تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في بعض مؤشرات الإنبات البذري لنبات البندورة (*Lycopersicon esculentum Mill.*)

فاطمة الزهراء عنجريني1* وعماد الدين الخلف[1] ونجوى مسلماني[1]

[1] قسم علم الحياة النباتية، كلية العلوم، جامعة حلب، حلب، سورية.

(*للمراسلة: فاطمة الزهراء عنجريني، البريد الإلكتروني: fatimaenj92@gmail.com ، هاتف: 0966304282)

تاريخ الاستلام: 24/ 12/ 2025 **تاريخ القبول:** 4/ 03/ 2026

الملخّص

أُجري هذا البحث في مختبر أبحاث البيئة النباتية والتلوث، قسم علم الحياة النباتية، كلية العلوم، جامعة حلب/سورية، لدراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية ((UV-C، 254 نانومتر والأشعة الميكروية (2450 ميغاهرتز) في مؤشرات الإنبات البذري لنبات البندورة (Lycopersicon esculentum Mill.)، عولجت البذور وفق 3 معاملات هي التعرض المباشر للإشعاع، الري بالماء المعالج بالأشعة ونقع بالماء المعالج بالأشعة، ثم قيّمت نسبة ومعدل الإنبات، زمن الإنبات الوسطي، وطول المجموعين الجذري والخضري بعد 7 أيام. أظهرت المعاملات بالأشعة فوق البنفسجية تحسنًا معنويًا في نسبة الإنبات التي بلغت 98.8% عند الري بماء معالج لمدة 120 دقيقة مقارنة بـ 93.4% للشاهد، وارتفع معدل الإنبات إلى 11.9 بذرة/يوم مع انخفاض زمن الإنبات الوسطي إلى 1.5 يوم. كما زاد طول الجذر إلى 10.1 سم وطول المجموع الخضري إلى 6.5 سم. في المقابل، أظهرت الأشعة الميكروية تأثيرًا مزدوجًا؛ إذ حسّنت الفترات القصيرة (5 – 10 ثوانٍ) بعض مؤشرات الإنبات، بينما أدت الفترات الطويلة إلى انخفاض حاد في نسبة الإنبات وصلت إلى 1.2% عند 60 ثانية نتيجة الإجهاد الحراري. أظهرت النتائج أن معاملة نقع البذور بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية أو البنفسجية لمدة 120 دقيقة، قد حققت أفضل النتائج من حيث كافة المؤشرات المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة الميكروية، نسبة الانبات، معدل الإنبات، نبات البندورة Lycopersicon esculentum Mill.

المقدمة:

تُعد تقنيات المعالجة الفيزيائية لتحفيز إنبات البذور وتحسين نمو النباتات من أكثر الوسائل شيوعًا وأمانًا، لما لها من تأثيرات بيئية سلبية منخفضة مقارنة بالطرق الكيميائية. وتُستخدم العناصر الفيزيائية لتوليد تغييرات حيوية إيجابية في النباتات دون الإضرار بالنظام البيئي (Govindaraj *et al.*, 2017)، ويبرز المجال الكهرومغناطيسي(Electromagnetic Field - EMF) كعنصر مؤثر في الوظائف الفيزيولوجية للنبات حيث يغطي نطاقًا واسعًا من الترددات، بدءًا من الأمواج الراديوية طويلة الموجة وحتى الأشعة الكونية عالية الطاقة، ويشمل في طيفه الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء، والموجات الدقيقة (Microwaves). وقد أشارت دراسات سابقة إلى أن الأشعة فوق البنفسجية والموجات الدقيقة تمثلان أهم التقنيات

الفيزيائية المستخدمة في هذا المجال (Araujo *et al*., 2016). تُعد الموجات الدقيقة إشعاعًا كهرومغناطيسيًا غير مؤيّن، تقع ترددات بين 300 و300 جيجاهرتز، وتعمل على إثارة الجزيئات وإنتاج طاقة اهتزازية تؤثر على التركيب الخلوي والأنزيمي للبذور (Hassanpour *et al*., 2021; Pakhomov *et al*., 1998) . تُستخدم الأشعة الميكروية (Microwave Radiation) على نطاق واسع في التطبيقات الزراعية والبيئية، حيث تُمثل تقنية فعّالة وآمنة نسبيًا للتعامل مع المواد الحيوية. كما تُستخدم هذه الأشعة في تحسين إنبات البذور وتحفيز النمو النباتي عبر التأثير على النشاط الاستقلابي للخلايا، بالإضافة لدورها في تثبيط الكائنات الدقيقة الممرضة من دون التأثير السلبي الكبير على الأنسجة النباتية (Kapitaniak *et al*., 2020)، كما تُمكّن تقنيات الميكروويف من الاستخلاص السريع للمواد الفعالة من النباتات (مثل الزيوت العطرية أو مضادات الأكسدة)، بطريقة أكثر كفاءة وأقل استهلاكًا للطاقة مقارنةً بالطرق التقليدية (Lucchesi *et al*., 2004)، كما تُستخدم في معالجة النفايات الزراعية وتفكيك الملوثات العضوية في التربة والمياه، حيث تُحفز التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى تكسير المركبات السامة (Chen *et al*., 2017)، كما أن أنظمة الاستشعار بالأقمار الصناعية المعتمدة على الأشعة الميكروية تُستخدم في مراقبة الغطاء النباتي، ورطوبة التربة، والإجهاد البيئي، مما يساعد في دعم الزراعة الذكية والإدارة المستدامة للموارد (Piles *et al*., 2020)

تتكون الأشعة فوق البنفسجية من ثلاث فئات رئيسيةUVA :، UVB، وUVC، وتتوفر مصادرها بشكل طبيعي (أشعة الشمس) أو صناعي (مصابيح بخار الزئبق والفلورسنت). فقد استخدمت منذ منتصف القرن العشرين في مجالات التعقيم والتطهير ومكافحة مسببات الأمراض، كما تتفاوت استجابة البذور للإشعاعات الكهرومغناطيسية تبعًا لطول الموجة، وشدة الإشعاع، ومدة التعرض. حيث تُستخدم الأشعة فوق البنفسجية القصيرة (UV-C) 100 – 280 نانومتر كوسيلة فعالة بيئيًا لتعقيم الأسطح والبذور والنباتات في أنظمة الإنتاج الزراعي، وذلك بفضل قدرتها القوية على تعطيل الحمض النووي للميكروبات، مما يؤدي إلى تقليل الأعفان والجراثيم والفطريات الممرضة دون الحاجة إلى مبيدات كيميائية (Hahlbohm *et al*., 2025; Lakshmipathy *et al*., 2024) بالإضافة إلى ذلك، تحفز جرعات منخفضة من الأشعة UV-C تقوية الدفاع النباتي من خلال زيادة إنتاج مركبات مثل الفينولات والفلافونوئيدات، التي تحمي النباتات من الإجهاد الإشعاعي والميكروبي وكذلك تحسن من مقاومة الإجهاد البيئي (Felek *et al*., 2025: Robson *et al*., 2019). وأظهرت دراسة (Tian *et al*., 2024) أن تعريض براعم الحنطة السوداء للأشعة فوق البنفسجية UV-B أدى إلى زيادة كبيرة في محتوى الفلافونوئيدات ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل الكاتالاز والبيروكسيداز، مما يعزز قدرة النبات على مقاومة الإجهاد البيئي. كما وجدت (Dahab *et al*., 2024) أن تعريض البذور للميكروويف ساهم في تقليل الحمل الميكروبي وزيادة محتوى الأحماض الأمينية الحرة ومضادات الأكسدة، مما يحسن من خصائص الإنبات. وفي دراسة مشابهة، أظهرت (Jaffer *et al*., 2017) أن استخدام الماء المعالج بالأشعة الميكروويفية على بذور الحمص، أدى إلى تحسين معدل الإنبات ونمو المجموع الجذري والمجموع الخضري. كما وجد (Chen *et al*., 2019) أن هذا النوع من المعالجات يرفع من محتوى الفينولات وينشط الإنزيمات المشاركة في الدفاع النباتي، مما يحسن من مقاومة البذور للإجهادات المختلفة. تؤكد هذه الدراسات أهمية استخدام المعالجات الفيزيائية كطرق مستدامة وفعالة لتحسين جودة البذور، وزيادة قدرتها على تحمل الظروف البيئية الصعبة، مما يساهم في تعزيز الإنتاج الزراعي بطرق صديقة للبيئة.

وفي ظل التغيرات البيئية العالمية والبحث عن بدائل مستدامة للمدخلات الكيميائية في الزراعة، أصبح من الضروري فهم تأثير هذه العوامل الفيزيائية على إنبات المحاصيل الاقتصادية. وتُعد البندورة (*Lycopersicon esculentum* Mill) من أهم المحاصيل الزراعية على مستوى العالم، نظرًا لقيمتها الغذائية والاقتصادية. لذا هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية

والأشعة الميكروية في بعض مؤشرات الإنبات البذري لنبات البندورة حيث يعد إنبات البذور عملية حيوية معقدة تتأثر بالعديد من العوامل البيئية والفيزيائية.

مواد وطرائق البحث:

أُجري هذا البحث في مختبر أبحاث البيئة النباتية والتلوث، التابع لقسم علم الحياة النباتية – كلية العلوم – جامعة حلب.

المواد المستخدمة:

1. المادة النباتية: بذور بندورة من صنف "الواهي (*Lycopersicon esculentum* Mill.)" تم الحصول عليها من السوق المحلية في محافظة حلب.
2. مصدر الأشعة فوق البنفسجية: مصباح UV بطول موجي 254 نانومتر.
3. فرن الميكروويف DAEWOO-Model KOG-190A بتردد 2450 ميجاهرتز وطاقة مقدارها 1400 واط.

خطوات العمل:

1. تطهير البذور: تم تعقيم بذور البندورة سطحياً باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 5% لمدة 3 دقائق، ثم غُسلت جيداً بالماء الجاري لإزالة بقايا المحلول.
2. تحضير أطباق الزراعة :استخدمت أطباق بتري معقمة بقطر 9 سم تحتوي على ورق ترشيح Whatman No.1 ، وتم توزيع 16 بذرة في كل طبق، مع 5 مكررات لكل معاملة إضافة إلى معاملة الشاهد.
3. طرق المعالجة: قسمت التجربة إلى ثلاث مجموعات رئيسية

– التعرض المباشر للأشعة: بعد نقع البذور في ماء مقطر لمدة 24 ساعة، تم تعريضها للأشعة فوق البنفسجية والميكروويف بشكل منفصل ضمن الفترات التالية:

- الأشعة فوق البنفسجية: 15، 30، 60، 120 دقيقة (على بعد 1 متر من مصدر الضوء).
- الأشعة الميكروية: 5، 10، 20، 30، 60 ثانية.

– سقاية بالماء المعالج بالأشعة: تم تعريض ماء السقاية لنفس فترات الأشعة، ثم استخدامه لسقاية البذور وذلك حسب الحاجة

– نقع في ماء معالج بالأشعة: نُقعت البذور لمدة 24 ساعة في ماء سبق تعريضه للأشعة بنفس الفترات، ثم وُزعت في أطباق بتري وسُقيت بالماء المقطر حسب الحاجة.

ظروف الإنبات: وُضعت الأطباق في ظروف حرارة ثابتة (20 ± 2 °م).

معاملات التجربة:

1. معاملة الشاهد: بذور بدون تعريض لأي نوع من الأشعة ونقعها بالماء المقطر لمدة 24 ساعة
2. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 15 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
3. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 30 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
4. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 60 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
5. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 120 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
6. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 5 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.

7. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 10 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
8. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 20 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
9. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
10. بذور معرضة بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
11. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 15 دقيقة.
12. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 30 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
13. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 60 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
14. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 120 دقيقة بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
15. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 5 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
16. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 10 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
17. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 20 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
18. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
19. بذور مروية بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية بعد نقعها بماء مقطر لمدة 24 ساعة.
20. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 15 دقيقة ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
21. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 30 دقيقة ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
22. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 60 دقيقة ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
23. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية لمدة 120 دقيقة ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
24. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 5 ثانية ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
25. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 10 ثانية ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
26. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 20 ثانية ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
27. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.
28. بذور منقوعة بماء معرض بشكل مباشر للأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية ومن ثم سقايتها بالماء المقطر.

تصميم التجربة:

تم اتباع التصميم الكامل العشوائية، وشملت الدراسة 28 معاملة، كل معاملة تضم خمس مكررات، كل مكرر يضم 16 بذرة (28*5*16= 2240 بذرة). وتمت مراقبة الأطباق وتسجيل عدد البذور النابتة في كل طبق يومياً. كما تم تقييم النتائج بعد مرور 7 أيام، حيث اختيرت 15 بادرة عشوائية من كل معاملة. لمتابعتها وتم حساب مؤشرات الإنبات التالية (Adu-Oppong, 2025)

1. نسبة الإنبات Germination percentage %

$$(GP=\frac{n}{N}\times 100)$$

n: عدد البذور النابتة N: عدد البذور الكلي

2. معدل الإنبات Germination rate (بذرة/يوم)

$$(GS=\sum_{i}^{i}\frac{ni}{Di})$$

ni: عدد البذور النابتة في اليوم Di Di: رقم اليوم

3. زمن الإنبات الوسطي Mean germination time (MGT) (يوم)

$$MGT=\frac{\Sigma Dn}{\Sigma n}$$

n: عدد البذور النابتة في اليوم D D: رقم اليوم

4. طول المجموع الخضري والجذري (سم): تم أخذ طول المجموع الخضري والجذري باستخدام مسطرة مليمترية مدرجة

الدراسة الإحصائية:

تم تحليل النتائج وإجراء الدراسة الإحصائية لبيان الفروقات المعنوية بين المعاملات باستخدام برنامج SPSS الإحصائي النسخة 21 ومعامل اختبار التباين (ANOVA) واختبار دونكان Duncan.

النتائج:

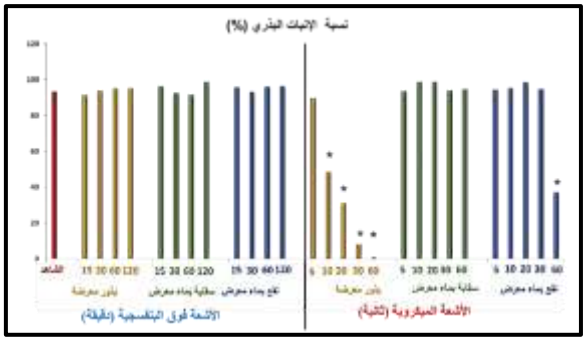
1. تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في نسبة الإنبات البذري (%) لنبات البندورة:

بمتابعة البيانات الواردة في الشكل (1)، يظهر تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية على نسبة إنبات بذور البندورة، حيث لم يكن هناك فرقاً معنوياً بنسبة إنبات البذور بكل طرق معالجة البذور بالأشعة فوق البنفسجية المستخدمة وتراوحت القيم بين 98.8 و91.4% كما لم يكن هناك فرقاً معنوياً بينها وبين الشاهد الذي سجل 93.4%. فقد تراوحت قيم نسبة الإنبات البذري للبذور المعرضة للأشعة فوق البنفسجية (95.2%،91.4%)، بينما سجلت أعلى قيمة 98.8% عند ري البذور بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية (120دقيقة). أما عند نقع البذور بماء معا لج فقد وصلت نسبة الإنبات البذري إلى 96.4% عند (120دقيقة)

أما بالنسبة لتأثير الأشعة الميكروية (تعريض مباشر للبذور)، فقد شهدت نسبة الإنبات انخفاضًا معنوياً مع زيادة مدة التعرض، حيث انخفضت نسبة الإنبات من 89.8% عند 5 ثواني إلى 1.2% عند 60 ثانية

أما عند استخدام الماء المعالج بالأشعة الميكروية للري فقد بقيت نسب الإنبات مرتفعة (أكثر من 93%) في معظم الفترات، وعند نقع البذور بماء معالج تراوحت القيم بين (98.6،37.2%) عند نقع البذور لمدة 30 و60 ثانية على التوالي.

ولدى مقارنة جميع المعاملات المدروسة يتبين أن معاملة الري بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 10 و20 ثانية قد سجلت أعلى نسبة إنبات بذري حيث بلغت 98.8% لكلتا المدتين، في حين كانت أخفض نسبة إنبات في معاملة البذور المعرضة للاشعة الميكروية لمدة 60 و30 ثانية بدون فروق معنوية بينهما وسجلت 1.2، 4.8 % وقد تفوقت جميع المعاملات عليهما معنوياً.



الشكل (1): تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في نسبة الإنبات البذري لبذور نبات البندورة (LSD 5% P=0)

2. تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في معدل الانبات البذري (بذرة/يوم) لنبات البندورة:

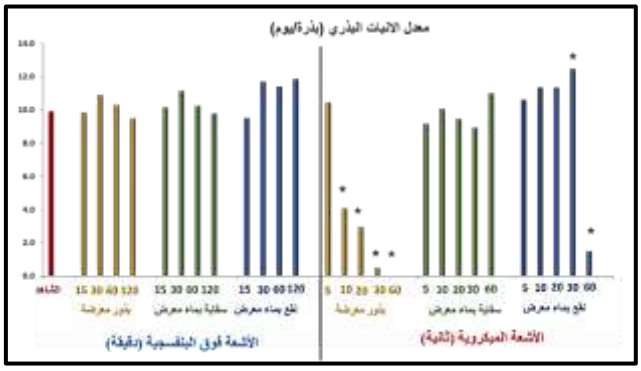
بيّنت النتائج الواردة في الشكل (2)، زيادة معدل الإنبات البذري بالمقارنة مع الشاهد حيث تراوحت القيم (10.9،9.5 بذرة/يوم) عند تعريض البذور للأشعة فوق البنفسجية بينما وصلت أعلى معدل إنبات (11.9 بذرة/يوم) عند نقع البذور في ماء معالج بالأشعة

فوق البنفسجية لمدة 120 دقيقة، فيما تراوحت القيم بين (11.2،9.8 بذرة/يوم) عند البذور المروية بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية.

أما في حالة التعرض المباشر للأشعة الميكروية، فقد أظهر معدل الإنبات انخفاضًا حادًا معنوياً مع زيادة مدة التعرض، حيث تراجع من 10.5 بذرة/يوم عند 5 ثوانٍ إلى 0 عند 30 و60 ثانية

وعند استخدام الماء معالج بالأشعة الميكروية فقد تراوحت القيم بين (9.2–11 بذرة/يوم)، بينما أظهرت معاملات النقع بهذا الماء نتائج متباينة، إذ كانت أعلى قيمة عند 30 ثانية (12.5 بذرة/يوم)، لكنها انخفضت بشكل حاد إلى 1.5 بذرة/يوم عند 60 ثانية.

ولدى مقارنة جميع المعاملات المدروسة يتبين أن معاملة النقع بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية قد سجلت أعلى معدل للإنبات وصلت إلى 12.5 بذرة/يوم، وقد تفوقت جميع المعاملات معنوياً على معاملة النقع بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية حيث سجلت 1.5 بذرة/يوم.



الشكل (2): تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في معدل الإنبات البذري لبذور نبات البندورة (LSD 5% P=0)

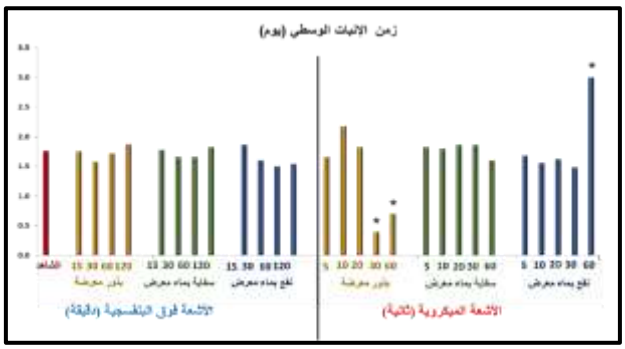
3. *تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في زمن الانبات الوسطي (يوم) لنبات البندورة:*

تم قياس الزمن اللازم لإنبات 50% من البذور (زمن الإنبات الوسطي) كمؤشر على سرعة الاستجابة للمعاملات المختلفة. وأظهرت النتائج الشكل (3) أن زمن الإنبات الوسطي قد تأثر بشكل متفاوت تبعًا لنوع الأشعة المستخدمة ومدة التعرض لها حيث سجلت البذور في معاملة الشاهد متوسط زمن إنبات 1.8 يوم، وعند استخدام الأشعة فوق البنفسجية بشكل مباشر على البذور، لوحظ أن زمن الإنبات انخفض قليلًا، خاصة عند تعريض البذور لمدة 30 دقيقة، حيث بلغ 1.6 يوم. وفي معاملات الري تراوحت القيم (1.7 و1.9يوم) أما النقع بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية، فقد كان أقل زمن انبات 1.5 يوم عند الزمن 120 دقيقة.

وبينت نتائج تعريض البذور للأشعة الميكروية مباشرة زمن إنبات منخفض جدًا حيث سجلت بين 0.4 و0.7 يوم عند فترات التعرض بين 20 و30 ثانية على التوالي.

وتراوح زمن الانبات الوسطي في معاملات الري بماء معالج بالأشعة الميكروية (بين 1.6 و1.9 يوم). أطول زمن إنبات سُجل في حالة النقع بماء معالج لمدة 60 ثوانٍ (3 يوم).

ولدى مقارنة جميع المعاملات المدروسة يظهر أن معاملة البذور المعرض للأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية كان لها تأثيراً سلبياً على مدة الإنبات الوسطي فقد سجلت 3 يوماً، في حققت معاملة النقع بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية أفضل النتائج حيث احتاجت 1.5 يوماً كمتوسط لزمن الإنبات.



الشكل (3): تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في زمن الإنبات الوسطي لبذور نبات البندورة (LSD 5% P=0)

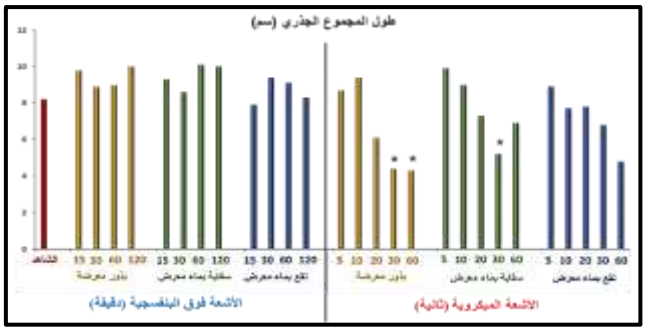
4. تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في طول المجموع الجذري (سم) لنبات البندورة:

أظهرت النتائج تأثيرًا متباينًا لمعالجة بذور البندورة بالأشعة فوق البنفسجية والميكروية على طول المجموع الجذري الشكل (4)، فعند تعريض البذور مباشرة للأشعة فوق البنفسجية، لوحظ زيادة ملحوظة في طول المجموع الجذري مقارنة بالشاهد، حيث تراوحت القيم 8.9 سم عند 60 دقيقة و10 سم عند 120 دقيقة

وعند ري النباتات بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية أدى أيضًا إلى زيادة واضحة، حيث بلغ أقصى طول 10.1 سم عند 60 دقيقة، وما بين 8.6 و10 سم في الفترات الأخرى. في المقابل لوحظ عند نقع البذور في ماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية تراوح طول الجذر بين 7.9 و9.4 سم عند 15 و30 دقيقة على التوالي.

أما عند تعريض البذور للأشعة الميكروية في الفترات (5 و10 دقائق) أدى إلى نتائج قريبة للشاهد حيث بلغ طول المجموع الجذري 8.7 و9.4 سم على التوالي. ومع زيادة مدة التعرض إ لوحظ انخفاض معنوي في طول المجموع الجذري ووصل إلى 4.3 سم عند 60 دقيقة، وبالنسبة لري النباتات بماء معالج بالأشعة الميكروية، كانت القيم أفضل نسبيًا عند 5 و10 دقائق (9.9 و9 سم)، لكنها انخفضت تدريجيًا مع زيادة الزمن، حيث وصلت إلى 5.2 و6.9 سم عند 30 و60 دقيقة على التوالي. وعند نقع البذور في ماء معالج بالأشعة الميكروية أظهرت النتائج تراجع تدريجي في طول المجموع الجذري مع زيادة الوقت ووصل إلى 4.8 سم عند 60 دقيقة.

وبمقارنة جميع المعاملات المدروسة يظهر أن معاملة ري البذور بماء معالج بالأشعة البنفسجية لمدة 60 دقيقة، قد حققت أعلى طول للمجموع الخضري وصل إلى 10.1 سم، في حين كان أخفض طول للمجموع الخضري في معاملة البذور المعرضة للأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية وسجلت 4.3 سم.



الشكل (4): تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في طول المجموع الجذري لبذور نبات البندورة (LSD 5% P=0)

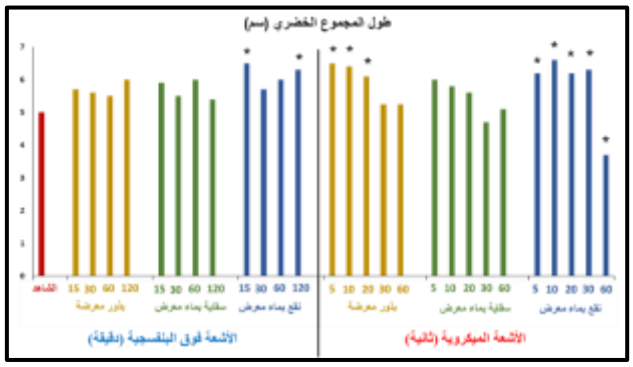
5. تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في طول المجموع الخضري (سم) لنبات البندورة:

أظهرت نتائج الدراسة تباينًا واضحًا في تأثير كلٍّ من الأشعة فوق البنفسجية والميكروية على طول المجموع الخضري لنبات البندورة، تبعًا لطبيعة المعاملة ومدة التعريض كما هو موضح في الشكل (5)، بينت النتائج عند تعريض البذور مباشرة للأشعة فوق

البنفسجية وصل طول المجموع الخضري إلى (6 سم) عند تعريض البذور لمدة 120 دقيقة، بينما تراوحت القيم عند الري بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية (5.4 و6 سم) وأدى نقع البذور بماء معالج بالأشعة فوق البنفسجية لمدة 15 دقيقة إلى زيادة معنوية ملحوظة في طول المجموع الخضري (6.5 سم) بالمقارنة مع الشاهد (5 سم) تليه النقع بماء معالج لمدة 120 دقيقة (6.3).

أما فيما يتعلق بالأشعة الميكروية أظهرت نتائج تعريض البذور المباشر للأشعة ارتفاعاً معنوياً في طول المجموع الخضري وصلت إلى قيمة إلى (6.5 سم) عند 5 ثوانٍ وعند الري بماء معالج تراوحت القيم بين (4.7 و6 سم) عند 30 و5 ثوانٍ على التوالي أما النقع بماء معرّض للأشعة فقد سجلت أعلى قيمة في طول المجموع الخضري بين جميع المعاملات (6.6 سم) وذلك عند النقع بماء معالج لمدة 10 دقائق في المقابل، لوحظ انخفاض حاد في طول المجموع الخضري عند النقع بماء معالج لمدة 60 دقيقة (3.7 سم).

وبمقارنة جميع المعاملات المدروسة يظهر أن معاملة نقع البذور بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 10 ثانية، قد حققت أعلى متوسط طول للمجموع الخضري بلغ 6.6 سم، في حين كان أخفض طول 3.7 سم والذي تم تسجيله في معاملة نقع البذور بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 60 ثانية وقد تفوقت جميع المعاملات على هذه المعاملة معنوياً.



الشكل (5): تأثير الأشعة فوق البنفسجية والميكروية في طول المجموع الخضري لبذور نبات البندورة (LSD 5% P=0)

المناقشة:

أظهرت نتائج الدراسة تبايناً واضحاً في استجابة بذور نبات البندورة للمعاملات الاشعاعية سواء بالأشعة فوق البنفسجية أو الميكروية، من حيث مؤشرات الإنبات البذري والنمو المبكر وقد استجابت البذور للعوامل الفيزيائية، حيث حسنت المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية (سواء بالتعرض المباشر للبذور أو عن طريق استخدام الماء المعالج للنقع والري) من نسبة ومعدل الإنبات البذري وخفضّت زمن الإنبات البذري، مما يدل على تسريع عملية الإنبات وتحفيز النشاط الحيوي للبذور وقد انعكس ذلك على طول المجموع الجذري والخضري، أما بالنسبة للأشعة الميكروية فقد أظهرت النتائج تأثيراً مزدوجاً حيث أدى التعريض المباشر لفترات زمنية قصيرة (5 – 10 ثانية) إلى زيادة في نسبة الإنبات البذري ومعدل الإنبات، وكانت هذه الزيادة ملحوظة في أطوال المجموع الجذري والخضري، ويمكن أن يعزى التأثير الإيجابي بكون الأشعة فوق البنفسجية أو الميكروية قد تحفز الإنزيمات المسؤولة عن إنبات البذور وهذا ما أشار اليه الباحث Simonova وآخرون، بأن الاشعة فوق البنفسجية قصيرة المدى يمكن أن تُعزز من نشاط الإنزيمات المرتبطة بتحطيم المواد المخزونة مثل الأميلاز والبروتياز، ما يسرّع من عمليات الإنبات. ويرجح أن هذه الأشعة تعمل كمحفز حيوي من خلال توليد مستويات منخفضة من أنواع الأوكسجين التفاعلية(ROS) التي تنشط المسارات الدفاعية والخلوية للبذور (Simonova *et al*., 2020)، كما تشير دراسة سابقة (Zhang *et al*., 2018) إلى أن التعرض للأشعة فوق البنفسجية يُحدث تغيرات مهمة في البنية التشريحية لبذور البندورة، وخاصة في غلاف البذرة، مما يساهم بشكل مباشر في زيادة نسبة الإنبات. فقد لوحظ أن هذه الأشعة تؤدي إلى تخفيف سمك الغلاف وتحطيم بعض الروابط الكيميائية بين مكوناته البنيوية مثل

السليلوز والليغنين، مما يزيد من نفاذية الغلاف ويسهل دخول الماء والأكسجين إلى داخل البذرة، وهما عنصران حيويان لبدء العمليات الاستقلابية التي تسبق الإنبات(Huang *et al*., 2019; Zhou *et al*., 2015) كما أن زيادة مسامية الغلاف تسمح بتحسين تبادل الغازات، مما يعزز التنفس الخلوي للجنين وينشط الإنزيمات المسؤولة عن تفكيك المركبات المخزنة في البذرة إلى مصادر طاقة قابلة للاستخدام (Jisha *et al*., 2013) هذه التحولات التشريحية تسهل امتصاص الماء وتسرع العمليات الأيضية، مما يؤدي إلى تحسين سرعة وكفاءة الإنبات(Rajjou and Debeaujon, 2008) كما تبيّن أن استخدام الماء المعالج، سواء في نقع البذور أو في الري، قد ساهم في تعزيز بعض مؤشرات الإنبات مقارنة بالشاهد، خصوصًا عند استخدامه بجرعات معتدلة. ويعود ذلك على الأرجح إلى تحسّن خصائص الماء الفيزيائية والكيميائية، مثل خفض التوتر السطحي أو تعديل الشحنة الكهربائية، مما يُسهل امتصاص الماء عبر الغلاف البذري ويُسرّع من بدء العمليات الاستقلابية (Abdel-Raouf *et al*. 2021).

في المقابل، أظهرت المعاملات التي تضمنت تعريضًا مباشرًا للبذور لفترات طويلة، خصوصًا للأشعة الميكروية (30 – 60 دقيقة)، انخفاضًا كبيرًا في نسبة ومعدل الإنبات، وانعكس ذلك على طول المجموع الجذري والخضري ويُحتمل أن يكون ذلك ناتجًا عن الإجهاد الحراري الذي تحدثه الموجات الميكروية، والذي قد يؤدي إلى تلف الأنسجة الجنينية، وتقليل فعاليتها الإنباتية وتخثر البروتينات، واضطراب في النشاط الإنزيمي، مما يعيق بدء عملية الإنبات. فالطاقة الحرارية الناتجة عن الميكروويف تجاوزت حدود التحمل الحيوي للبذور، وهذا يتفق مع العديد من الدراسات حيث أشار العالمان (Desai and Mehta., 2015) أن طاقة الميكروويف يمكن أن تسبب ارتفاعًا سريعًا في درجة حرارة الأنسجة الداخلية للبذور، ما يؤدي إلى تفكك البروتينات وتلف الأغشية الخلوية. كما دعمت هذه النتائج (Sera *et al*., 2017) مؤكدين أن المعالجة المفرطة بالميكروويف تعيق النمو الجنيني وتؤدي إلى تعطيل الإنزيمات المسؤولة عن الهضم الداخلي للمواد المخزنة وعلى الرغم من انخفاض زمن الانبات الوسطي (وهي قيم متناقضة مع التراجع الكبير في نسبة الإنبات ومعدل الإنبات)، مما يدل على أن هذه القيم لا تعكس تحسنًا حقيقيًا، بل إنباتًا محدودًا لبذور قليلة قاومت الضرر الحراري بينما تضرر معظمها بشكل دائم، وقد توافقت هذه النتائج مع العديد من الدراسات ففي دراسة (Zhang *et al*.,2022) لبذور القمح أدى التعرض المنخفض للميكروويف إلى زيادة الإنبات والنمو، بينما تسبب التعرض المفرط بتلف في الأنسجة وانخفاض في الحيوية. كما أكدت دراسة (Mushtaq *et al*., 2016) أن جرعات محددة من الأشعة فوق البنفسجية (UV-C) تحفز إنبات بذور الفجل، بينما الجرعات العالية تؤثر سلبًا على المادة الوراثية وتثبط النمو. من جهة أخرى، وجدت دراسة (Aladjadjiyan, 2010) أن الميكروويف يمكن أن يزيد من نفاذية الأغشية وتحفيز الامتصاص المائي داخل البذور، مما يسهل البدء في العمليات الأيضية الضرورية للإنبات. أما (Hameed *et al*., 2022) فقد أشاروا إلى أن استخدام ماء مُعرّض للإشعاع في نقع البذور، يساعد في تحفيز الإنزيمات وتقليل الجهد التأكسدي داخل البذور، كما بينت دراسة أن الجرعات المنخفضة حفزت إنبات فول الصويا، بينما أدت الجرعات العالية إلى انخفاض معنوي في نسبة الإنبات وطول الشتلة، مما يشير إلى وجود عتبة حرجة للطاقة الإشعاعية تؤثر على سلامة البذور (Amirnia, 2014).

الاستنتاجات:

1. أظهرت الأشعة فوق البنفسجية تأثيرًا محفزًا على مؤشرات الإنبات البذري، سواء من خلال تعريض البذور مباشرة أو باستخدام الماء المعالج بها. ما يدل على تنشيط حيوي للبذور وتسريع لعمليات الإنبات الأولية.
2. أدت الأشعة الميكروية، عند استخدامها بشكل مباشر على البذور، إلى انخفاض حاد في نسبة ومعدل الإنبات، رغم تقليل زمن الإنبات الوسطي.

3. أظهرت معاملات الماء المعالج، سواء بالأشعة فوق البنفسجية أو الميكروية، نتائج إيجابية نسبيًا، حيث تم تحفيز الإنبات دون الإضرار بالبذور.

4. تشير هذه النتائج إلى أن التعرض القصير لكل من الأشعة فوق البنفسجية والميكروية، خاصة عبر نقع البذور في ماء معرّض، قد يُسهم في تعزيز النمو الخضري لنبات البندورة، بينما يؤدي التعرض المطوّل إلى تأثيرات تثبيطية واضحة.

5. لم يقتصر التأثير على نوع الأشعة فقط، بل على مدة المعالجة وطريقة المعالجة، حيث قد يؤدي الوقت الزائد إلى نتائج عكسية، خصوصًا مع استخدام الأشعة الميكروية.

6. بناء على النتائج المتحصل عليها يتبين أن معاملة نقع البذور بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية أو البنفسجية لمدة 120 دقيقة، قد حققت أفضل النتائج من حيث كافة المؤشرات المدروسة.

التوصيات:

1. اتباع طريقة نقع البذور بماء معالج بالأشعة الميكروية لمدة 30 ثانية أو البنفسجية لمدة 120 دقيقة، للحصول على أفضل إنبات بذري لنبات البندورة.

2. يُوصى بإجراء دراسات إضافية لتوضيح الآليات الفيزيولوجية والإنزيمية المرتبطة بتأثير الأشعة في إنبات البذور، وربطها بنشاط الإنزيمات ومضادات الأكسدة.

3. دراسة تأثير هذه المعاملات في الإنتاجية وجودة المحصول، تمهيدًا لاعتمادها ضمن ممارسات الزراعة المستدامة.

الشكر:

نشكر جامعة حلب على تمويل البحث كما نتقدم بالشكر للمجلة السورية للبحوث الزراعية .

المراجع:

Abdel-Raouf, N.; A. A. Al-Dulaimi; and M. A. Abdulrahman (2021). Effect of magnetized water on seed germination and early growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Agricultural Studies. 9(3): 45–53.

Adu-Oppong, R. (2025). Influence of seed size, storage and priming on germination, growth and yield of soybean (*Glycine max* (L) Merrill). Doctoral dissertation, University of Ghana.

Aladjadjiyan, A. (2010). Influence of microwave treatment on the vitality of seeds and seedlings of lentils (*Lens culinaris* Med.). Romanian Journal of Biophysics. 20(3): 213–221.

Amirnia, R. (2014). Effect of microwave radiation on germination and seedling growth of soybean (*Glycine max*) seeds. Advances in Environmental Biology. 8(24): 311–314.

Araujo, S. D.; S. Paparella; D. Dondi; A. Bentivoglio; D. Carbonera; and A. Balestrazzi (2016). Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology. Frontiers in Plant Science. 7

Chen, Y.; Y. Zhang; M. Zhou; and J. Zhou (2017). Microwave-assisted degradation of environmental pollutants: From chemistry to engineering. Environmental Science & Technology. 51(22): 13095–13112.

Chen, Z.; Y. Ma; Y. Weng; R. Yang; Z. Gu; and P. Wang (2019). Effects of UV-B radiation on phenolic accumulation, antioxidant activity and physiological changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Food Bioscience. 30: 100409.

Dahab, A. A.; H. M. Bayomy; H. S. A. El-Salam; S. E. Almasoudi; N. A. Ozaybi; G. A. Mahmoud; … and R. S. El-Serafy (2024). Seed disinfection treatments minimized microbial load and

enhanced nutritional properties of fenugreek sprouts which alleviated diabetes-negative disorders in diabetic rats. Nutrients. 16(16): 2635.

Desai, H. D.; and P. H. Mehta (2015). Effect of microwave radiation on seed germination and seedling growth in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). International Journal of Scientific and Research Publications. 5(10): 1–4.

Felek, T.; A. Kürklü; and H. Basim (2025). Development of a UVC application machine for managing plant diseases in soilless greenhouse crop production. Scientific Reports. 15(1): 9370.

Govindaraj, M.; P. Masilamani; V. A. Albert; and M. Bhaskaran (2017). Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review. Agricultural Reviews. 38: 1–14.

Hahlbohm, A.; C. Struck; F. de Mol; and B. Strehlow (2025). UV-C treatment has a higher efficacy on reducing germination of spores rather than mycelium growth. European Journal of Plant Pathology. 1–17.

Hameed, A.; M. Goher; and N. Iqbal (2022). Seed priming to improve tomato productivity in salinity-stressed environments: A review. Asian Journal of Biological and Life Sciences. 20(3): 741–752.

Hassanpour, H.; A. Eydi; and M. Hekmati (2021). Electromagnetic field improved nanoparticle impact on antioxidant activity and secondary metabolite production in *Anthemis gilanica* seedlings. International Journal of Agronomy. 2021(1): 8730234.

Huang, X.; Y. Ma; Y. Wang; M. Zhang; and F. Chen (2019). Effects of ultraviolet irradiation on seed germination and seedling growth of wheat *(Triticum aestivum*). Photochemistry and Photobiology. 95(1): 126–134.

Jaffer, F.; M. Pingale; P. Sapale; and S. Padval (2017). Effect of microwave treated water on germination of chickpea seeds. Scholarly Research Journal for Humanity Science and English Language. 4: 4956–4960.

Jisha, K. C.; K. Vijayakumari; and J. T. Puthur (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. Acta Physiologiae Plantarum. 35(5): 1381–1396.

Kapitaniak, B.; R. Cegielska-Radziejewska; and G. Lesnierowski (2020). The effect of microwave irradiation on seeds germination and microbial contamination. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 19(4): 415–422.

Lakshmipathy, K.; S. Sindhu; A. Singh; S. Chikkaballapur Krishnappa; and C. Duggonahally Veeresh (2024). A review on pesticides degradation by using ultraviolet light treatment in agricultural commodities. EFood. 5(1): e129.

Lucchesi, M. E.; F. Chemat; and J. Smadja (2004). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: Comparison with conventional hydrodistillation. Journal of Chromatography A. 1043(2): 323–327.

Mushtaq, M.; A. Khan; and A. Ghafoor (2016). Effect of ultraviolet-C radiation on seed germination and seedling growth of radish *(Raphanus sativus* L.). Frontiers in Plant Science. 7: 646.

Pakhomov, A. G.; Y. Akyel; O. N. Pakhomova; B. E. Stuck; and M. R. Murphy (1998). Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: A review of the literature. Bioelectromagnetics. 19(7): 393–413.

Piles, M.; D. Chaparro; D. Entekhabi; A. G. Konings; and T. Jagdhuber (2020). Remote sensing of vegetation dynamics in agro-ecosystems using SMAP vegetation optical depth and optical vegetation indices. Remote Sensing of Environment. 249: Article 112007.

Rajjou, L.; and I. Debeaujon (2008). Seed longevity: Survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. Comptes Rendus Biologies. 331(10): 796–805.

Robson, T. M.; P. J. Aphalo; A. K. Banaś; P. W. Barnes; C. C. Brelsford; G. I. Jenkins; … and M. A. Jansen (2019). A perspective on ecologically relevant plant-UV research and its practical application. Photochemical & Photobiological Sciences. 18(5): 970–988.

Sera, B.; S. Sera; and J. Tóth (2017). Effect of microwave irradiation on seed germination and seedling growth of some medicinal plants. Romanian Biotechnological Letters. 22(1): 12264–12270.

Simonova, E. N.; M. M. Ayrapetyan; A. A. Eroshenko; and N. S. Vertiy (2020). The impact of UV irradiation of winter wheat seeds on enzymatic activity in the germination period. Indian Journal of Agricultural Research. 54(2).

Tian, X.; M. Hu; J. Yang; Y. Yin; and W. Fang (2024). Ultraviolet-B radiation stimulates flavonoid biosynthesis and antioxidant systems in buckwheat sprouts. Foods. 13(22): 3650.

Zhang, B.; Z. Shi; S. Yang; D. Han; Z. Zhou; X. Li; and Y. Liu (2018). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat *(Triticum aestivum*) seedlings. Environmental Science and Pollution Research. 25(8): 7638–7646.

Zhang, Y.; Y. Liu; X. Wang; and M. Zhang (2022). Low-dose microwave radiation enhances seed germination and seedling vigor in wheat. Environmental Science and Pollution Research. 29: 24784–24794.

Zhou, Y.; S. Wang; J. Hu; and J. Ma (2015). Effects of UV-C treatment on seed germination and seedling growth of mung bean *(Vigna radiata*). Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 146: 75–81.

The Effect of Ultraviolet and Microwave Radiation on Some Seed Germination Parameters of Tomato plants (*Lycopersicon esculentum Mill.*)

Fatima Alzhraa Enjrini*[1], Imad Aldeen Alkhalaf[1] and Njwa Moslmani[1]

[1] Dept. of Botany, Faculty of Science, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

(*Corresponding author: Fatima Alzhraa Enjrini, Email: fatimaenj92@gmail.com)

Received:24 / 12/ 2025 **Accepted:** 4/03 /2026

Abstract

This study was conducted at the Plant Environmental and Pollution Research Laboratory, Department of Plant Biology, Faculty of Science, University of Aleppo/Syria, to evaluate the effects of ultraviolet (UV-C, 254 nm) and microwave radiation (2450 MHz) on tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) seed germination. Seeds were treated by direct radiation exposure, irrigation with irradiated water, or soaking in treated water. Germination percentage, germination speed, mean germination time, and seedling growth parameters were assessed after seven days. UV-C treatments significantly enhanced germination performance, with germination percentage reaching 98.8% under irrigation with UV-treated water (120 min) compared to 93.4% in the control. Germination speed increased to 11.9 seeds/day, while mean germination time decreased to 1.5 days, accompanied by increased root (10.1 cm) and shoot length (6.5 cm). Microwave radiation showed a dual response: short exposure times (5–10 s) slightly improved germination, whereas prolonged exposure caused a sharp decline, with germination percentage dropping to 1.2% at 60 s due to thermal stress. The results showed that soaking the seeds in microwave treated water for 30 seconds or in ultraviolet treated water for 120 minutes produced the best outcomes across all studied parameters.

Keywords: UVC, Microwave radiation, Germination percentage, Germination rate, Lycopersicon esculentum Mill.