إضافتها. وتؤثر مخلفات صناعة زيت الزيتون على بناء التربة وذلك لمحتواها العالي من المادة العضوية. التي تعمل على تحسين بناء التربة؛ وذلك لأنها تعمل كمادة لاحمة لحبيبات التربة وبذلك تعمل على تكوين تجمعات لها وتحسين مساميتها الكبيرة والدقيقة (Kreba, Wendroth, Coyne & Walton, 2017). وهناك عدة خواص فيزيائية تمثل وتدلل على بناء التربة مثل: المسامية، وحجم تكتلات التربة وصلابتها، بالإضافة إلى الخواص المتعلقة بحركة الماء والهواء في التربة مثل التوصيلية المائية (soil hydraulic connectivity) وانتشار الغازات (soil gas diffusivity) وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء (soil water retention) وتعمل إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى التربة على زيادة المسامية الدقيقة (micro porosity) وانخفاض المسامية الكبيرة (macro porosity) للتربة (Pagliai et al., 2001). وهذا الارتفاع في مسامية التربة يظهر بوضوح بعد مدة من إضافة المخلفات؛ ويرجع ذلك إلى تحلل المادة العضوية إلى دبال الذي يعمل على تجميع ولحم حبيبات التربة وتكوين تكتلاتها (soil aggregates) وبالتالي تحسين بنائها. وتزداد صلابة تكتلات التربة ومقاومتها للتفتت بإضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون، حيث تعمل المادة العضوية في المخلفات كمواد لاحمة لحبيبات وتكتلات التربة وبالتالي تعمل على تحسين بناء التربة وخواصها الفيزيائية. ومن المتوقع أن صلابة تكتلات التربة تنخفض مع استمرار إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون وخاصة في التربة الطينية؛ وذلك لتراكم الأملاح الموجودة في المخلفات والتي من ضمنها أملاح الصوديوم الذي يحل محل الكالسيوم والمغنسيوم ويعمل على تفريق وتكسير تكتلات التربة مما يؤدي إلى تردي بناء التربة (Mekki et al., 2006b). كذلك تعمل إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون على تحسين خواص التربة المتعلقة بحركة الماء مثل رشح الماء في التربة (water infiltration) والتوصيلية المائية للتربة (hydraulic conductivity). ولكن أوضحت بعض الدراسات أن رشح الماء والتوصيلية المائية للتربة تنخفضان بعد استمرار إضافة المخلفات لعدة سنوات (Mahmoud et al., 2010). والسبب هو تراكم الأملاح الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون وخاصةً أملاح الصوديوم التي تعمل على تردي هذه الخواص. لذلك من المهم إضافة كميات

محدودة من مخلفات صناعة زيت الزيتون وعلى فترات متباعدة حتى لا تؤثر على خواص التربة الفيزيائية وخاصة التربة الطينية.

وبصفة عامة، المركبات العضوية الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة إلى التربة تؤدي إلى ارتفاع قدرة التربة للاحتفاظ بالماء؛ وذلك لأن المادة العضوية لها قدرة عالية للاحتفاظ بالماء، ولتحسين المسامية الدقيقة للتربة نتيجة إضافة المادة العضوية (Barbera et al., 2013). لكن خاصية عدم القدرة على التبلل (hydrophobic) التي تمتاز بها بعض مركبات المادة العضوية الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون قبل أو بعد التحلل تعمل على خفض قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء. وبذلك فإن الماء الميسر للنبات يكون محدوداً في هذه التربة (Bisdorn, Dekker & Schoute, 1993; Tarchitzky et al., 2007; Mahmoud, Janssen, Peth, Horn & Lennartz, 2012). كذلك تؤثر مخلفات صناعة زيت الزيتون على الخواص الحرارية للتربة، فإضافة هذه المخلفات يقلل من التوصيلية الحرارية للتربة (soil heat conductivity) (Khdair & Abu-Rumman, 2015). وانخفاضها راجع إلى زيادة المسامية الهوائية للتربة، وزيادة المقاومة الحرارية بين تكتلاتها. إن الخواص الحرارية للتربة تؤثر على نمو النبات حيث تؤثر على نمو البادرات بالإضافة على نشاط الجذور.

تأثير مخلفات صناعة زيت الزيتون على المحاصيل الزراعية:

إن أثر إضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى التربة على المحاصيل الزراعية غير واضح ومتفاوت بين الدراسات العلمية، حيث أن بعضها أوضح الأثر السلبي بينما البعض الآخر أوضح عدم وجود تأثير على المحصول. ولكن من الواضح أن استعمال هذه المخلفات يؤثر على العلاقة بين التربة والنبات بصفة عامة، وأن هذه العلاقة تعتمد على نوع المحصول وكمية المخلفات المضافة إلى التربة (El Hassani et al., 2010). فقد وجدت خليل وآخرون (Khalil, Habib, Alabboud & Mohammed (2021) تأثيراً إيجابياً معنوياً لمخلفات استخلاص زيت الزيتون على مراحل إنبات وإنتاجية محصول القمح. وأوضح الحدرامي وآخرون (El Hadrami et al. (2004) التأثير السلبي لإضافة مخلفات صناعة زيت الزيتون على إنتاجية محاصيل الحمص والشعير والطماطم والذرة. وهذا التأثير السلبي لمخلفات صناعة زيت الزيتون على المحاصيل يكون واضحاً عند إضافة المخلفات قريباً من مرحلة البذر. ومعظم الأبحاث أوضحت أن الأثر السلبي لمخلفات صناعة زيت الزيتون يكون بتثبيط إنبات بذور المحاصيل، وأن سمية مركبات الفينول الموجودة في المخلفات هي المسؤولة على عملية التثبيط (Quarantino et al., 2007). وأوضحت بعض الأبحاث العملية الأثر السلبي لمخلفات صناعة زيت الزيتون فكان بتثبيط المراحل الأولى لعملية إنبات الجذور وليس بتثبيط إنبات البذور (Barbera et al., 2013). وتوصل إسدوري وآخرون (Isidori, Lavorgna, Nardelli & Parrella (2005) إلى أن هناك مركبات فينول معينة تكون هي المسؤولة على تثبيط البادرات، حيث أنهم اختبروا 15 مركباً من مركبات الفينول الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون ووجدوا أن مركبين من هذه المركبات (catechol and hydroxytyrosol) هما المسؤولان على عملية تثبيط البادرات لمحصولي الذرة الرفيعة والبطيخ. والجدير بالذكر أن التأثير السمي لمركبات الفينول يعتمد على نوع المحصول، أي أن بعض مركبات الفينول تكون سامة ومثبطة لمحاصيل معينة ولا تؤثر على محاصيل أخرى (Capasso, Cristinzio, Evidente & Scognamiglio, 1992). وقد وجد بن ساسي وآخرون (Ben Sassi, 2006) أن عملية تثبيط البادرات تعتمد على تركيز مخلفات صناعة زيت الزيتون المضافة إلى التربة، حيث أنهم لم يجدوا أثراً للتثبيط على البادرات عندما استعملوا مخلفات مخففة بالماء إلى نسبة 16:1 بينما وجدوا أثر التثبيط على البادرات عندما استعملوا مخلفات بدون تخفيف.

معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون:

تواجه عمليات معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون عدة صعوبات، أهمها: قصر مدة موسم جني الزيتون وعصره مما ينتج عنه تراكم مخلفات عمليات الاستخلاص في وقت قصير، بالإضافة إلى التركيز العضوي العالي لمخلفات صناعة زيت الزيتون، ووجود مركبات عضوية صعبة التحلل. نتيجة لكمية المياه الكبيرة المستعملة والنااتجة عن عمليات صناعة واستخلاص زيت الزيتون، ونتيجة لكمية الملوثات المصاحبة والنااتجة عن هذه العمليات، فإن عدة عمليات معالجة لهذه الملوثات استحدثت وطورت من أجل إعادة الاستفادة من هذه المياه بعد فصل الملوثات. ويمكن تعريف عملية معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون على أنها عملية خفض مستوى الملوثات الموجودة في هذه المخلفات إلى مستوى مقبول يكون غير ضار لجميع الأحياء في الطبيعة والبيئة التي تعيش فيها. إن معظم مصانع زيت الزيتون لا تعمل على معالجة المخلفات الناتجة عن عملية العصر، ويرجع ذلك إلى عدم الإلمام بالتأثير السلبي لهذه المخلفات على البيئة، أو للتكلفة العالية لعملية المعالجة، أو لتجنب التعقيدات والوقت اللازم لعملية المعالجة. وكما أشرت سابقا في هذه المقالة، فإن التأثير السبي العالي لمخلفات صناعة زيت الزيتون سببه الرئيسي وجود تركيزات عالية من مركبات الفينول والمواد الدهنية المتبقية، وبذلك تتركز عمليات معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون على فصل هذه المواد السامة من الماء الناتج من عملية عصر ثمار الزيتون قبل إعادة استعمالها، أو التخلص منها في الطبيعة، أو تحليل هذه المركبات السامة عن طريق ميكروبات معينة وتحويلها إلى مركبات أو عناصر صديقة للبيئة يمكن الإستفادة منها في تغذية النبات والأحياء الدقيقة الأخرى. فمثلا، أوضح بورجا وآخرون (Borja, Martin, Gomez, 1995; Ramos-Cormenzana, 1993; Borja et al. 1995) أن أنواعا من الأحياء الدقيقة مثل فطر *Aspergillus terreus* وبكتيريا *Azotobacter chroococcum* يمكنهما تحليل وخفض تركيز مركبات الفينول السامة الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون. كذلك وجد راموس كورمينزانا وآخرون (Ramos-Cormenzana, Juirez-Jimenez & Garcia, 1996) قدرة لبكتيريا *Bacillus pumilus* على تحليل مركبات الفينول السامة الموجودة في مخلفات صناعة زيت الزيتون وأوضح أن عملية التحلل تعتمد بالدرجة الأولى على نسبة تخفيف المخلفات. كذلك صنف مكنامارا وآخرون (McNamara, Anastasiou, O'Flaherty & Mitchell, 2008) الكائنات الحية الدقيقة المحللة لمخلفات صناعة زيت الزيتون إلى كائنات حية دقيقة هوائية ولا هوائية، وكلا النوعين يشمل على بكتيريا وفطريات. وأوضحوا أن الهدف الرئيسي لعملية معالجة المخلفات هو التخلص من مركبات الفينول السامة وتقليل الاحتياج الكيميائي للأكسجين في هذه المخلفات.

يمكن تصنيف عمليات معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون إلى عمليات إزالة السموم، وعمليات تهدف إلى إنتاج مختلف المنتجات، وعمليات متكاملة تهدف إلى استعادة الطاقة، وعمليات مدمجة (Tsagaraki et al., 2007). وتعتمد عمليات إزالة السموم بالدرجة الأولى على العمليات البيولوجية التي تعتمد على دور الأحياء الدقيقة في تحليل المواد العضوية والمعدنية الموجودة في المخلفات. وتنقسم العمليات البيولوجية إلى عمليات هوائية ولاهوائية طبقا إلى نوع الأحياء الدقيقة المستعملة في عملية التحلل. فالعمليات الهوائية يمكن أن تعطي نتائج جيدة إذا كانت كمية المخلفات وتركيزها صغيرين. ولذلك تعتبر العمليات الهوائية غير كُفأة في معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون ولكن يمكن استعمالها كعمليات معالجة مكاملة. أما العمليات اللاهوائية فهي تعتمد على سلسلة من العمليات البيولوجية التي تعتمد بالدرجة الأولى على البكتيريا والتي تعمل على تحلل المخلفات لينتج عن هذا التحلل غازا الميثان وثاني أكسيد الكربون. وتعتبر العمليات اللاهوائية من أكفأ عمليات معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون وذلك راجع إلى إمكانية معالجة كميات كبيرة من المخلفات وبتراكيزات عالية، ولا تستهلك طاقة كثيرة، ويمكن الإستفادة من غاز الميثان الناتج عن عمليات المعالجة، وكذلك صغر حجم المخلفات الصلبة الناتجة من المعالجة مقارنة بالعمليات

الهوائية، وسهولة إعادة استعمال هذه العمليات اللاهوائية (Niaounakis & Halvadakis, 2004). ويؤثر في العمليات اللاهوائية عدة عوامل هي: درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، والوقت المستهلك في عملية المعالجة (يتراوح من 10 إلى 35 يوم)، والتركيب الكيميائي للمخلفات، وكمية المواد السامة في المخلفات (Tsagaraki et al., 2007). إن لعمليات المعالجة اللاهوائية صعوبات عدة منها: ضرورة معادلة الرقم الهيدروجيني بإضافة المواد القلوية، ويجب إضافة مركبات النيتروجين مثل اليوريا والأمونيا لتحفيز الكائنات الحية الدقيقة المحللة، ومعدل التكاثر البطيء للكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية مقارنة بالهوائية (Mechichi & Sayadi, 2004).

إن اختيار الطريقة المثلى لعملية معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون تعتمد على الهدف من عملية المعالجة والنتائج المرجوة. ويجب أن يحسب للتكاليف والجدوى الاقتصادية لعملية المعالجة. فجميع عمليات المعالجة تعتمد على إحدى ثلاثة أسس علمية هي الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية، وبعضها يعتمد على خليط من هذه الأسس. فالطرق الفيزيائية مثلا تشمل: فصل السائل والترشيح والتعويم والإمتزاز والتلبد والتخثر، أما الطرق الكيميائية فتشمل: التحليل الكهربائي والتخثير الكهربائي واستخدام مفاعل الغشاء التحفيزي الضوئي والكرينة الحرارية المائية، أما الطرق البيولوجية فتشمل: الحمأة الهوائية المنشطة والهضم اللاهوائي. لا يتسع المجال إلى ذكر جميع الطرق المتبعة في معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون، وقد لخصت الحمود وآخرون (Al-Hmoud, Al-Saida (2020) & Sandouqa ثلاث وعشرين طريقة فيزيائية وست عشرة طريقة كيميائية وست طرق مدمجة (فيزيائية وكيميائية وبيولوجية) تستعمل في معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون. إن من أهم المشاكل التي تواجه الدارسين والمهتمين بمعالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون أن هذه الطرق لا تعمل بنفس الكفاءة لمعالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون من مناطق مختلفة. حيث أن تركيبة وخواص مخلفات صناعة زيت الزيتون الكيميائية والفيزيائية تختلف باختلاف المنطقة (Al-Hmoud et al., 2020). كخلاصة، لا يوجد طريقة مثالية تمكننا من معالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون بنسبة 100% ولأجلنا بحاجة إلى العديد من البحوث لتطوير طرق معالجة هذه المخلفات قبل إعادة استعمالها أو التخلص منها في الطبيعة.

التوصيات

مخلفات صناعة زيت الزيتون هي مركبات معقدة التركيب لها أثرها السلبي على البيئة ولكن يمكن استعمالها بعد معالجتها. يجب دراسة العلاقة بين مخلفات صناعة زيت الزيتون والكائنات الحية في التربة لأن هذه العلاقة لا زالت غير واضحة وتباينت نتائج الدراسات العلمية في تحديد طبيعة هذه العلاقة. لقد أختبرت جميع الطرق المستعملة في معالجة الملوثات لمعالجة مخلفات صناعة زيت الزيتون ولكن معظم هذه الطرق لم تجدي نفعاً. عليه يجب تشجيع الباحثين والمهتمين بالبيئة والزراعة على تطوير طرق معالجة أكثر فعالية وإقتصادية تمكننا من تحويل مشكلة التلوث إلى مصدر مهم لمحسنتات التربة. كذلك يجب التركيز على اكتشاف طرق فعالة لاستخلاص مركبات الفينول من مخلفات صناعة زيت الزيتون لأن هذه المركبات هي المسبب الرئيسي للسمية ولصعوبة معالجة هذه المخلفات. ويمكن التغلب على مشكلة وجود مركبات الفينول والسمية المصاحبة لها في مخلفات صناعة زيت الزيتون بإنتاج سلالات نباتية مقاومة لهذه السمية ويمكنها الإنبات والإنتاج تحت ظروف تربة مشبعة بالمادة العضوية المضافة مع مخلفات صناعة زيت الزيتون. كما أوضحت بعض الأبحاث أن تخفيف مخلفات صناعة زيت الزيتون يساعد على تحللها والاستفادة منها. هذه الأبحاث تحتاج إلى تطوير لتشمل تحديد مقدار التخفيف حسب نوع التربة والظروف المناخية والبيئية المحيطة. كذلك يمكن التوصية باستعمال مخلفات صناعة زيت الزيتون في إنتاج

مواد أو مركبات صديقة للبيئة مثل الفحم النباتي (biochar) الذي يستعمل في تحسين خواص التربة الزراعية وزيادة إنتاجها.

قائمة المراجع

- كربية، س. (2019). ملوحة التربة: أسبابها وآثارها على الزراعة والبيئة. *مجلة العلوم الزراعية والبيئة والبيطرة*، 3(4)، 18-32. doi:10.26389/AJSRP.S070419
- Achak, M., Hafidi, A., Ouazzani, N., Sayadi, S., & Mandi, L. (2009). Low cost biosorbent banana peel for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 117–125. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.11.036
- Albuquerque, J.A., González, J., García, D., & Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 91, 195-200. doi:10.1016/s0960-8524(03)00177-9
- Al-Hmoud, L., Al-Saida, B., & Sandouqa, A. (2020). Olive mill wastewater treatment: A recent review. *Jordanian Journal of Engineering and Chemical Industries*, 3(3), 91-106.
- Angelakis, A.N., Marecos Do Monte, M.H., Bontoux, L., & Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Research*, 33, 2201–2217.
- Aviani, I., Raviv, M., Hadar, Y., Saadi, I., Dag, A., Ben-Gal, ... Laor, Y. (2012). Effects of harvest date, irrigation level, cultivar type and fruit water content on olive mill wastewater generated by a laboratory scale 'Abencor' milling system. *Bioresource Technology*, 107, 87–96. doi:10.1016/j.biortech.2011.12.041
- Ayed, L., Assas, N., Sayadi, S., & Hamdi, M. (2005). Involvement of lignin peroxidase in the decolourization of black olive mill wastewaters by *Geotrichum candidum*. *Letters in Applied Microbiology*, 40, 7–11. doi:10.1111/j.1472-765x.2004.01626.x
- Azbar, N., Bayram, A., Filibeli, A., Muezzinoglu, A., Sengul, F., & Ozer, A. (2004). A review of waste management options in olive oil production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34, 209–247. doi:10.1080/10643380490279932
- Balice, V., & Cera, O. (1984). Acidic phenolic fraction of the juice of olives determined by gas chromatographic method. *Grasasy Aceites*, 25, 178-180.
- Barbera, A.C., Maucieri, C., Cavallaro, V., Ioppolo, A., & Spagna, G. (2013). Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops, a review. *Agricultural Water Management*, 119, 43–53.
- Ben Sassi, A., Boularbah, A., Jaouad, A., Walker, G., & Boussaid, A. (2006). A comparison of Olive oil Mill Wastewaters (OMW) from three different processes in Morocco. *Process Biochemistry*, 41, 74-78 doi:10.1016/j.procbio.2005.03.074

- Bisdorn, E.B., Dekker, L.W., & Schoute, J.F. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56, 105–118. doi:10.1016/0016-7061(93)90103-r
- Borja, R., Martin, A., Gomez, L. & Ramos-Cormenzana, A. (1993). Anaerobic digestion of olive mill wastewater pretreated with *Azotobacter chroococcum*. *Resources, Conservation & Recycling*, 9, 201-211. doi:10.1016/0921-3449(93)90004-y
- Borja, R., Alba, J., Garrido, S., Martinez, L., Garcia, M. P., Monteoliva, M. & Ramos-Cormenzana, A. (1995). Effect of aerobic pretreatment with *Aspergillus terreus* on the anaerobic digestion of olive-mill wastewater. *Biotechnology & Applied Biochemistry*, 22, 233-246.
- Cabrera, F., López, R., Martínez-Bordiú, A., Dupuy de Lome, E., & Murillo, J.M. (1996). Land treatment of olive oil mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 38(3-4), 215-225. doi:10.1016/s0964-8305(96)00054-6
- Capasso, R., Cristinzio, G., Evidente, A., & Scognamiglio, F. (1992). Isolation, spectroscopy and selective phytotoxic effects of polyphenols from vegetable waste waters. *Phytochemistry*, 31(12), 4125–4128. doi:10.1016/0031-9422(92)80426-f
- Cardinali, A., Cicco, N., Linsalata, V., Minervini, F., Pati, S., Pieralice, M., ... Lattanzio, V. (2010). Biological activity of high molecular weight phenolics from olive mill wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 8585–8590. doi:10.1021/jf101437c
- Chartzoulakis, K., Psarras, G., Moutsopoulou, M., & Stefanoudaki, E. (2010). Application of olive mill wastewater to a Cretan olive orchard: effects on soil properties, plant performance and the environment. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 138, 293-298. doi:10.1016/j.agee.2010.05.014
- Cichelli, A., & Solinas, M. (1984). I composti fenolici delle olive e dell'olivo di olive. *Riv. Merceol*, 22, 55-69.
- Di Bene, C., Pellegrino, E., Debolini, M., Silvestri, N., & Bonari, E. (2012). Short-and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties. *Soil Biology & Biochemistry*, 56, 21-30. doi:10.1016/j.soilbio.2012.02.019
- Di Serio, M.G., Lanza, B., Mucciarella, M.R., Russi, F., Iannucci, E., Marfisi, P., & Madeo, A. (2008). Effects of olive mill wastewater spreading on the physico-chemical and microbiological characteristics of soil. *International, Biodeterioration and Biodegradation*, 62, 403-407. doi:10.1016/j.ibiod.2008.03.006
- El-Bassi, L., Azzaz, A., Jellali, S., Akrouf, H., Marks, E., Ghimbeu, C., & Jeguirim, M. (2020). Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. *Science of the Total Environment*, 755, 142531. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142531

- El Hadrami, A., Belaqziz, M., El Hassni, M., Hanifi, S., Abbad, A., Capasso, R., ... El Hadrami, I. (2004). Physico-chemical characterization and effects of olive oil mill wastewater fertirrigation on the growth of some mediterranean crops. *Journal of Agronomy*, 3(4), 247–254.
- El Hajjouji, H., Merlina, G., Pinelli, E., Winterton, P., Revel, J., & Hafidi, M. (2008). ¹³C NMR study of the effect of aerobic treatment of olive mill wastewater (OMW) on its lipid-free content. *Journal of Hazardous Materials*, 154, 927–932. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.10.105
- El Hassani, F.Z., Zinedine, A., Mdaghri Alaoui, S., Merzouki, M., & Benlemlih, M. (2010). Use of olive mill wastewater as an organic amendment for *Mentha spicata* L. *Industrial Crop and Products*, 32, 343–348. doi:10.1016/j.indcrop.2010.05.010
- Fernandez Diaz, M. (1983). Olives. In: Rehm, H. J.; Reed, G. (Eds.) *Biotechnology*, vol. 5. Verlag Chemic, Weinheim, pp. 379-397.
- Fiestas Ros de Ursinos, J. (1981). Diffrentes utilisations des margines. In: Prec. of Srminaire international sur la valorisation dessous produits de l'olivier. FAO-PNUD. Tunisie, pp. 93-110.
- Gamba, C., Piovanelli, C., Papini, R., Pezzarossa, B., Ceccarini, L., & Bonari, E. (2005). Soil microbial characteristics and mineral nitrous availability as affected by Olive waste water applied to cultivated soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 937-950.
- Gonzalez, M.D., Moreno, E., Quevedo, J., & Ramos, A. (1990). Studies on antibacterial activity of waste waters from olive oil mills (alpechin): Inhibitory activity of phenolic and fatty acids. *Chemosphere*, 20, 423-432. , doi:10.1016/0045-6535(90)90073-3
- Hamdi, M. (1993). Future prospects and constraints of olive mill wastewaters use and treatment: A review. *Bioprocess Engineering*, 8, 209-214. DOI: 10.1007/bf00369831
- Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A., & Parrella, A. (2005). Model study on the effect of 15 phenolic olive mill wastewater constituents on seed germination and *Vibrio fischeri* metabolism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8414–8417. doi:10.1021/jf0511695
- Karpouzas, D.G., Ntougias, S., Iskidou, E., Rousidou, C., Papadopoulou, K.K., Zervakis, G.I., & Ehaliotis, C. (2010). Olive mill wastewater affects the structure of soil bacterial communities. *Applied Soil Ecology*, 45, 101–111.
- Kavvadias, V., Doula, M.K., Komnitsas, K., & Liakopoulou, N. (2010). Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: effects on soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 144-155. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.06.007
- Khalil, J., Habib, H., Alabboud, M., & Mohammed, S. (2021). Olive mill wastewater effects on durum wheat crop attributes and soil microbial activities: A pilot study in Syria. *Energy, Ecology and Environment*, 6(5), 469–477. doi.10.1007/s40974-021-00209-2
- Khdaif, A., & Abu-Rumman, G. (2015). Effect of Olive Mills Wastewater (OMWW) on Soil Thermal Conductivity. *International Journal of Soil Science*, 10(2), 84-92.

- Khdair, A., & Abu-Rumman, G. (2020). Sustainable Environmental Management and Valorization Options for Olive Mill Byproducts in the Middle East and North Africa (MENA) Region. *Processes*, 8, 671-693. doi:10.3390/pr8060671
- Komilis, D.P., Karatzas, E., & Halvadakis, C.P. (2005). The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pretreatment techniques. *Journal of Environmental Management*, 74, 339–348. doi:10.1016/j.jenvman.2004.09.009
- Kreba, S.A. (2013). *Land-use impact on soil gas and soil water transport properties* (Doctoral Dissertation, University of Kentucky, USA). Retrieved from https://uknowledge.uky.edu/pss_etds/31/
- Kreba, S.A., Wendroth, O., Coyne, M., & Walton, R. (2017). Soil gas diffusivity, air-filled porosity, and pore continuity: Land use and spatial patterns. *Soil Science Society of America Journal*, 81, 477–489. DOI:10.2136/sssaj2016.10.0344
- López-Piñeiro, A., Fernández, J., Rato Nunes, J.M., & García, A. (2006). Response of soil and wheat crop to the application of two-phase olive mill waste to Mediterranean agricultural soils. *Soil Science*, 171, 728-736. doi:10.1097/01.ss.0000228047.77592.ec
- Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., & del Toro Carrillo de Albornoz, M. (2011). Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *Catena*, 85, 187-193. doi:10.1016/j.catena.2011.01.017
- Mahmoud, M., Janssen, M., Haboub, N., Nassour, A., & Lennartz, B. (2010). The impact of olive mill wastewater application on flow and transport properties in soils. *Soil and Tillage Research*, 107, 36–41. doi:10.1016/j.still.2010.01.002
- Mahmoud, M., Janssen, M., Peth, S., Horn, R., & Lennartz, B. (2012). Longterm impact of irrigation with olive mill wastewater on aggregate properties in the top soil. *Soil and Tillage Research*, 124, 24–31.
- Martin, J., & Moreno, M. (2000). The role of olive oil in lowering cancer risk: Is this real gold or simply pinchbeck. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 54(10), 726-727. doi:10.2307/25569284
- McNamara, C., Anastasiou, C., O'Flaherty, V., & Mitchell, R. (2008). Bioremediation of olive mill wastewater. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 61, 127–134. doi:10.1016/j.ibiod.2007.11.003
- Mechichi, T., & Sayadi, S. (2004). Evaluating process imbalance of anaerobic digestion of olive mill wastewaters. *Process Biochemistry*, 40(1), 139-145. doi:10.1016/j.procbio.2003.11.050
- Mechri, B., Attia, F., Braham, M., Ben Elhadj, S., & Hammami, M. (2007). Agronomic application of olive mill wastewaters with phosphate rock in a semi-arid Mediterranean soil modifies the soil properties and decreases the extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Management*, 85, 1088-1093. doi:10.1016/j.jenvman.2006.11.010

- Mechri, B., Ben Mariem, F., Baham, M., Ben Elhadj, S., & Hammami, M. (2008). Change in soil properties and the soil microbiological community following land spreading of olive mill wastewater affects olive trees key physiological parameters and the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 152–161.
- Mekki, A., Dhouib, A., Aloui, F., & Sayadi, S. (2006a). Olive wastewater as an ecological fertiliser. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 61-67.
- Mekki, A., Dhouib, A., & Sayadi, S. (2006b). Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. *Microbiological Research*, 161, 93-101. doi:10.1016/j.micres.2005.06.001
- Mekki, A., Dhouib, A., & Sayadi, S. (2009). Evolution of several soil properties following amendment with olive mill wastewater. *Progress in Natural Science*, 19, 1515–1521. doi:10.1080/19443994.2013.821030
- Mekki, A., Dhouib, A., & Sayadi, S. (2013). Review: Effects of olive mill wastewater application on soil properties and plants growth. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2, 1-7.
- Moraetis, D., Stamati, F.E., Nikolaidis, N.P., & Kalogerakis, N. (2011). Olive mill wastewater irrigation of maize: impacts on soil and groundwater. *Agricultural Water Management*, 98, 1125-1132. doi:10.1016/j.agwat.2011.02.006
- Niaounakis, M., & Halvadakis, C.P. (2004). *Olive-mill waste management- literature review and patent survey*. Typothito-George Dardanos, Athens, Greece.
- Ouazzane, H, Laajine, F., El Yamani, M., El Hilaly, J., Rharrabti, Y., Amarouch, M., & Mazouzi, D. (2017). Olive Mill Solid Waste Characterization and Recycling opportunities: A review. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(8), 2632-2650.
- Pagliai, M., Pellegrini, S., Vignozzi, N., Papini, R., Mirabella, A., Piovaneli, C., ... Sparvoli, E. (2001). Influenza dei reflui oleari sulla qualità del suolo. *L'informatore Agrario*, 50(1), 13–18.
- Paredes, C., Ceggara, J., Roing, A., Sanchez-Monedero, M.A., & Bernal, M.P. (1999). Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes. *Bioresource Technology*, 67, 111–115. doi:10.1016/s0960-8524(98)00106-0
- Piotrowska, A., Iamarino, G., Rao, M.A., & Gianfreda, L. (2006). Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of a semiarid Mediterranean soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 600–610. doi:10.1016/j.soilbio.2005.06.012
- Piotrowska, A., Rao, M.A., Scotti, R., & Gianfreda, L. (2011). Changes in soil chemical and biochemical properties following amendment with crude and dephenolized olive mill waste water (OMW). *Geoderma*, 161, 8-17. doi:10.1016/j.geoderma.2010.11.011

- Quarantino, D., D'Annibale, A., Federici, F., Cereti, C.F., Rossini, F., & Fenice, M. (2007). Enzyme and fungal treatments and a combination thereof reduce olive mill wastewater phytotoxicity on *Zea mays* L. seeds. *Chemosphere*, 66, 1627–1633. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.07.092
- Ramos-Cormenzana, A., Juirez-Jimenez, B., & Garcia-Pareja, M. (1996). Antimicrobial activity of olive mill waters (alpechin) and biotransformed mill wastewater. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 38, 283-290.
- Rodis, P.S., Karathanos, V.T., & Mantzavinou, A. (2002). Partitioning of olive oil antioxidants between oil and water phases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 596–601. doi:10.1021/jf010864j
- Roig, A., Cayuela, M.L., & Sánchez-Monedero, M.A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorization methods. *Waste Management*, 26, 960–969.
- Rozzi, A., & Malpei, F. (1996). Treatment and disposal of olive mill effluents. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 38, 135–144. doi:10.1016/s0964-8305(96)00042-x
- Saadi, I., Laor, Y., Raviv, M., & Medina, S. (2007). Land spreading of olive mill wastewater: effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity. *Chemosphere*, 66, 75-83. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.05.019
- Sciubba, F., Chronopoulou, L., Pizzichini, D., Lionetti, V., Fontana, C., Aromolo, R., Socciarelli, S., Gambelli, L., Bartolacci, B., Finotti, E., Benedetti, A., Micheli, A., Neri, U., Palocci, C., & Bellincampi, D. (2020). Olive mill wastes: A source of bioactive molecules for plant growth and protection against pathogens. *Biology*, 9, 450-470. doi:10.3390/biology9120450
- Sierra, J., Martí, E., Garau, M.A., & Cruañas, R. (2007). Effects of the agronomic use of olive oil mill wastewater field experiment. *Science of the Total Environment*, 378, 90–94. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.009
- Sierra, J., Martí, E., Montserrat, G., Cruañas, R., & Garau, M.A. (2001). Characterisation and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal. *Science of the Total Environment*, 279, 207–214. doi:10.1016/s0048-9697(01)00783-5
- Spandre, R., & Dellomonaco, G. (1996). Polyphenols pollution by olive oil waste water, Tuscany, Italy. *Journal of environmental Hydrology*, 4, 1–13.
- Tarchitzky, J., Lerner, O., Shani, U., Arye, G., Lowengart-Aycicegi, A., Brener, A., & Chen, Y. (2007). Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: hydrophobicity effect. *European Journal of Soil Biology*, 58, 573–588. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00845.x
- Torres, M.M., & Maestri, D.M. (2006). The effects of genotype and extraction methods on chemical composition of virgin olive oils from Traslasierra Valley (Cordoba, Argentina). *Food Chemistry*, 96, 507–511.

- Tsagaraki, E., Lazarides, H.N., & Petrotos, K.B. (2007). Olive mill wastewater treatment. In *Utilization of By-products and Treatment of Waste in the Food Industry*. Springer, Boston, MA. pp. 133-157. doi:10.1007/978-0-387-35766-9_8
- Zenjari, A., & Nejmeddine, A. (2001). Impact of spreading olive mill wastewater on soil characteristics: laboratory experiments. *Agronomy*, 21, 749–755.