الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جـــــامعة الشهيد حمه لخضر-الوادي
كلية العلوم الطبيعية والحياة

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكـــادمي

ميدان: علوم الطبيعة والحياة

شعبة: بيولوجيا

تخصص: بيولوجيا وفيزيولوجيا النبات

الموضوع:

دراسة تأثير المعالجة بالمياه الساخنة على انبات ونمو محاصيل الحبوب (القمح والشعير)

من إعداد:

✓خطراوي شروق

✓زقب نهاد

اشراف الدكتور:

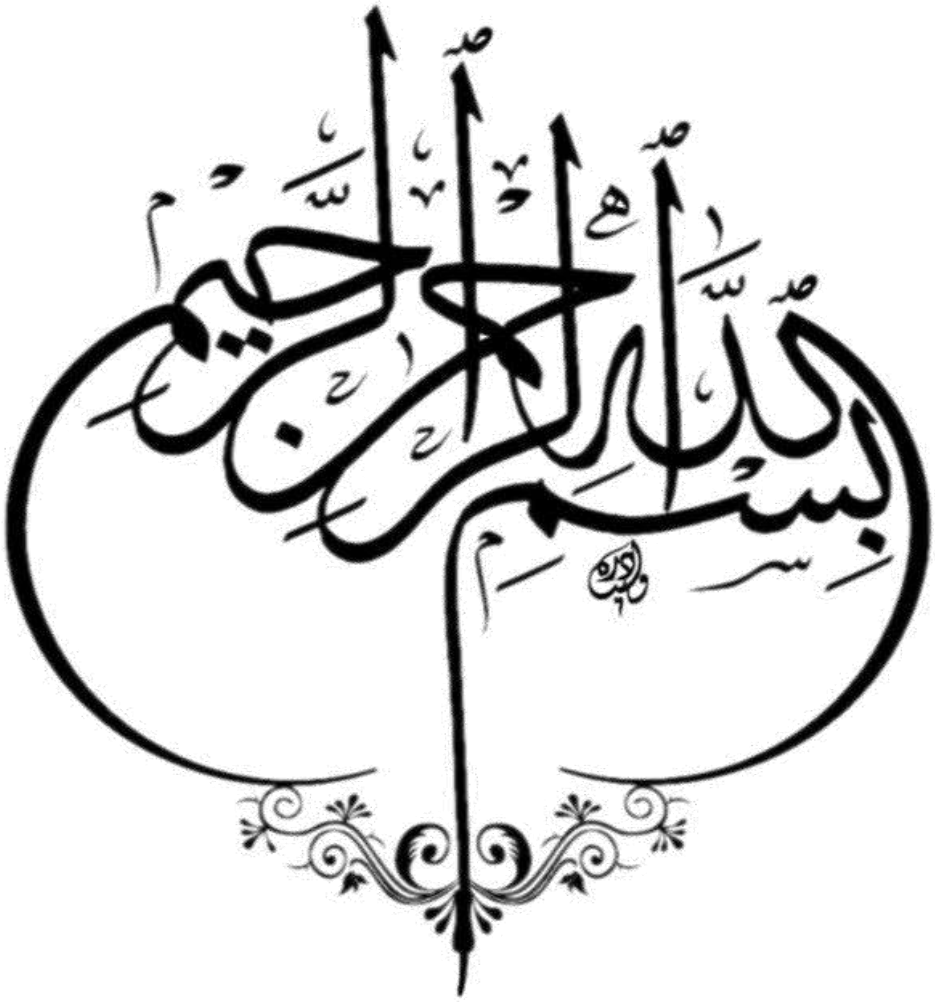
• د. غمام عمارة الجيلاني

نـــوقشت يوم:2026/06/11

لـــجنة المنـــاقشة:

الاسم واللقب	الرتبة العلمية	الصفة
د. لعوج حسن	أستاذ محاضر(أ)	رئيســـــاً
د. غمام عمارة الجيلاني	أستاذ تعليم عالي	مشرفاً ومقرراً
د. شرادة نزار	أستاذ محاضر(ب)	مساعداً
د. علية فاطمة	أستاذ محاضر(ب)	مناقشـــــاً

السنة الجـــامعية: 2025-2026


بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وعرفان

الحمد والشكر لله الحي القيوم أولاً وأخيراً وامتثالاً لقوله صلى الله عليه وسلم:

"من لا يشكر الناس لا يشكر الله"

أتوجّه بجزيل الشكر وجميل العرفان للأستاذ:

د. غمام عمار الحيلاني

الذي تكرم بقبول الإشراف على هذه المذكرة وعلى جميع التوجيهات والملاحظات والنصائح.

كما لا يفوتنا أن نتقدم بوافر التقدير والاحترام لأعضاء اللجنة المحترمين على عناء قراءة المذكرة وقبولها وتصويبها.

وكذلك نتقدم بخالص الشكر إلى كل من درسَنا من أساتذة كلية علوم الطبيعة والحياة بجامعة حمه لخضر بالوادي، وإلى كل موظفي الإدارة والمكتبة وجزاهم الله كل خير.

وفي الأخير نشكر كل من قدم لنا يد العون والمساعدة من قريب أو من بعيد ونسأل الله عز وجل أن يجعل ذلك في ميزان حسناتهم إنه قريب مجيب.

إهداء

الحمد لله حَمداً وشكراً وامتناناً على البدء والختام. ﴿وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

إلى الذي زيّن اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل...

من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة داعمي الأول في مسيرتي وسندي وقوتي وملاذي بعد الله...

إلى فخري واعتزازي . . . **أبي (خطراوي نورالدين)** . . .

إلى من جَعَل الله الجنة تحت أقدامها واحتضنني قلبها قبل يدها

وسهلت لي الشدائد بدعائها إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي في الليالي المظلمات

سر قوتي ونجاحي . . . **أمي** . . .

إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي إلى من شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع أرتوي منها إلى خيرة أيامي وصفوتها إلى قرة

عيني . . . **أختي وأخي** . . .

إلى عائلتي وعزوتي، شكراً لكم جميعاً على كلمات التشجيع، وعلى وقوفكم بجانبي في كل مراحل هذه الرحلة. أنتم الوقود الذي دفعني للأمام، ومشاركتكم لي هذا الإنجاز هي ما يعطيه القيمة والمعنى.

وإلى أصدقاء هذه الرحلة العظيمة، إلى أصدقاء السنين وأصحاب الشدائد وملهمين نجاحي إلى من رسمو بسمتي وقت الصعاب إلى من ذكروني بمدى قوتي واستطاعتي إلى الذين لا يحبطوني ويمدون بشجاعتي إلى الشموع اللتي تنير لي الطريق دوماً خاصة من كانو معي في إنجاز هذه المذكـرة **مريم وسنـــاء**. أهديكم هذا الإنجاز وثمرة نجاحي الذي لطالما تمنّيته ها أنا اليوم أكملت وأتممت أول ثمراته بفضله سبحانه وتعالى فالحمد لله على ما وهبني

خطراوي شروق

إهداء

إلى من ساروا بجانبي حتى وصلتُ إلى ضفةِ النجاح..

إلى منبعِ الوجودِ وسرِّ الصمود، إلى مَن جَعلا الصعبَ ذلولاً بدعائهما.. إلى "ماما وبابا

أُهديكم هذا النجاح الذي ما هو إلا ثمرةٌ لغرسِكم الطيّب وتضحياتِكم التي لا تُحصى، أنتم فخري الذي أُباهي به الدنيا.

إلى مَن هُم للقلبِ مَسكناً وللروحِ طمأنينة.. "أمي فضيلة" و"جدي إسماعيل

إلى نبضِ العطاءِ والحكمة، إليكما أهدي ثمرةَ سهري وجهدي، دمتما لي سنداً أستمدُّ منه القوة.

إلى الأرواحِ الغائبةِ الحاضرة، إلى من غرسوا فيَّ الشموخَ ورحلوا.. "جدي وجدتي" (طيب الله ثراهما)..

ذكراكم كانت الوقود الذي يحرقُ تعبي، وهذا النجاحُ هو إهداءٌ لأرواحكما التي تسكنُني.

إلى نبضِ الحياةِ وقطعاتِ السكرِ في أيامي.. أخوتي "نور الإيمان، غزل، محمد الأيوب، ومحمد الحسين".

بكم ومعكم يكتملُ طعمُ الإنجاز، أنتم العزوةُ والذخرُ الذي أعتزُّ به.

إلى القلوبِ الوفيّةِ التي لم تبخلْ يوماً بكلمةِ تشجيع.. "خالتي ناجية" و"عمتي حبيبة

لكما في هذا العملِ نصيب، شكراً لصدقِ الودّ وجميلِ الأثر.

إلى رفيقِ الحلمِ وشريكِ الغد.. خطيبي "حذيفة" وعائلتي الثانية

شكراً لكونكَ الأمانَ الذي لا يميل، ولإيمانِكَ بي حينما تعثّرت خطاي،

إليكم جميعاً أهدي هذا الإنجاز بكل حبٍّ وفخر.

زقب نهـــاد

الملخص

الملخص:

أجريت هذه الدراسة التجريبية بمنطقة الوادي (الجزائر) بهدف تقييم تأثير الري بالمياه الارتوازية الساخنة (المبردة إلى 25–30°م) مقارنة بالمياه الباردة، على مؤشرات الإنبات والنمو الخضري لمحصولي القمح والشعير.

اعتمدت التجربة على قياسات شملت النسبة المئوية للإنبات، سرعة الإنبات، مؤشر قوة الإنبات، المحتوى المائي النسبي(RWC) ، المساحة الورقية، الأوزان الرطبة والجافة، بالإضافة إلى مقاطع تشريحية مجهرية للأنسجة الورقية.

أظهرت النتائج عدم وجود فروق معنوية إحصائياً ($p > 0.05$) بين المعاملتين في معظم مؤشرات الإنبات والمحتوى المائي النسبي ومساحة الورقة لكلا المحصولين. بالمقابل، سُجلت فروق معنوية ($p < 0.05$) لصالح الري بالمياه الساخنة في الوزن الجاف للشعير، مساحة الخلية، سمك الخلية، والسمك الكلي للورقة. كما أظهر التحليل التشريحي المجهري زيادة ملحوظة في أبعاد خلايا البشرة، والبلاستيدات الخضراء، والحزم الوعائية في نباتات الشعير المروية بالمياه الساخنة مقارنة بالشاهد.

تُعزى هذه النتائج إلى دور المياه الارتوازية الساخنة كعامل تهيئة حرارية (thermo-priming) يحفز النشاط الأنزيمي، ويعزز امتصاص العناصر المعدنية الذائبة، ويحسن الخواص الفيزيائية للتربة (خفض اللزوجة ورفع النفاذية)، مما ينعكس إيجاباً على الكتلة الحيوية والبنية التشريحية، خاصة لنبات الشعير الذي أظهر استجابة تكيفية أوضح من القمح في الظروف المطبقة.

الكلمات المفتاحية: مياه ارتوازية ساخنة، قمح (Triticum aestivum)، شعير (Hordeum vulgare)، إنبات، تشريح خضري.

Résumé

Cette étude expérimentale a été réalisée dans la région d'El Oued (Algérie) dans le but d'évaluer l'effet de l'irrigation par les eaux artésiennes chaudes (refroidies à 25-30°C) par rapport à l'eau froide, sur les indicateurs de germination, la croissance végétative et l'anatomie foliaire du blé (Triticum aestivum) et de l'orge (Hordeum vulgare).

L'expérimentation a reposé sur des mesures incluant le pourcentage de germination, la vitesse de germination, l'indice de vigueur germinative, la teneur relative en eau (RWC), la surface foliaire, les poids frais et secs, ainsi que des coupes histologiques microscopiques des tissus foliaires.

Les résultats n'ont montré aucune différence statistiquement significative ($p > 0,05$) entre les deux traitements pour la plupart des indicateurs de germination, la teneur relative en eau et la surface foliaire des deux cultures. En revanche, des différences significatives ($p < 0,05$) ont été enregistrées en faveur de l'irrigation par l'eau chaude pour le poids sec de l'orge, la surface cellulaire, l'épaisseur cellulaire et l'épaisseur totale de la feuille. L'analyse histologique microscopique a également révélé une augmentation notable des dimensions des cellules épidermiques, des chloroplastes et des faisceaux vasculaires chez les plants d'orge irrigués avec l'eau chaude par rapport au témoin.

Ces résultats sont attribués au rôle des eaux artésiennes chaudes en tant que facteur de thermo-priming qui stimule l'activité enzymatique, améliore l'absorption des éléments minéraux dissous et les propriétés physiques du sol (réduction de la viscosité et augmentation de la perméabilité), ce qui se reflète positivement sur la biomasse et la structure anatomique, en particulier chez l'orge qui a montré une réponse adaptative plus nette que le blé dans les conditions appliquées.

Mots-clés : Eau artésienne chaude, blé, orge, germination, dissection végétative,.

Abstract

This experimental study was conducted in the El Oued region (Algeria) to evaluate the effect of irrigation with hot artesian water (cooled to 25-30°C) compared to cold water, on germination indicators, vegetative growth, and leaf anatomy of wheat (Triticum aestivum) and barley (Hordeum vulgare).

The experiment relied on measurements including germination percentage, germination speed, germination vigor index, relative water content (RWC), leaf area, fresh and dry weights, as well as microscopic histological sections of leaf tissues.

The results showed no statistically significant differences ($p > 0.05$) between the two treatments for most germination indicators, relative water content, and leaf area of both crops. Conversely, significant differences ($p < 0.05$) were recorded in favor of hot water irrigation for barley dry weight, cell area, cell thickness, and total leaf thickness. Microscopic histological analysis also revealed a notable increase in the dimensions of epidermal cells, chloroplasts, and vascular bundles in barley plants irrigated with hot water compared to the control.

These results are attributed to the role of hot artesian water as a thermo-priming factor that stimulates enzymatic activity, enhances the absorption of dissolved mineral elements, and improves soil physical properties (reducing viscosity and increasing permeability), which positively reflects on biomass and anatomical structure, particularly in barley, which showed a clearer adaptive response than wheat under the applied conditions.

Keywords: Hot artesian water, wheat, barley, germination, vegetative dissection.

قائمة المحتويات

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
شكر والعرفان	I
الاهداء	II
الملخص	IV
قائمة المحتويات	VIII
الفهرس	IX
قائمة الاشكال	XI
قائمة الرموز	XIV
المقدمة	1
الفصل الأول: محـــاصيل الحبـوب وانباتها (القمح والشعير)	
I. الشعير	7
I.1. بنية بذور الشعير	8
I.2.مراحل نمو الشعير	9
I.3. العوامل البيئية المؤثرة على النمو	13
I.4. الأهمية الغذائية والاقتصادية لنبات الشعير	15
II: القمح	16
II.1. بنية حبة نبات القمح	18
II.2. مراحل نمو القمح	19
II.3. العوامل البيئية المؤثرة على النمو	20
II.4. الأهمية الغذائية والاقتصادية لنبات القمح	23
الفصل الثاني: ميـــــاه الــري	
I. خصائص مياه الري	25
I.1. الخصائص الفيزيائية	25
I.1.1. الملوحة والناقلية الكهربائية ECw	25
I.2.1. المواد العالقة والمخاطر الميكروبية	25
I.2. الخصائص الكيميائية	25
I.1.2. التوازن الأيوني ونسبة امتصاص الصوديوم SAR	25
I.2.2.الحموضة PH وتوافر العناصر	27
I.3.2. المحتوى المغذي مقابل تراكم العناصر الثقيلة	27
II.2. المياه الارتوازية	27

II.1.2. خصائص المياه الارتوازية	29
II.2.2. أهمية المياه الارتوازية	29
الفصل الثالـــث: الوســـائـــل والطرق	
I.1. الهدف من التجربة	35
I.2. المواد الأدوات المستعملة	35
I.3. خطوات العمل	36
I.1.3. مرحلة الانبات ونمو البادره	36
I.2.3. مرحلة الخضرية	40
الفصل الرابـع: النتائـج والمناقـشة	
I. تحليل النتائج	46
II. تفسير ومناقشة النتائج	59
الخـــاتمة	
قائمة المراجع	
قائمة الملاحق	

قـائمة الأشكـال

رقم الوثيقة	موضوع الوثيقة	رقم الصفحة
الوثيقة (1)	الأصناف الرئيسية لمجموع الحبوب النجيلية	8
الوثيقة (2)	نبات الشعير	9
الوثيقة (3)	تشريح حبة الشعير	10
الوثيقة (4)	مراحل نمو نبات الشعير	11
الوثيقة (5)	وثيقة توضح المسارات الهيكلية والوظيفية لبدأ عملية انبات الشعير	11
الوثيقة (6)	تسلسل ظهور الجذير الرئيسي والجذيرات الجنينية الثانوية	12
الوثيقة (7)	مقطع طولي يوضح التركيب الداخلي للمحور الجنيني ومرحلة بزوغ غمد الورقة	12
الوثيقة (8)	التركيب النسيجي الخلوي للعصيفة (Lemma) والأتبة (Palea) في مرحلة التمايز الزهري	13
الوثيقة (9)	البنية الهيكلية لمكونات السنيبلة وتوزع طبقات الأليرون والحزم الوعائية	13
الوثيقة (10)	نبات القمح	18
الوثيقة (11)	مخطط الأصول الوراثية للقمح	18
الوثيقة (12)	مقطع طولي لبنية حبة القمح	19
الوثيقة (13)	دورة الحياة لنبات القمح	20
الوثيقة (14)	رسم تخطيطي يوضح استجابات القمح وتحمله لدرجات الحرارة العالية	22
الوثيقة (15)	مخطط التصنيف العالمي لجودة مياه الري USSL يوضح العلاقة بين خطر الملوحة EC وخطر التصود SAR	34
الوثيقة(16)	وثيقة تمثل مقطعا جيولوجيا هيدرولوجيا يوضح الفرق بين نوعين من الخزانات الجوفية	36
الوثيقة ((17	وثيقة تمثل مقطعاً جيولوجياً هيدرولوجياً طولياً (Cross-section) يمتد من الجنوب الغربي (S-O) في الجزائر (منطقة أدرار ورقّان) مروراً	36

	بعين غيتارة، حاسي مسعود، وحوض العرق الشرقي الكبير (Grand Erg Oriental) الذي تقع ضمنه منطقة وادي سوف، وصولاً إلى تونس (Dahar و Djeffara) في الشمال الشرقي (N-E).	
الوثيقة (18)	بذور القمح والشعير	46
الوثيقة (19)	مرحلة تنقية البذور	47
الوثيقة (20)	طريقة توزيع بذور الحبوب على ورق ترشيح مبلل داخل أوعية الاستنبات لتقييم كفاءة الانبات	48
الوثيقة (21)	طريقة قياس الأبعاد الطولية للبادرة (طول الجذير والسويقة) باستخدام الورق المليمتري	50
الوثيقة (22)	تمثل (الميزان الحساس والفرن الجاف).	51
الوثيقة (23)	أظرفة عينات القمح والشعير المجهزة لمرحلة التجفيف الحراري.	51
الوثيقة (24)	توضح خطوات عملية الزراعة	52
الوثيقة (25)	الية قياس مساحة المسطح الورقي لنباتات الحبوب باستخدام جهاز قياس مساحة الأوراق الرقمي (Leaf Area Meter)	53
الوثيقة (26)	الخطوات التجريبية والمخبرية لتقدير الاوزان الثلاثية للأوراق	53
الوثيقة (27)	طريقة قطع واعداد الأجزاء الورقية المخبرية	54
الوثيقة (28)	الأوساط الصبغية المستخدمة في بروتوكول التلوين المضاعف للمقاطع العرضية النباتية.	55
الوثيقة (29)	برنامج المجهر الضوئي الرقمي (Système de Microscopie Optique Numérique) لفحص المقاطع التشريحية وأخذ القياسات الخلوية.	55
الوثيقة (30)	تغيّرات النسبة المئوية لانبات بذور محصلي القمح والشعير.	58
الوثيقة (31)	تغيّرات سرعة انبات لبذور محصلي القمح والشعير.	59
الوثيقة (32)	تغيّرات مؤشر قوة توتر إنبات للأطوال بذور محصلي القمح والشعير.	60
الوثيقة (33)	تغيّرات الوزن الجاف والوزن الطري لبذور محصلي القمح والشعير.	61
الوثيقة (34)	تغيّرات مؤشر توتر انبات لبذور محصول الشعير.	62
الوثيقة (35)	تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصلي القمح والشعير تجربة الاولى.	63
الوثيقة (36)	تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصلي القمح والشعير تجربة الثانية.	63

الوثيقة (37)	تغيّرات المحتوى المائي النسبي لبذور محصلي القمح والشعير.	64
الوثيقة (38)	تغيّرات مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة لبذور محصلي القمح والشعير.	65
الوثيقة (39)	تغيرات مساحة الورقة لبذور محصلي القمح والشعير.	66
الوثيقة (40)	تغيرات مساحة الخلية لثلاث مجموعات.	66
الوثيقة (41)	تغيرات قطر الحزمة الوعائية ككل.	67
الوثيقة (42)	تغيرات سمك الخلية لثلاث مجموعات نباتية.	68
الوثيقة (43)	تمثل تغيرات سمك الورقة ككل	69
الوثيقة (44)	نتائج تحليل التشريح الخضري	71

قـائمة الاختصارات

الرمز	الاسم
FAO	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
FDA	هيئة الغذاء والدواء الأمريكية
LMA	معدل كتلة الورقة
µm²	ميكرومتر مربع، وحدة تستخدم لقياس مساحة الخلايا النباتية
µm	ميكرو متر، وحدة تستخدم لقياس سمك الخلية وقطر الحزم الوعائية
CAT	إنزيم الكاتالز الذي يساهم في حماية الخلايا النباتية
APX	إنزيم بيروكسيداز الأسكوربات، أحد الأسلحة الحيوية للنبات ضد الإجهاد
PR proteins	البروتينات المرتبطة بالإمراض والتي تعمل كدفاع ضد المسببات المرضية
HSPs	بروتينات الصدمة الحرارية التي تساعد النبات على تحمل الإجهاد الحراري
ROS	أنواع الأكسجين التفاعلية التي تظهر عند تعرض النبات للإجهاد
NAR	معدل الاستيعاب الصافي
ETM	العناصر الثقيلة أو المعادن السامة التي قد تتراكم في التربة والنبات
pH	درجة الحموضة التي تحدد مدى توافر العناصر الغذائية
SAR	نسبة امتصاص الصوديوم، وهي معيار لتوازن الأيونات في المياه والتربة
ECw	الناقلية الكهربائية لمياه الري، وتستخدم لتقييم الملوحة
TWW	مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة كبديل في الري
DM	الوزن الجاف للورقة أو البادرة بعد التجفيف
TM	الوزن المنتفخ أو الممتلئ للورقة بعد غمرها في الماء
FM	الوزن الطازج أو الطري للورقة
RWC	المحتوى المائي النسبي، وهو مؤشر يقيس توازن الماء في أنسجة النبات
P.I	مؤشر السرعة المستخدم في حساب توتر الإنبات
STI	مؤشر توتر المياه المستعملة أو مؤشر تحمل البادرة
DMSI	مؤشر توتر المادة الجافة
GSI	مؤشر توتر الإنبات
GR	سرعة الإنبات

GP	النسبة المئوية للإنبات

المقدمة

المقدمة

تعد محاصيل الحبوب، ولا سيما القمح (Triticum aestivum) والشعير (Hordeum vulgare)، ركيزة استراتيجية لا غنى عنها في منظومة الأمن الغذائي العالمي[1]، نظراً لتركيبها المورفولوجي والتشريحي المتميز الذي يجمع بين جنين حامل للمادة الوراثية واندوسبيرم (سويداء) غني بالنشا والبروتينات والمعادن الأساسية، [2]، وقدرتها الفائقة على التكيف مع مختلف الظروف البيئية والمناخية.

ومع ذلك، يواجه القطاع الزراعي العالمي في القرن الحادي والعشرين تحديات غير مسبوقة تترجمها أزمة شح المياه والتغيرات المناخية المتسارعة؛ حيث تستهلك الزراعة وحدها ما يقارب 70% من إجمالي إمدادات المياه العذبة عالميا [3]وتتوقع التقارير الدولية أن يرتفع العجز المائي العالمي في قطاع الري الزراعي إلى 40% بحلول عام[4]2030، مما يهدد بإنخفاض إنتاجية الحبوب الاستراتيجية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، ولا سيما في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط وشمال إفريقيا كالجزائر [5].

إن مشكلات مياه الري لا تقتصر على الندرة الكمية فحسب، بل تمتد لتشمل التدهور النوعي والفيزيوكيميائي للموارد المائية المتاحة [6] وتبرز هنا معضلتان رئيسيتان:

الأولى هي خطر الملوحة والناقلية الكهربائية المرتفعة(ECw) ، والتي تؤدي إلى رفع الضغط الأسموزي في محلول التربة، مما يعيق قدرة الجذور على امتصاص الماء والعناصر المغذية ويسبب إجهاداً مائياً كيميائياً فوريّاً للنبات ،والمعضلة الثانية هي مشكلة التصوّد (Sodification) الناجمة عن اختلال التوازن الأيوني وارتفاع نسبة امتصاص الصوديوم (SAR> 9) مقارنة بالكالسيوم والمغنيسيوم، حيث يتسبب الصوديوم في تشتيت حبيبات الطين وتدمير البنية الفيزيائية للتربة، مما يخلق طبقة كتيمة تقلل من معدل الرشح والتوصيل الهيدروليكي، خاصة في الأراضي الكلسية (Calcareous soils) [6].

أمام هذه الأزمة المركبة، بات من الضروري البحث عن مصادر مائية غير تقليدية أو استغلال الطاقة الكامنة في المياه الجوفية العميقة ، [7] وتتميز المناطق الصحراوية في الجزائر (مثل حوض العرق الشرقي الكبير ومنطقة وادي ريغ والوادي) بوفرة المياه الارتوازية الساخنة المتدفقة تلقائيا من نظام الخزان الجوفي الألبي المحصور (Continental Intercalaire) خضوعا لضغط هيدروستاتيكي عال دون الحاجة لمضخات آلية ،وتكتسب هذه المياه صفتها الحرارية الكامنة (والتي تتراوح درجة حرارتها

عند مخرج الآبار من 38°م إلى أكثر من 80°م) نتيجة التدرج الحراري الأرضي الطبيعي (Geothermal Gradient)في الأعماق السحيقة التي تتجاوز 1500 متر[7].

وعند دراسة الخصائص الفيزيائية والديناميكية لهذه المياه الارتوازية بعد ضبطها وتبريدها إلى درجات حرارة مثالية (25°م – 30°م)، يتضح امتلاكها لمنظومة فريدة من الفوائد الفيزيولوجية والترابية، فمن جهة وعلى مستوى التربة، تعمل هذه المياه على خفض اللزوجة الكينماتيكية للماء (Dynamic Viscosity)، مما يسهل تغلغله وانسيابه داخل المسامات الفراغية، وبالتالي تحسين التوصيل الهيدروليكي والنفاذية وغسل الأملاح بكفاءة من نطاق الجذور، فضلا عن رفع السعة الحرارية النوعية للتربة وحماية المحيط الجذري من التذبذبات الحرارية الصحراوية الحادة ، [8]ومن جهة أخرى وعلى مستوى السلامة البيولوجية، تخرج هذه المياه بحالة تعقيم بيولوجي كاملة نتيجة الضغط الحراري العالي في باطن الأرض، مما يجعلها خالية تماما من الفطريات وبكتيريا القولون والممرضات النباتية السطحية، مما يوفر بيئة ري نظيفة تحمي البادرات من أمراض موت البادرات[9](Damping-off)

أما من الناحية الفيزيولوجية الزراعية، فتتجلى الفائدة القصوى لاستغلال المصدر الحراري المائي في تكنولوجيا التهيئة الحرارية المائية المبكرة للبذور إن ري أو معالجة بذور القمح والشعير بهذه المياه الدافئة المعتدلة يمنحها طاقة تنشيط حرارية تسرّع الفعاليات الحيوية والأنزيمية داخل البذرة الجافة[10]، حيث تفعّل أنزيم الألفا–أميلاز (α-amylase) المسؤول عن تحلل النشا في الأندوسبيرم وتحويله إلى سكريات بسيطة تتدفق مباشرة لتغذية الجنين النامي[11].

ينعكس هذا النشاط الأنزيمي المبكر على كسر السكون الفسيولوجي للبذور، محققاً إنباتاً مبكراً، متجانساً، ومرتفعاً في "دليل الحيوية (Vigor Index) "[12]، كما يؤدي إلى تغيرات تشريحية خلوية معنوية للغاية ($p < 0.05$) على مستوى الأنسجة، إذ تدعم مرونة الجدران الخلوية وتضاعف انقسام الخلايا واستطالتها، مما يزيد من سمك نسيج الورقة والمساحة السطحية الفعالة، وهو ما يمثل استجابة "هيكلية تكيفية" ترفع من كفاءة التمثيل الضوئي ومعدل الاستيعاب الصافي للمادة الجافة وتراكم الكتلة الحيوية للمحصول حتى تحت ظروف الإجهاد البيئي المتغيرة[13].

تضع هذه الدراسة هدفاً عاماً يتمثل في: تقييم أثر استخدام المياه الارتوازية (بعد المعالجة الحرارية) كوسط مائي واستراتيجي لتحسين إنتاجية الحبوب وتجاوز قيود التربة والمياه في المناطق الصحراوية.

وبناءً على ذلك، تتمحور إشكالية هذه الدراسة حول: "كيف تؤثر المياه الارتوازية الساخنة المبردة على إنبات ونمو محاصيل الحبوب (القمح والشعير) في ظل ظروف الإجهاد البيئي؟

حيث تضمنت هذه المذكرة إلى جزأين أساسيين:

الجزء النظري: ويشمل فصلين:

- ✓ **الفصل الأول:** محـــــاصيل الحبـــوب وانباتها (القمح والشعير)
- ✓ **الفصل الثاني:** ميـــــاه الري

الجزء التطبيقي: ويشمل فصلين:

- ✓ **الفصل الثالث:** الأساليب والطرق
- ✓ **الفصل الرابع:** النتائج والمناقشة

الجزء النظري

الفصل الأول:

محاصيل الحبوب

وانباتها: القمح و الشعير

تعرف محاصيل الحبوب بأنها بذور أو حبوب صالحة للأكل تنتمي إلى فصيلة النجيليات (Poaceae)، وهي فصيلة واسعة وكبيرة من النباتات الزهرية أحادية الفلقة التي تكتسب أهمية اقتصادية قصوى كونها المصدر الرئيسي لغالبية الكتلة الحيوية المنتجة في القطاع الزراعي[1, 2]، وتستمد هذه المحاصيل مكانتها المرموقة من انتشارها الواسع في النظم الزراعية الدولية وتحقيقها للأمن الغذائي العالمي، حيث تضم أكثر المحاصيل قيمة كالقـــمح والأرز والذرة، بالإضافة إلى الشعير والذرة الرفيعة وأعشاب المراعي وقصب السكر كما موضح في **الوثيقة (1)**، وتُصنف كـــ "محاصيل أساسية" لقدرتها على توفير طاقة غذائية عالمية تفوق أي نوع آخر [1, 2]، ومن الناحية التركيبية، تشترك هذه الحبوب في بنية موحدة تتكون من الجنين (Embryo) الحامل للمادة الوراثية، والاندوسبيرم (Endosperm) الغني بحبيبات النشا الذي يمد النبتة بالطاقة اللازمة لبدء عملية التمثيل الضوئي[3]. وتتجلى الأهمية الاستراتيجية لهذه المحاصيل في قيمتها الغذائية المتكاملة؛ فهي المورد الأساسي للكربوهيدرات (النشا)، والبروتينات كالغلوتين في القمح والشعير، والفيتامينات (خاصة مجموعة B) ، والمعادن كالفوسفور والحديد[3]. وبالإضافة إلى ذلك، تتميز بمزايا اقتصادية هامة تشمل انخفاض تكاليف الإنتاج، وسهولة النقل، والقدرة العالية على التخزين الطويل دون تلف في الظروف الجافة[4].

الوثيقة (1): الأصناف الرئيسية لمجموع الحبوب النجيلية

I. الشعير

يعد الشعير *(Hordeum vulgare L.)* واحداً من أقدم وأهم المحاصيل الحبوبية عالمياً، حيث اعتمدة زراعياً قبل حوالي 10,000 عام[5]في منطقة الهلال الخصيب بالشرق الأوسط ومناطق من وسط آسيا[6]، تزامناً مع استئناس القمح والبقوليات والمواشي [7]، ويُصنف نبات الشعير الموضح في **الوثيقة (2)** كأكثر أنواع الحبوب تكيفاً على الإطلاق[8]، لقدرته العالية على النمو في مختلف الظروف المناخية والجغرافية القاسية، مما جعله مصدراً غذائياً رئيسياً في دول الهيمالايا وإثيوبيا والمغرب العربي[9]، ومن

الناحية التصنيفية، ينتمي الشعير إلى قبيلة الشعيرية (Triticeae) التابعة لفصيلة النجيليات(Poaceae) ، وتتميز هذه المجموعة بنورات سنبلية وعدد كروموسومي أساسي (x = 7) ، وقد شهدت عملية تدجينه تغيرات مرفولوجية جينية جوهرية ميزته عن سلفه البري(H. vulgare subsp. spontaneum) ، كان أبرزها ظهور محور سنبلة غير هش (Non-brittle rachis) يمنع تناثر الحبوب عند النضج، والتحول من السنبلة ثنائية الصفوف إلى السنبلة سداسية الصفوف كما في صنف (H. vulgare subsp. vulgare)، بالإضافة إلى بروز الحبوب العارية التي سهلت استخدامه في التغذية البشرية[10].

الوثيقة (2): نبات الشعير

1.I. بنية بذور الشعير

تتميز البذور بتركيب مورفولوجي وتشريحي دقيق يجمع بين الأغلفة الواقية والمخزون الغذائي[11]، حيث تتكامل هذه الأجزاء لضمان حماية الجنين ودعم نموه الأولي كما توضحها **الوثيقة (3)**، ويمكن تفصيل هذه البنية من خلال الجوانب التالية:

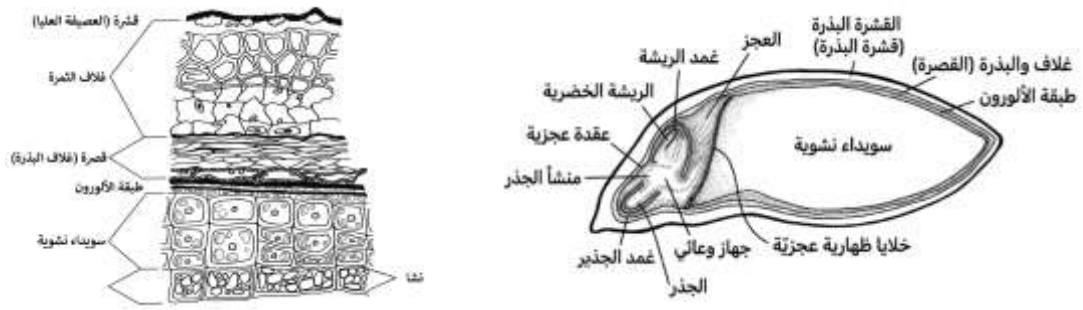
1. **الوصف المرفولوجي :** تتخذ حبة الشعير شكلاً مغزلياً (Fusiform)، حيث تظهر سميكة في منطقة المركز ومستدقة نحو الطرفين. وتتألف بنيتها الظاهرية من ثمرة من نوع "البرة" (Caryopsis) يحيط بها غلاف خارجي واقٍ يُعرف بالقشرة (Husk)[12].

هذه القشرة تتكون تركيبياً من اندماج العصيفة (Lemma) والأطبة (Palea)، ومن الناحية التصنيفية، يتمايز مظهر الحبة عند الحصاد إلى نمطين أساسيين:

- **الشعير المغلف (Hulled Barley):** وفيه تظل الأغلفة الزهرية (العصيفة والأطبة) ملتصقة بشدة بجدار الثمرة نتيجة إفراز مواد صمغية أثناء النضج[13].

- **الشعير العاري (Hulless / Naked Barley):** وهو النمط الذي تنفصل فيه الثمرة بحرية عن الأغلفة عند الدراس، ويُعد هذا النوع مفضلاً في الصناعات الغذائية الموجهة للاستهلاك البشري[14]

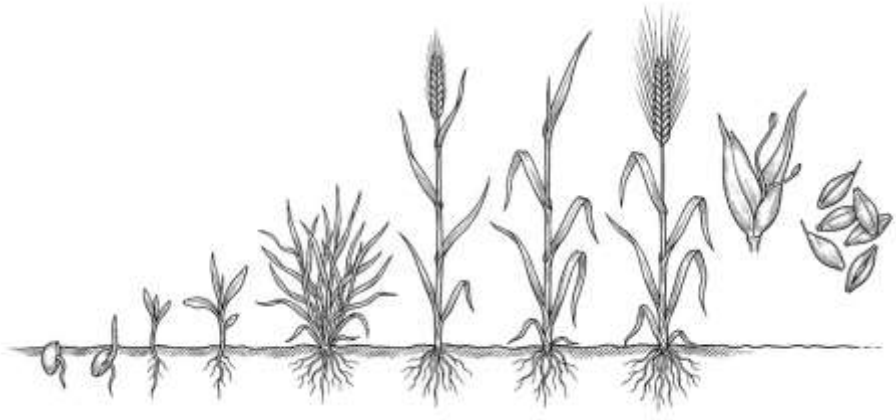
2. **الوصف التشريحي :** من الناحية الداخلية، تعمل جدران المبيض على تكوين الغلاف الثمري (Pericarp)الذي يمثل غطاءً واقياً للحبة بأكملها، بينما تتمايز الطبقات الخلوية الخارجية المعروفة بالأغلفة لتشكل غلاف البذرة (Seed coat)[15] يغلف المكونات الداخلية طبقة خارجية تسمى الأليرون (Aleurone)، وهي طبقة غنية بالأجسام البروتينية والإنزيمات الضرورية لعملية الهضم داخل الاندوسبيرم، وفي الداخل، يمثل الاندوسبيرم (السويداء) كتلة نشوية مغمورة في مصفوفة بروتينية تعمل كمصدر لغذاء الجنين (Embryo) النامي، والذي يقع بدوره عند طرف اتصال الثمرة من جهتها الظهرية[14]



الوثيقة(3): تشريح حبة الشعير[14]

2.I. مراحل نمو الشعير

تمر عملية نمو وتطور نبات الشعير بسلسلة من المراحل المورفولوجية والفيزيولوجية المتتابعة، تبدأ من لحظة تفعيل الجنين داخل الحبة وصولاً إلى تشكل الأعضاء التكاثرية[16]، تعتمد هذه الخطوات على تنسيق دقيق بين الانقسامات الخلوية في القمم النامية وتمايز الأنسجة المتخصصة لتشكيل المجموعين الجذري والخضري، ويوضح **الوثيقة (4)** المظهر العام للنبات في مراحل نموه الأولى، حيث تظهر بوضوح العلاقة البنيوية بين الساق الرئيسي[17]، الفروع الجانبية(Tillers) الناتجة عن ظاهرة الإشطاء (Tillering) ، ونظام الجذور العرضية التي تبدأ بالتشكل من منطقة التاج.



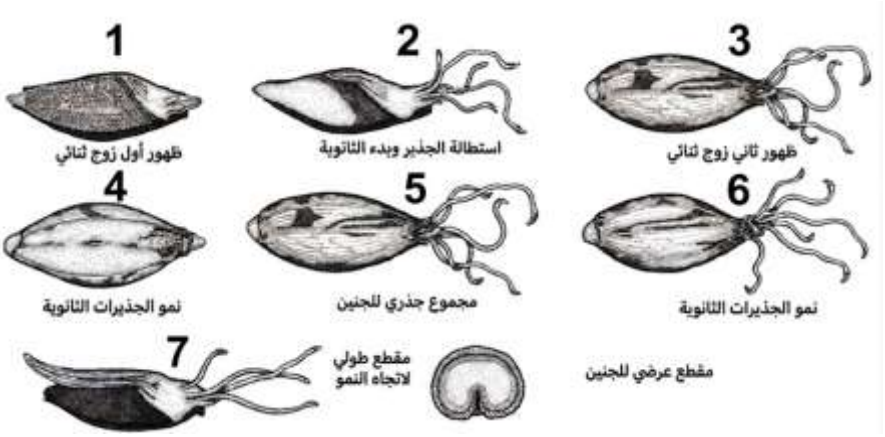
الوثيقة (4): مراحل نمو نبات الشعير

1. مرحلة الإنبات والنشاط الجنيني المبكر

تبدأ عملية الإنبات بامتصاص الحبة للرطوبة التي تنفذ إلى الأنسجة الداخلية عبر منطقة "الميكروبيل" (Micropyle) كما يظهر في **الوثيقة (5)**، مما يؤدي لانتفاخ الجنين وبروز غمد الجذير (Coleorhiza) كأول علامة مورفولوجية للنمو[18-20].

الوثيقة (5): وثيقة توضح المسارات الهيكلية والوظيفية لبدأ عملية انبات الشعير[21]

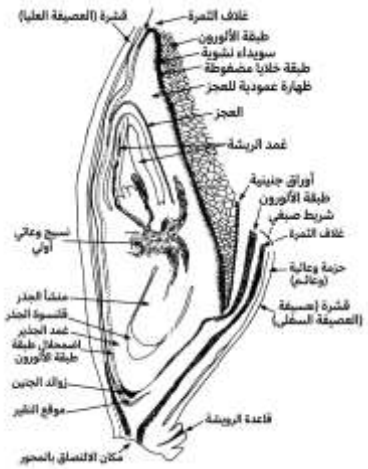
يبرز الجذير الرئيسي أولاً متبوعاً بالجذيرات الجنينية الثانوية (Secondary seminal rootlets) التي تساهم في التثبيت الأولي للبادرة[18]، ويوضح **الوثيقة (6)** تسلسل هذه المراحل المبكرة من الجهة الظهرية وفي مقطع طولي، مبيناً كيفية اختراق الجذيرات لأغلفة الحبة.



الوثيقة (6): تسلسل ظهور الجذير الرئيسي والجذيرات الجنينية الثانوية[21]

2. مرحلة بزوغ غمد الورقة وبدء النمو الخضري

بعد استقرار الجذيرات، يبدأ غمد الورقة (Coleoptile) بالنمو مخترقاً أغلفة الحبة (Testa & Pericarp) باتجاه السطح، حيث يضغط الغمد في الأصناف "المغطاة" على الأندوسبيرم والجهة الظهرية ليخرج بالقرب من القمة [18]، ويوضح **الوثيقة (7)** المقطع الطولي في المحور الجنيني الذي يتكون من مرستيم قمي وثلاث إلى أربع أوراق جنينية محمية داخل الغمد الورقي[23 ,22] ، كما يمتلك هذا الغمد عادةً حزمتين وعائيتين لتغذية الأنسجة النامية، وقد يصل عددهما إلى ست في بعض الأصناف[21].



الوثيقة (7): مقطع طولي يوضح التركيب الداخلي للمحور الجنيني ومرحلة بزوغ غمد الورقة[21]

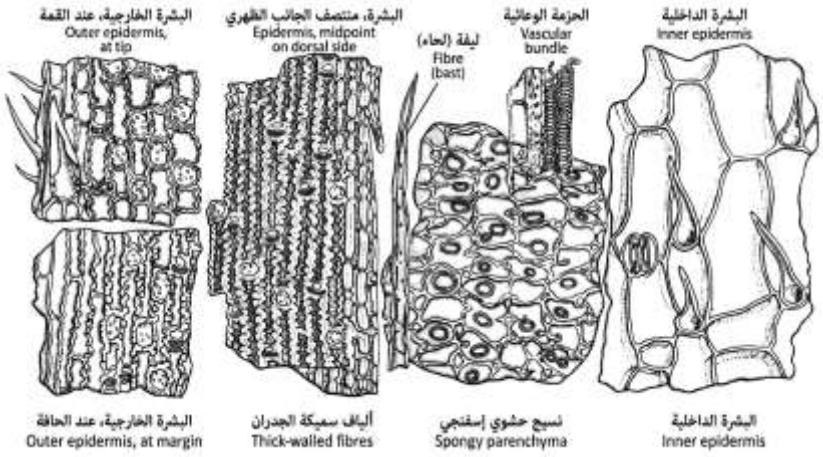
3. مرحلة تطور المجموع الجذري والعرضي

يتطور المجموع الجذري للشعير من منشأين؛ الأول هو الجذور الجنينية (Seminal roots) التي تنشأ من بدايات جذرية (Root initials) موجودة أصلاً في الجنين[24]، حيث تمتلك كل منها قلنسوة جذر (Root cap) خاصة بها لحمايتها أثناء التغلغل في التربة كما هو موضح في **الوثيقة (7)**[21]، أما

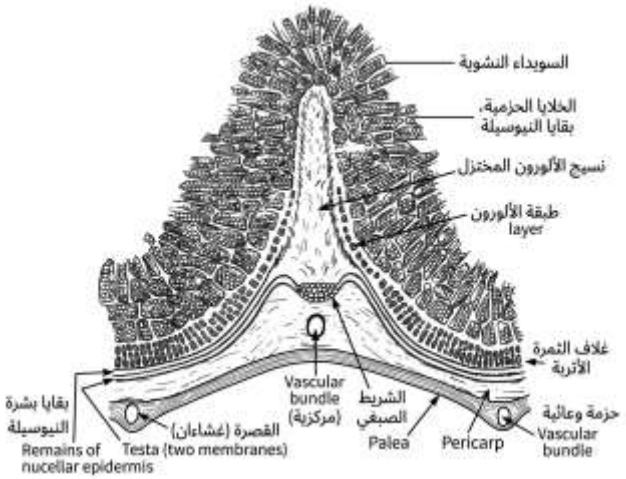
المنشأ الثاني فهو الجذور العرضية (Adventitious roots) التي تنبثق لاحقاً من العقد الساقية الموجودة تحت سطح التربة، وتتميز بكونها أكثر سمكاً وقوة لدعم النبات في مراحل نموه المتقدمة[25].

4. مرحلة التمايز الزهري وتشكل السنبلة

تنتقل القمة النامية (Apex) من الحالة الخضرية إلى الزهرية عند ظهور "الحيود المزدوجة" (Double ridges)، وهي المرحلة التي يبدأ فيها تمايز أجزاء السنبلة[26]، وتتوضع السنيبلات (Spikelets) في مجموعات ثلاثية عند كل عقدة على المحور الرئيسي (Rachis)، حيث يختلف ترتيبها وخصوبتها حسب الصنف؛ ففي الشعير ثنائي الصفوف تكون السنيبلة الوسطى فقط خصبة[27]، بينما تكون الثلاث خصبة في النوع سداسي الصفوف[28]، وتظهر التفاصيل المجهرية الدقيقة لهذه المكونات الزهرية وأغلفتها (Palea & Lemma) بوضوح في الأشكال التوضيحية (8) و (9)



الوثيقة (8): التركيب النسيجي الخلوي للعصيفة (Lemma) والأتبة (Palea) في مرحلة التمايز الزهري[21]



الوثيقة (9): البنية الهيكلية لمكونات السنيبلة وتوزع طبقات الألورون والحزم الوعائية عند تشكل السنبلة.[21]

I.3. العوامل البيئية المؤثرة على النمو

1. العوامل البيئية الترابية

- **تأثير النيتروجين والسماد العضوي:**

يلعب النيتروجين دوراً محورياً في تحديد معدل الاستيعاب الصافي (Net Assimilation Rate) لنبات الشعير، خاصة في المراحل المبكرة التي تسبق اكتمال المساحة الورقية. فبينما أشارت بعض الدراسات القديمة مثل *Gregory* (1926) [29] إلى عدم وجود تأثير مباشر في البداية، أثبتت تجارب *Watson (1947b)* [30] الميدانية أن التسميد النيتروجيني يزيد بشكل فعال من كفاءة النبات التمثيلية. كما تساهم إضافة السماد العضوي في تعزيز هذه المعدلات بشكل ملحوظ في مراحل النمو الأولى.

- **تأثير نقص الفسفور والبوتاسيوم:**

يعد نقص العناصر المعدنية مثل الفسفور والبوتاسيوم من المعيقات الأساسية لنمو الشعير. فقد أظهرت أبحاث Gregory and Baptiste (1936) [31] أن نقص الفوسفور قد لا يظهر تأثيره في الأسابيع الستة الأولى، لكنه يتسبب لاحقاً في انخفاض حاد في معدل الاستيعاب الصافي(NAR) ، وهو ما أيده Watson (1947b). [30] أما البوتاسيوم، فيبدو تأثيره أكثر شمولاً، حيث يؤدي نقصه إلى تراجع كفاءة النبات طوال فترة نموه وملاحظته.

- **دور الشيخوخة النباتية**

يرتبط نقص المغذيات (النيتروجين، الفسفور، البوتاسيوم (N, P, K) ارتباطا وثيقا بسرعة شيخوخة الأوراق وموتها، وحسب Gregory (1937) [32]، فإن التدهور في معدل النمو في المراحل المتأخرة يعود بشكل أساسي إلى تسريع عملية الشيخوخة نتيجة نقص النيتروجين أو الفسفور، ومع ذلك يؤكد النص أن هذه العناصر تؤثر أيضا على كفاءة الأوراق "النشطة وظيفيا"، حتى قبل وصولها لمرحلة الشيخوخة، مما يجعل التوازن الغذائي أمرا ضروريا طوال دورة حياة المحصول[33].

- **دور التربة وتوفر العناصر الغذائية في تشكيل الورقة :**

تعتبر خصوبة التربة ومدى توفر العناصر الغذائية من المحددات الرئيسية لهيكل الورقة وبنائها (Architecture Leaf) ففي ظروف إجهاد العناصر الغذائية، تظهر الأوراق استجابة مورفولوجية واضحة تتمثل في صغر الحجم وزيادة السمك، مما يرفع من معدل كتلة الورقة[34, 35]، ومن الناحية الوراثية، يواجه المربون تحديات في تحسين مساحة الورقة نظراً لـــ انخفاض التوريث (low

heritability)لهذه الصفة، مما يجعل تأثير العوامل البيئية والتربة هو السائد والمتحكم الأول في المظهر النهائي لنمو الأوراق وتطورها في حقول الشعير [36].

2. العوامل البيئية المناخية

- **تأثير درجة الحرارة والتطور الحراري:**

تلعب درجة الحرارة دوراً محورياً في تحديد هيكل ونمو أوراق الشعير، حيث تعد المحرك الأساسي لتباين معدل كتلة الورقة (Leaf Mass per Area) بين الأنواع المختلفة[34, 35] ، ويرتبط هذا التأثير بشكل وثيق بالاستجابات الفسيولوجية للنبات تجاه البيئة، خاصة فيما يتعلق بـــ الفيلوكرون (phyllochron)، الذي يمثل المقياس الزمني الحراري لبزوغ الأوراق المتتالية[37]، وكما أن التباين في مساحة الورقة (Leaf Area) والسمات المورفولوجية، المرتبطة بها يعتمد بشكل كبير على عادات النمو التي تمليها متطلبات الارتباع، (vernalization) والظروف الحرارية المحيطة بالنبات خلال مراحل تطوره الأولى[38].

- **أثر الرطوبة وإجهاد الجفاف على كفاءة الأوراق :**

تؤثر وفرة الرطوبة بشكل مباشر على العلاقة المتبادلة بين مساحة الورقة ووزنها الجاف، ففي حالات إجهاد الرطوبة أو الجفاف، يميل نبات الشعير إلى إنتاج أوراق ذات مساحة سطحية أصغر ولكن بكثافة ووزن أعلى، مما يؤدي إلى ارتفاع قيم LMA كوسيلة دفاعية للتكيف مع الظروف القاسية[34]، ولتقييم أداء المحصول في ظل هذه الظروف، يتم الاعتماد على دليل مساحة الورقة (Leaf Area Index)وربطه بـــ كفاءة استخدام الإشعاع(Radiation Use Efficiency) ، خاصة عند دراسة استجابة الشعير لإجهاد الجفاف وتأثير ذلك على تراكم الكتلة الحيوية والمحصول النهائي[39].

- **تأثير الرياح**

تعتبر الرياح عاملاً بيئياً مزدوج التأثير على نبات الشعير؛ فمن الناحية الميكانيكية، تعد المسبب الرئيسي لظاهرة الرقاد(Lodging) ، حيث تؤدي لانحناء أو انكسار السيقان وتعطيل تراكم المادة الجافة، مما يسبب خسائر اقتصادية تصل إلى 30% [40]، وتزداد هذه الخطورة في الحقول ذات النمو الكثيف أو المصابة بمرض "تبقع العين (Eyespot) "[41]، أما فسيولوجياً، وبناءً على معادلة "بنمان–مونتيث " (Penman-Monteith)، فإن زيادة سرعة الرياح تؤدي لانخفاض معدل النتح عبر خفض درجة حرارة الورقة وتقليل عجز ضغط بخار الماء (Vapor Pressure Deficit) [42-44] ومع ذلك، قد تسبب الرياح

القوية تلفاً ميكانيكياً لسطح الورقة، مما يقلل من مقاومة الكيوتيكل (Cuticular resistance) ويزيد من معدلات النتح الليلي[45].

- **الإجهاد المائي وآليات التعافي:**

يؤدي نقص الإمداد المائي إلى انخفاض فوري في معدل الاستجاب الصافي للشعير، وهي نتيجة أكدتها دراسات عديدة مثل Tiver(1942)[46] و Morton and Watson(1948)[47]. ويعزى هذا الانخفاض أساسا إلى انغلاق الثغور التنفسية كاستجابة للذبول لحماية النبات من فقدان الماء. ومن المثير للاهتمام أن هذا التأثير ليس دائما، حيث يمتلك الشعير قدرة على التعافي الكامل واستعادة معدلات نموه الطبيعية بمجرد زوال الجفاف وتوفر الري من جديد.

I.4. الأهمية الغذائية والاقتصادية لنبات الشعير

1. الأهمية الغذائية

تتجلى القيمة الغذائية الاستثنائية للشعير في كونه مخزناً طبيعياً لألياف "البيتا جلوكان" (β-glucan)، والتي أثبتت الدراسات دورها الجوهري في خفض مستويات الكوليسترول في الدم[48, 49] ، وهو ما دفع هيئة الغذاء والدواء الأمريكية (Food and Drug Administration)، للاعتراف رسمياً بقدرته على تقليل مخاطر الإصابة بأمراض القلب والشرايين [50]، وعلاوة على ذلك، تلعب هذه الألياف دوراً حيوياً في تنظيم مستويات السكر في الدم عبر زيادة لزوجة المحتوى المعوي وتأخير عملية الامتصاص بعد الوجبات [51]، وتبرز الأهمية الحيوية لهذا المحصول بشكل جلي في المناطق المرتفعة مثل التبت، حيث يمثل "الشعير العاري" (Hulless) مصدراً رئيساً للطاقة والمغذيات، ويساهم استهلاكه في الحد من المشكلات الصحية المرتبطة بالأنظمة الغذائية القائمة على اللحوم والألبان [52]، في حين تستمر الأبحاث حالياً في استكشاف مكوناته الكيميائية النباتية لتعزيز القيمة الغذائية للمحاصيل المستقبلية [53].

وإلى جانب قيمته الصحية، يتميز الشعير بتكيف بيئي واسع يمتد من قمم الجبال إلى المناطق المدارية، مما يجعله مورداً غذائياً متاحاً في بيئات جغرافية قاسية لا تصلح لزراعة محاصيل أخرى[54]، حيث يتفوق بإنتاجيته العالية على القمح والحبوب الصغيرة في الظروف الصعبة، مشكلاً صمام أمان غذائي للمناطق القاحلة كالشرق الأوسط أو الباردة كمرتفعات الأنديز، وتتجسد هذه المساهمة العالمية في حجم الإنتاج السنوي الذي يتجاوز 143 مليون طن، مما يضع الشعير كعنصر رئيسي في سلة الغذاء العالمية لأقاليم كبرى مثل أوروبا وروسيا والصين [55].

2. الأهمية الاقتصادية:

تتبثق الأهمية الاقتصادية لمحصول الشعير من كونه المحصول الأكثر تحملاً للظروف البيئية القاسية، مما يجعله الخيار الوحيد الممكن زراعته في مناطق لا تصلح لغيره من الحبوب، كالأراضي الواقعة على خطوط العرض الشمالية المتطرفة أو المرتفعات الشاهقة التي تتجاوز 4,000 متر في أمريكا الجنوبية [52, 56, 57]، وهو ما يجعله ركيزة أساسية للأمن الغذائي والمعيشي في تلك المناطق الهامشية. ومن ناحية أخرى، يمثل إنتاج "المالت *(Malt)* "أعلى قيمة مضافة للشعير من الناحية الاقتصادية[58]، نظراً لاعتماد صناعات التقطير والمشروبات كلياً على توفر شعير بجودة محددة، مما يخلق سوقاً عالمية ضخمة تستهلك ملايين الأطنان سنوياً، كما يوفر زراعته كمحصول مزدوج الغرض (للرعي ثم الحصاد) مرونة اقتصادية للمزارعين في مناطق مثل شمال إفريقيا، خاصة في سنوات الجفاف[57].

وإلى جانب ذلك، يمثل الشعير 25% من إجمالي المساحة المحصودة للحبوب في الدول النامية، مما يجعله ركيزة اقتصادية زراعية حيوية لهذه المناطق [54]، حيث يتميز بأن عائده الإنتاجي أقل تقلباً *(Less variable)* مقارنة بالقمح، مما يقلل من المخاطر الاقتصادية على المزارعين [54]، وبناءً عليه، يُعد المحصول الاستراتيجي الأول للمزارعين ذوي الموارد المحدودة الذين يعملون في ظروف مناخية وتربة غير مواتية، لقدرته العالية على الإنتاج في البيئات التي تفشل فيها المحاصيل الأخرى. وبالرغم من تقلص المساحات المزروعة عالمياً، إلا أن زيادة "غلة الهكتار" ساهمت في الحفاظ على نمو الإنتاج الكلي، مما يعزز من قيمته المستدامة[55].

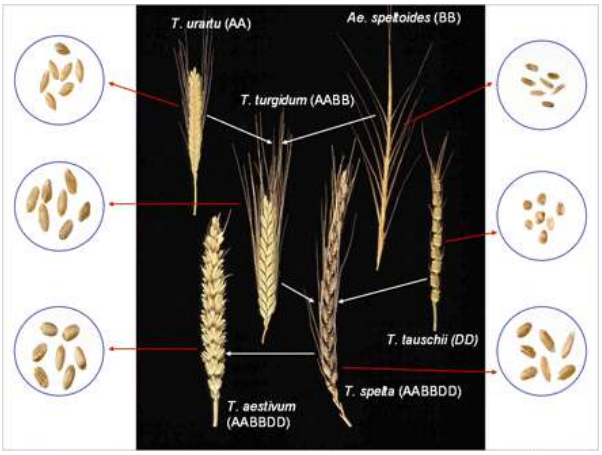
II. القمح

يعد القمح (*Triticum aestivum*) محصولاً استراتيجياً رئيسياً ينتمي إلى جنس *(Triticum)* كما هو موضح في **الوثيقة (10)**، الذي يضم آلاف الأنواع؛ وأبرزها تجارياً قمح الخبز (*T. aestivum*) والقمح الصلب (*T. durum*) [59, 60] وتتجلى مكانته العالمية في إنتاج قُدّر بنحو 797 مليون طن لموسم 2025/2024، حيث تتركز زراعته كمحصول شتوي وربيعي في دول كبرى كالصين وروسيا والولايات المتحدة لضمان الأمن الغذائي العالمي[61]. يعود أصل زراعته الأولى إلى حوالي 10,000 عام في الجنوب الشرقي من تركيا كجزء من "الثورة النيوليتية"، ومنها انتشر إلى الشرق الأدنى حيث ظهر قمح الخبز سداسي المجموعة الكروموسومية لأول مرة قبل 9000 عام، ليمتد لاحقاً عبر الأناضول إلى أوروبا والصين وآسيا الوسطى [62-65]

الوثيقة (10): نبات القمح[66].

ويصنف القمح بناء على مجموعاته الكروموسومية (الجينوم) وفقاً لتصنيف كيهارا *(Kihara)* [67] إلى ثلاثة مستويات رئيسية كما توضح **الوثيقة (11):**

- **القمح الثنائي (Diploid)** ويمثله قمح "إينكورن" بمحتوى جيني .(AA)
- **القمح الرباعي (Tetraploid)** ويمثله قمح "إيمر" بمحتوى جيني .(AABB)
- **القمح السداسي (Hexaploid)** وهو قمح الخبز(AABBDD) ، والذي نشأ من تهجين قمح "إيمر" المزروع مع العشب البري (*Triticum tauschii*) [63]

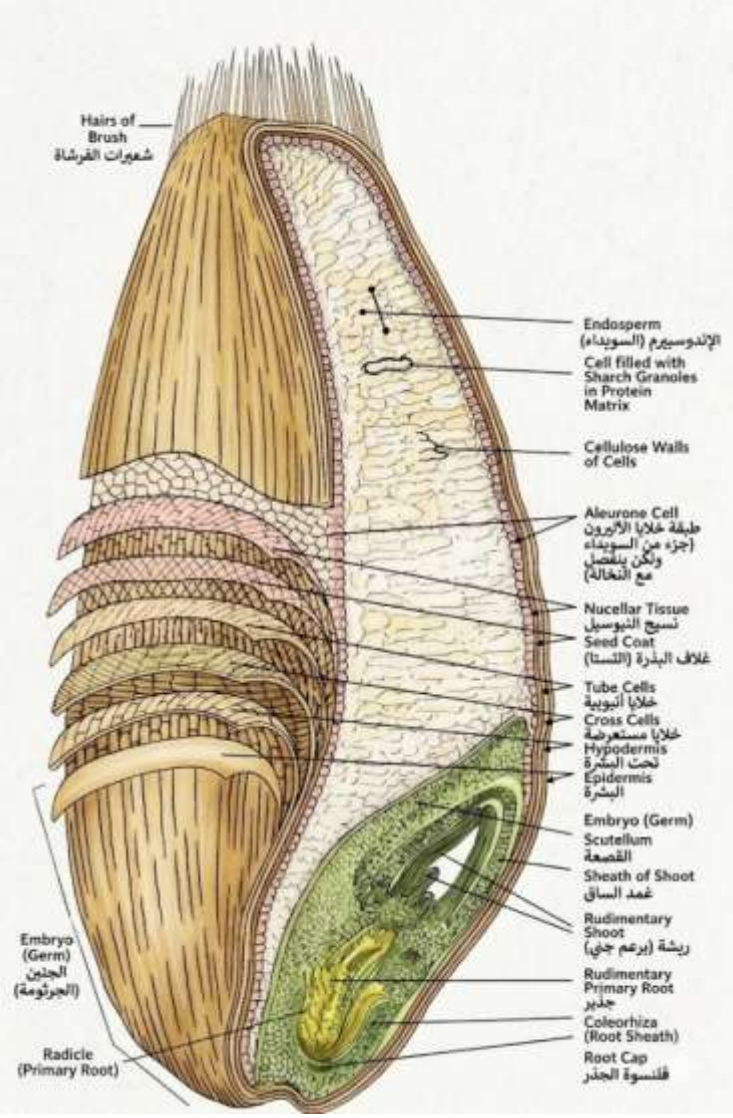


الوثيقة (11): مخطط الأصول الوراثية للقمح [68]

ومن الناحية الوراثية، تشير الدراسات إلى أن المجموعة الجينية (A) مرتبطة بقمح "إينكورن"، والمجموعة (D) مشتقة من(*T. tauschii*) ، بينما يُرجح أن المجموعة (B) فيرجح فسيولوجياً وجزيئيا أنه مشتق من الأنواع البرية التابعة لقسم *Sitopsis* من جنس Aegilops، وتعتبر *(Ae. speltoides)* هي النوع الأقرب لها حالياً[68]

1.II. بنية حبة نبات القمح

تعد بذرة القمح نظاما بيولوجيا متكاملا يجمع بين الأغلفة الواقية المتعددة والمخزون الغذائي الهائل اللازم لدعم الجنين[69]، ويمكن فهم هذه البنية المعقدة بدقة من خلال تحليل **الوثيقة (12)** التوضيحي المفصل لحبة القمح *(Hordeum vulgare L)* الظاهر أدناه، والذي يبين المقاطع الطولية والعرضية للحبة وتوزيع الأجزاء المرفولوجية والتشريحية الرئيسية[70]، حيث تشير الأسهم المترجمة إلى المكونات الدقيقة التي سيتم تفصيلها في الفقرات التالية:



الوثيقة (12): مقطع طولي لبنية حبة القمح [71]

❖ **الوصف المرفولوجي :** من الناحية الظاهرية، يتميز الجانب الظهري لحبة القمح بكونه مستديراً، بينما يحتوي الجانب البطني على أخدود أو ثلم عميق *(Crease)* يمتد على طول المحور الطولي للحبة. عند قمة الحبة (النهاية الميسمية)[72]، توجد حزمة من الشعيرات الدقيقة القصيرة التي تُعرف بـــ شعيرات

الفرشاة (Brush hairs) وتُصنف حبوب القمح الشائعة على أنها حبوب عارية *(Naked)* [73]، وذلك لأن البرة تنفصل بسهولة عن الأغلفة الزهرية (العصيفة والأطبة) عند عملية الدراس، بخلاف الحبوب المغطاة كالأرز ومعظم أنواع الشعير[74]

❖ **الوصف التشريحي :** تشريحيا، يتكون الغلاف الثمري الجاف *(Pericarp)* من أربع طبقات هي: البشرة (*Epidermis*) ، وتحت البشرة(*Hypodermis*) ، والخلايا المستعرضة(*Cross cells*) ، والخلايا الأنبوبية *(Tube cells)* ، وتشكل هذه الطبقات مع غلاف البذرة والنيوسيل (*Nucellus*) وطبقة الأليرون ما يعرف بـــ النخالة (*Bran*) تتكون طبقة الأليرون (*Aleurone layer*) من خلايا مستطيلة كبيرة ذات جدران سميكة[75]، وتشكل بيولوجيا الطبقة الخارجية للإندوسبيرم، إلا أنها تظل ملتصقة بالأغلفة الخارجية أثناء الطحن. أما الإندوسبيرم النشوي (*Starchy endosperm*) فيشكل الكتلة الأكبر من الحبة (حوالي 83%) ويعمل كمخزن للغذاء، ويتكون أساسا من حبيبات النشا المحاطة بالبروتين[76]، ويحتل الجنين (*Embryo*) جزءا صغيرا (حوالي 2–3%)، ويتكون من المحور الجنيني (الريشة والجذير) المرتبطين بـــ "القصعة" (*Scutellum*)التي تعمل كعضو إفراز أو امتصاص للغذاء.[74]

2.II. مراحل نمو القمح

يمر نبات القمح بدورة حياة متكاملة كما هو موضح في **الوثيقة (13)**، وتشمل تسع مراحل أساسية نذكر منها:

الوثيقة **(13):** دورة الحياة لنبات القمح[77]

1. مرحلة الجذور التاجية (Crown Root Stage):

تعد هذه المرحلة نقطة الانطلاق الفعلية لبناء هيكل النبات، تشير الدراسات إلى أن توفير الري في هذه المرحلة المبكرة يعد الأساس الجوهري الذي لا يمكن الاستغناء عنه[78]، والذي يرتكز عليه نجاح

كل المراحل الفسيولوجية اللاحقة لنبات القمح لضمان نمو سليم، حيث أن أي إجهاد مائي مبكر قد يقلص من طول النبات وقوته[79].

2. مرحلة التفريع (Tillering):

في هذه المرحلة يبدأ النبات بتكوين السيقان الجانبية أو "الفروع"، وتؤكد الأبحاث أن التوفر الكافي للمياه والمغذيات في هذه الفترة يؤدي إلى زيادة ملحوظة في عدد الفروع لكل وحدة مساحة[80]، إن الإخفاق في توفير المياه هنا يقلل بشكل مباشر من كثافة المحصول النهائية[81].

3. مرحلة الحبل وظهور السنابل (Booting & Earing):

تمثل هذه المرحلة الانتقال من النمو الخضري إلى النمو التكاثري، تبدأ السنابل في التكون داخل غمد الورقة الأخيرة والأعلى التي تظهر على ساق نبات القمح قبل خروج السنبلة مباشرة (ورقة العلم)[82]، الري في هذه المرحلة يدعم استطالة النبات وزيادة عدد السنيبلات في كل سنبلة[83].

4. مرحلة الإزهار أو طرد السنابل (Anthesis):

هذه المرحلة هي الأكثر حرجاً على الإطلاق؛ فتعرض النبات للإجهاد المائي أثناء الإزهار يؤدي إلى انخفاض حاد وكبير في إنتاجية حبوب القمح[84]، في هذه المرحلة تتحدد انخفاض قدرة البذرة على مقاومة، أو تحمل الإجهاد المائي دون حدوث اختلال وراثي وفيرولوجي لا رجعة فيه في أعضائه التكاثرية، حيث يؤثر العطش سلباً على عملية التلقيح وتكوين الحبوب القمح[85].

❖ **النضج الفسيولوجي:** يُعرف بالوقت الذي تتحول فيه ورقة العلم والسنابل إلى اللون الأصفر[86]

II.3. العوامل البيئية المؤثرة على النمو

II.3.1. العوامل البيئية المناخية

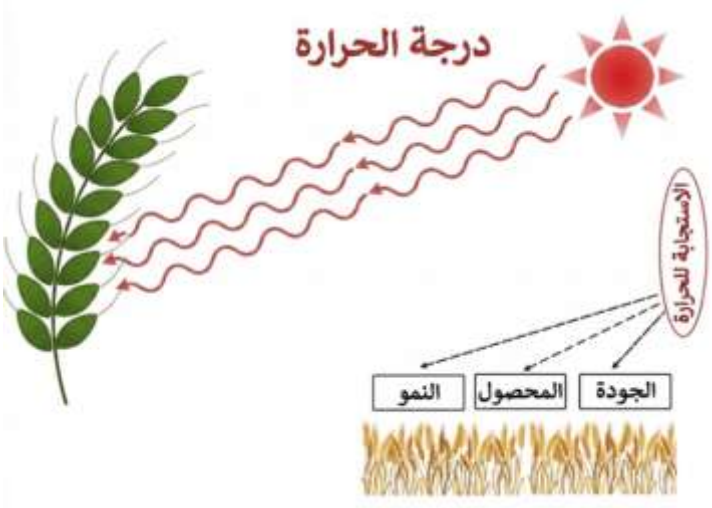
❖ **تأثير ارتفاع درجة الحرارة على نمو القمح**

تؤثر درجة الحرارة المرتفعة على إنتاجية القمح في المناطق الاستوائية، وشبه الاستوائية، والقاحلة، وشبه القاحلة في العالم وتعد الحرارة المرتفعة في المناطق الاستوائية عائقاً حتمياً للقمح خلال مراحل الإنبات والنمو المبكر، بينما تكون مرحلة التكاثر في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط شديدة الحساسية للحرارة[87].

إن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 3–4 درجات مئوية فوق الدرجة المثلى أثناء مرحلة امتلاء الحبوب يؤدي إلى خفض إنتاجية القمح بنسبة تتراوح بين 10–50% في آسيا، وذلك في ظل تقنيات الإنتاج

والأصناف الحالية[88]. كما يتسبب ارتفاع الحرارة في انخفاض غلة الحبوب بنسبة 0.07% لكل درجة مئوية واحدة، وذلك اعتماداً على صنف القمح[89].

علاوة على ذلك، فإن كل درجة زيادة في الحرارة خلال فترة امتلاء الحبوب تؤدي إلى تقليل إنتاج القمح بنسبة 6% عالميا [90, 91]، وبنسبة تتراوح بين 3–17% في جنوب آسيا، بما في ذلك الهند وباكستان[92]. ويعزى ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر إلى الاضطراب في مختلف الوظائف الخلوية والفيزيولوجية والمسارات الأيضية المرتبطة بإنتاجية الحبوب في القمح.



الوثيقة (14): رسم تخطيطي يوضح استجابات القمح وتحمله لدرجات الحرارة العالية[93]

❖ الرطوبة والجفاف

يعتبر التوازن المائي من أهم العوامل المحددة لجودة الحبوب؛ حيث يؤدي إجهاد الجفاف إلى اضطراب التوازن الأوزموزي والهرموني، مما يعزز إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (Reactive Oxygen Species)ويقلل محتوى النشا نتيجة انخفاض نشاط إنزيم (ADP-glucose pyrophosphorylase)[94]. كما يغير الجفاف من توزيع حجم حبيبات النشا وتكوين البروتين، حيث تزداد نسبة الغلياذين إلى الغلوتنين [95] ومن ناحية أخرى، فإن فائض الرطوبة (التغدق) لا يقل خطورة، إذ يستحث ظروفاً لا هوائية في التربة تؤدي إلى نقص الأكسجين(Hypoxia) ، مما يثبط نمو الجذور ويقلل من محتوى النشا والبروتين الكلي في الحبوب، خاصة إذا حدث في مرحلة التزهير[97 ,96].

❖ الرياح

تعد الرياح عاملا بيئيا حاسما يؤثر بشكل مركب على نمو محصول القمح، حيث تتراوح أضرارها بين فقدان المادة الجافة والانخفاض الحاد في غلة الحبوب، والتي قد تصل نسبتها إلى 56% عند التعرض

للإجهاد في مرحلة الربيع [98]. ويرتبط هذا التراجع في الإنتاجية بشكل وثيق بفقدان مساحة الأوراق الحيوية نتيجة الإصابات الكاشطة (Abrasive injuries) وتحطم الخلايا النباتية الناجم عن اصطدام الرمال المحمولة بالرياح، مما يستحث حالة من الإجهاد الرطوبي قصير الأمد نتيجة الطلب المائي المتزايد لتعويض الفقد من الخلايا المحطمة المعرضة لسرعة رياح عالية[99].

ومن الناحية الوظيفية، تؤدي الرياح إلى إرباك العمليات الحيوية داخل النبات؛ حيث تنخفض معدلات التمثيل الضوئي الكلية بنسبة تصل إلى 52%، وهو ما يُعزى جزئياً إلى تثبيط نشاط إنزيم (RUDP carboxylase) تحت ضغط الإجهاد المائي (13)[100]. وفي المقابل، يرتفع معدل التنفس الظلامي للأنسجة الحية المتبقية بنسبة تصل إلى 90% لتوفير الطاقة اللازمة لعمليات الترميم الخلوي. ويؤدي هذا التباين بين انخفاض كفاءة البناء الضوئي وارتفاع معدلات الهدم التنفسي إلى استنزاف الكربوهيدرات الكلية غير الهيكلية[101]، حيث يضطر النبات لتحويل مخزونه من النشا بسرعة إلى سكريات بسيطة لتأمين الطاقة الفورية، مما يؤثر سلباً في نهاية المطاف على تراكم المادة الجافة وتطور الحبوب[102]

❖ **الإضاءة والسطوع الشمسي(Light and Photoperiod)**

تعد الإضاءة المحرك الأساسي لعملية التمثيل الضوئي التي توفر المادة الجافة للحبة. يؤدي انخفاض كثافة الضوء (التظليل) إلى تقليل عدد السنيبلات لكل سنبلة وخفض محتوى الكربوهيدرات غير الهيكلية المخزنة في الساق[103]، والتي يعتمد عليها النبات لتعويض نقص التمثيل الضوئي في المراحل المتأخرة، كما أن القمح نبات "نهار طويل"، حيث تؤثر الفترة الضوئية على توقيت التزهير، فزيادة ساعات الإضاءة تسرع من الانتقال من المرحلة الخضرية إلى التكاثرية، بينما يؤدي نقص الإضاءة أثناء امتلاء الحبوب إلى خفض كفاءة إنزيمات بناء النشا[104]

II.2.3. العوامل البيئية الترابية

❖ **تأثير التربة والمعالجة الحرارية على نمو القمح**

تعتبر التربة مكونا حيويا للنظام البيئي، حيث تؤثر عوامل مثل محتواها من المغذيات ودرجة حرارتها بشكل مباشر على نمو النبات وتطوره والنشاط الميكروبي [105]، وفي المناطق القاحلة وشبه القاحلة، تهدد عوائق التربة مثل البكتيريا الممرضة، وفقر المغذيات، وانخفاض النشاط الحيوي النمو الطبيعي للقمح والمحاصيل الأخرى [91]، وتؤدي المعالجة الحرارية العالية للتربة إلى تغييرات في خصائصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية، حيث تتأثر مسامية التربة وتهويتها ونفاذيتها [106]، كما قد يتسارع معدل تحلل المادة العضوية مما يؤدي إلى تحول وفقدان المغذيات، وهي تغييرات تؤثر بشكل

مباشر على خصوبة التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالماء، مما ينعكس بدوره على نمو المحصول وتطوره [107]، وقد أظهرت الدراسات أن زيادة درجة حرارة التربة تزيد من معدل تنفس التربة وأنشطة الإنزيمات في منطقة جذور قمح الربيع، وكلاهما أظهر علاقة أسية هامة مع درجة حرارة التربة [108]، ومع ذلك، فإن الظروف الحرارية العالية قد تؤدي إلى خلل في العمليات الفسيولوجية والأيضية للمحصول، بما في ذلك التمثيل الضوئي والتنفس، مما قد يؤدي إلى تقييد النمو، وقصر فترة الخصوبة، وانخفاض الإنتاجية[109]

II.4. الأهمية الغذائية والاقتصادية لنبات القمح

❖ الأهمية الاقتصادية

تتجلى الأهمية الاقتصادية للقمح في كونه ثالث أهم محصول من حيث الإنتاج العالمي، حيث بلغ متوسط الإنتاج السنوي حوالي 680 مليون طن خلال الفترة من 2008 إلى 2012، مع إنتاج ما يقرب من 700 مليون طن في عام 2011 حسب المؤشرات الرسمية الصادرة عن قاعدة البيانات الإحصائية لمنظمة الأغذية والزراعة (Food and Agriculture Organization Statistics)، كما يتميز القمح بنطاق زراعة لا مثيل له، يمتد من خط عرض 67 شمالا في إسكندنافيا وروسيا إلى 45 جنوبا في الأرجنتين، بما في ذلك المناطق المرتفعة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية [110]، بالإضافة إلى ذلك، هناك طلب متزايد على القمح في أسواق جديدة خارج مناطق تكيفه المناخي، ويرتبط هذا الطلب المتزايد بالقدرة على صنع منتجات غذائية فريدة وزيادة استهلاكها مع التصنيع والتغريب[111].

❖ الأهمية الغذائية

يعتبر القمح محصولا أساسيا وجوهريا للحضارة الإنسانية، وهو أحد أهم المحاصيل لضمان الأمن الغذائي العالمي [7]، وتتجلى أهميته الغذائية في كونه منتجاً رائعاً للأبحاث الدولية لتربية النباتات الممولة عاما، حيث ساعد النمو الهائل في إنتاجيته من خلال "الثورة الخضراء" في التغلب على المجاعات وإنقاذ حياة الملايين، مما ساهم بشكل كبير في الحد من الجوع والفقر[115-112] ، ويعد القمح حالياً الغذاء الرئيسي الأول في العديد من المناطق النامية، ومن المتوقع أن يزداد الطلب العالمي عليه بنسبة 60% بحلول عام 2050[116]، كما يمثل القمح حالياً أكبر حصة من واردات الأغذية إلى البلدان النامية بنسبة تصل إلى 43% [117]، مما يجعله ركيزة أساسية للتغذية والأمن الغذائي المستقبلي للدول ذات الكثافة السكانية العالية.

الفصل الثاني:

مياه الري

تعرف مياه الري بأنها المورد المائي المخصص لتعويض نقص الأمطار وتلبية الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية، وهي تشكل الركيزة الأساسية للإنتاج في الأراضي المسقية، حيث تستهلك الزراعة وحدها حوالي 70% من إمدادات المياه العالمية[1, 2] ، ولا تقتصر مياه الري على المصادر التقليدية (كالمياه الجوفية والسطحية)، بل تمتد لتشمل مياه الصرف الصحي المعالجة (TWW) التي تبرز كبديل مستدام في المناطق القاحلة وشبه القاحلة لمواجهة ندرة المياه الناجمة عن التغير المناخي والنمو السكاني[3, 4]

I. خصائص مياه الري

تتحدد جودة مياه الري من خلال توازن دقيق بين مجموعة من المؤشرات والمعايير الفيزيوكيميائية، حيث يؤثر أي انحراف في هذه الخصائص مباشرة على استدامة الزراعة ونمو النبات [5, 6]:

I.1. الخصائص الفيزيائية

I.1.1. الملوحة والناقلية الكهربائية (ECw):

تعتبر الناقلية الكهربائية أهم مؤشر لتقييم ملوحة المياه، حيث تعبر عن تركيز الأملاح المنحلة كلياً وتؤثر مباشرة على قدرة النبات على امتصاص الماء [6, 7].

I.1.2.المواد العالقة والمخاطر الميكروبية:

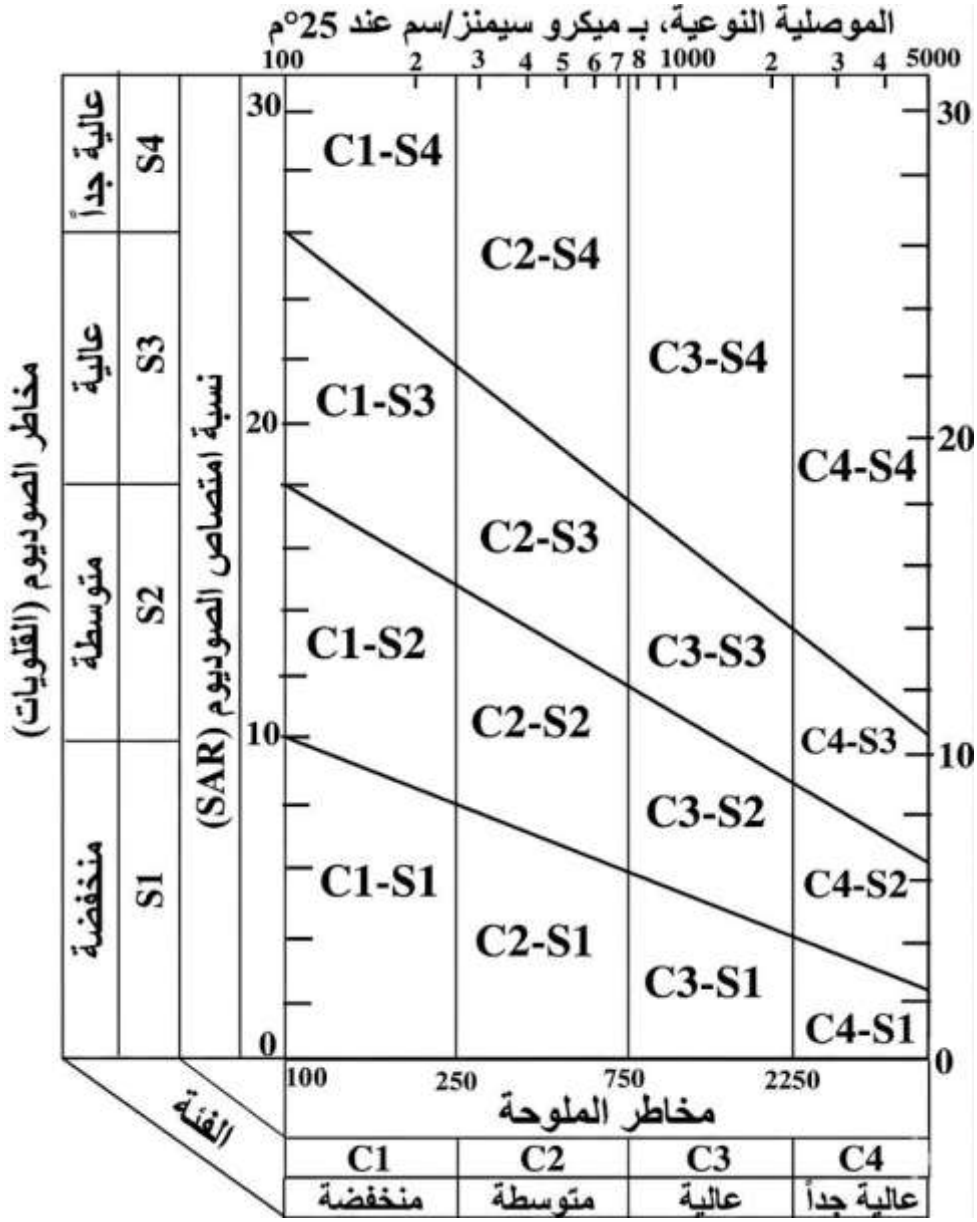
تشمل خصائص المياه أيضاً مستوى العكارة (Turbidity) والشوائب التي قد تتسبب في انسداد أنظمة الري، بالإضافة إلى وجود المسببات المرضية (Pathogens) والقولونيات[8]، وتطرح هذه الخصائص مخاطر صحية وميكروبية جسيمة، خاصة عند ري المحاصيل الورقية والجذرية بمياه غير معالجة بدقة[9].

I.2. الخصائص الكيميائية

I.1.2.التوازن الأيوني ونسبة امتصاص الصوديوم (SAR):

تعتمد جودة المياه على ترتيب القواعد (الكالسيوم > المغنيسيوم > البوتاسيوم > الصوديوم) [10, 11]

ويؤدي الاختلال في هذا الترتيب، خاصة عند تجاوز قيمة الـــ (SAR) للرقم 9، إلى ظهور مشكلة التصود (Sodification)[12]؛ حيث يتسبب ارتفاع الصوديوم مقابل الكالسيوم في تدمير بنية التربة وخلق طبقة كتيمة تمنع تغلغل المياه والجذور (Low Infiltration rate)، وتتضح هذه المعضلة بشكل أكبر في الأراضي الكلسية (Calcareous soils) [14 ,13]ولتقييم وتصنيف جودة مياه الري بناءً على هذه التداخلات الأيونية بين معايير الملوحة والتصود، يُعتمد عالمياً على مخطط المختبر الأمريكي لملوحة التربة (USSL)، كما هو موضح في الوثيقة أدناه:



الوثيقة **(15)**: مخطط التصنيف العالمي لجودة مياه الري (USSL) يوضح العلاقة بين خطر الملوحة (EC) وخطر التصود(SAR) [15].

I.2.2.الحموضة (PH) وتوافر العناصر:

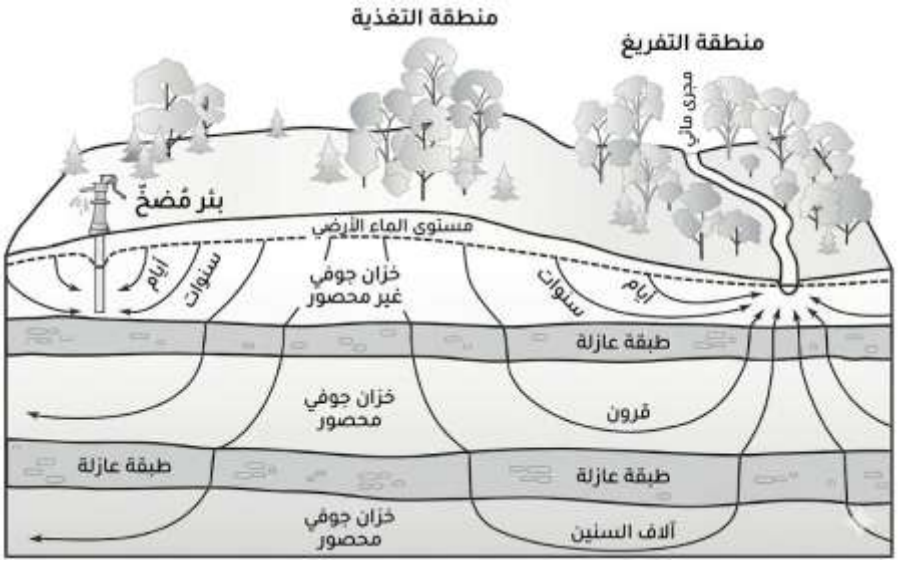
تحدد درجة الحموضة مدى توافر المغذيات، حيث يكون النطاق الأمثل بين 5.5 و6.5 [16]. وتكمن المشكلة في أن الري بمياه معينة قد يحفز عمليات كيميائية مثل "النترتة" للأمونيوم، مما يزيد من تركيز أيونات الهيدروجين ويؤدي إلى حموضة التربة (Soil acidity)[17] ، وهو ما يحد من قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية.[18]

I.3.2.المحتوى المغذي مقابل تراكم العناصر الثقيلة:

رغم أن مياه الري (خاصة المعالجة TWW) توفر مستويات عالية من النيتروجين والفسفور والكربون العضوي، مما يقلل الحاجة للأسمدة الكيميائية[19, 20] إلا أنها ترتبط بمشكلة التراكم السمي للعناصر الثقيلة فـــتجاوز أيونات مثل الكلوريد والبورون والنترات للحدود المسموحة يهدد بانتشار التلوث في السلسلة الغذائية وتجاوز عتبة تحمل النبات[21, 22].

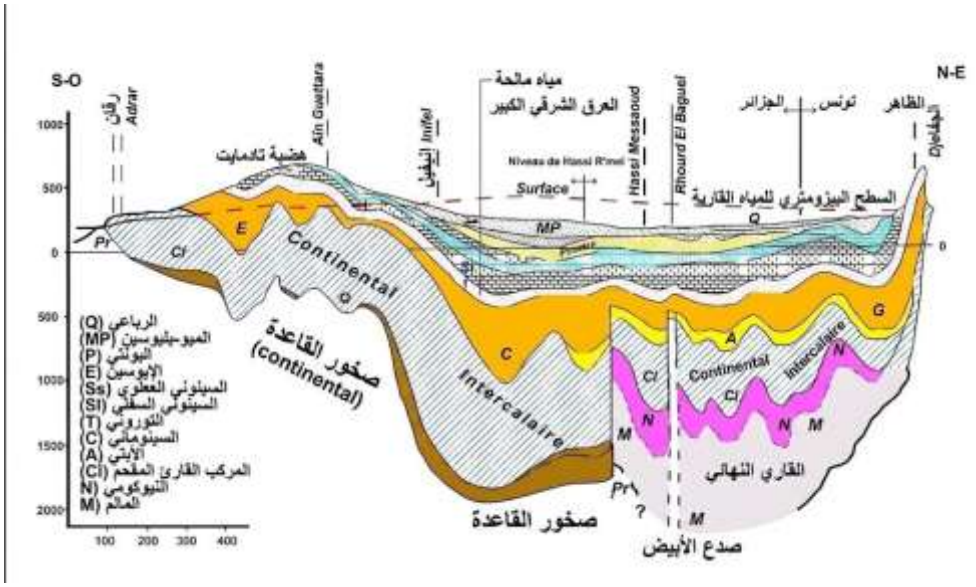
II.2.المياه الارتوازية :

تعرف المياه الارتوازية الساخنة بأنها مياه جوفية عميقة تقع داخل مكمن صخري نفاذ محصور (Confined Aquifer) بين طبقتين جيولوجيتين عازلتين من الطين أو الصلصال، حيث تكون هذه المياه خاضعة لضغط هيدروستاتيكي عالٍ يتيح لها التدفق تلقائياً وبشكل ذاتي فوق سطح الأرض بمجرد اختراق البئر للطبقة الحاصرة دون الحاجة لاستخدام مضخات آلية[23]كما توضح الوثيقة الهيدرولوجي التالي طبيعة توزع الخزانات الجوفية ومسارات تدفق المياه وزمن مكوثها في باطن الأرض:



الوثيقة (16): تمثل مقطعاً جيولوجياً هيدرولوجياً يوضح الفرق بين نوعين من الخزانات الجوفية[24].

ويكتسب هذا التدفق المائي صفته "الحرارية" نتيجة تغلغل الخزان الجوفي في أعماق سحيقة من القشرة الأرضية (تتجاوز غالباً 1000 إلى 1500 متر تحت سطح الأرض)، حيث تمتص المياه الحرارة الكامنة للصخور بفعل التدرج الحراري الأرضي الطبيعي (Geothermal Gradient)، أو نتيجة القرب من صدوع وفوالق تكتونية عميقة، مما يرفع درجة حرارتها عند مخرج الآبار لتتراوح بين 38 درجة مئوية وأكثر من 80 درجة مئوية[25]، كما هو موضح فالوثيقة.



الوثيقة (17): تمثل مقطعاً جيولوجياً هيدرولوجياً طولياً (Cross-section) يمتد من الجنوب الغربي (S-O) في الجزائر (منطقة أدرار ورقّان) مروراً بعين غيتارة، حاسي مسعود، وحوض العرق الشرقي الكبير (Grand Erg Oriental) الذي تقع ضمنه منطقة وادي سوف، وصولاً إلى تونس (Dahar و Djeffara) في الشمال الشرقي (N-E).

II.1.2. خصائص المياه الارتوازية:

1. الخصائص الفيزيائية

تتميز المياه الارتوازية فائقة السخونة بمنظومة من الخصائص الفيزيائية الفريدة التي تشكل هويتها الهيدرولوجية، حيث ترتبط هذه الخصائص أساسا بطول فترة مكوث المياه (Residence time) داخل الطبقات الجيولوجية العميقة، وتخضع هذه المياه لظروف حرارية مرتفعة للغاية داخل خزانها الجوفي[26] مما يكسبها طاقة حرارية عالية تجعلها تتدفق في حالة فائقة السخونة وخلال انتقال هذه المياه من الأعماق نحو السطح، تطرأ عليها تغيرات فيزيائية ديناميكية متمثلة في انخفاض درجات الحرارة تدريجياً، وتؤدي عملية التبريد هذه إلى اختلال في التوازن الفيزيوكيميائي للمحلول المائي، وهو ما يحفز ظواهر ميكانيكية لاحقة تؤثر على كفاءة شبكات التوزيع[27].

2. الخصائص الكيميائية

من الناحية الكيميائية، تتسم هذه المياه بتمعدن مرتفع وملوحة إجمالية (TDS) تفوق في كثير من الأحيان عتبة 1000 ملغ في اللتر الواضح، ويعود هذا الارتفاع الكيميائي في الملوحة إلى الظروف الحرارية العميقة وفترة الاحتجاز الطويلة التي تسرّع من العمليات الكيميائية لإذابة المعادن المكونة للصخور المحيطة بالمكمن مثل الكالسيت والجبس والهاليت[28]، ونتيجة لهذا التفاعل الصخري المستمر، تكتسب المياه غنىً أيونياً استثنائياً يتجلى في ارتفاع تركيزات عناصر الكالسيوم والصوديوم والسلفات والكلوريد، بالإضافة إلى احتوائها على غازات ذائبة نشطة مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S)[29]، وتنعكس هذه الخصائص الكيميائية سلباً على الجانب التقني عند صعود المياه وتبريدها، حيث يؤدي التغير في المحلول إلى حدوث مشاكل ترسيب كيميائي واضحة للكالسيت والسيليكا داخل أنابيب الضخ والتوزيع[30].

II.2.1. أهمية المياه الارتوازية

1. أهمية المياه الارتوازية على الإنبات والنمو الخضري

❖ **تحفيز الإنبات المبكر والنشاط الأنزيمي للبذور**

عند تبريد المياه الارتوازية الساخنة إلى درجات حرارة مثالية25°C _ 30°C فإنها تؤدي إلى تسريع الفعاليات الحيوية داخل البذور الجافة. تعمل هذه الحرارة المعتدلة كمحفز حراري يزيد من طاقة التنشيط

لأنزيم الألفا–أميلاز(∝-amylase) ، المسؤول عن تحلل النشاء وتحويله إلى سكريات بسيطة تمد الجنين بالطاقة اللازمة للإنبات وخروج الجذير والرويشة بشكل مبكر ومجانس، بالإضافة إلى دور الدفء في كسر السكون الفسيولوجي للبذور وتوليد صدمة نمو إيجابية ترفع من "دليل الحيوية.(Vigor Index) "[31].

❖ **تعزيز التطور الخضري والحماية البيولوجية المبكرة**

تتميز المياه الارتوازية العميقة بخروجها من طبقات الأرض الجوفية بحالة تعقيم بيولوجي كاملة نتيجة تعرضها لضغط حراري وهيدروليكي عالٍ في الأعماق، مما يجعلها خالية تماماً من بكتيريا القولون، الفطريات، والممرضات النباتية السطحية، ري البادرات بهذه المياه في أسابيعها الأولى يوفر لها بيئة ري نظيفة تحمي المجموع الخضري والجذري الغض من أمراض "موت البادرات (Damping-off) " وتدعم زيادة المسطح الورقي عبر الإتاحة العالية للمعادن الذائبة طبيعياً في الماء[32].

2. أهمية المياه الارتوازية بالنسبة لتحسين خصائص التربة

❖ **تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة**

- **تحسين التوصيل الهيدروليكي ونفاذية التربة(Hydraulic Conductivity)**

تؤدي حرارة المياه الارتوازية المعتدلة إلى خفض لزوجة الماء الكينماتيكية، (Dynamic Viscosity) هذا الانخفاض في اللزوجة يسهل من حركة تغلغل جزيئات الماء[33]، وانسيابها داخل المسامات الفراغية للتربة، مما يرفع من معدل النفاذية والرشح المتجانس، ويمنع حدوث الجريان السطحي أو تشكل برك مائية فوق التربة الكلسية أو الرملية[34].

- **تنظيم السعة الحرارية والترطيب البنيوي للتربة**

يعمل الري بالمياه الارتوازية الدافئة على رفع السعة الحرارية النوعية للتربة (Soil Thermal Capacity)، مما يحافظ على استقرار حرارة المحيط الجذري ويحميه من التذبذبات الحرارية الحادة بين الليل والنهار في المناخات الصحراوية، هذا الاستقرار الفيزيائي يمنع جفاف المسامات الدقيقة وتشقق التربة المفاجئ، محافظاً على التوازن الهوائي والمائي داخل قطاع الأرض[35].

❖ **تحسين الخصائص الكيميائية للتربة**

- **غسل الأملاح من نطاق الجذور(Leaching Efficiency)**

في الأراضي الرملية ذات النفاذية العالية (مثل منطقة وادي سوف)[36]، يساهم التدفق الوفير والمستمر للمياه الارتوازية المتدفقة تحت ضغط طبيعي في تحسين كفاءة إذابة الأملاح المتراكمة على السطح وغسلها، ومن ثم دفعها كيميائياً بعيداً عن منطقة الجذور (Root Zone) نحو الطبقات الجوفية السفلى، مما يمنع ارتفاع الضغط الأسموزي حول النبات[37].

- **زيادة ذوبانية وإتاحة العناصر الغذائية المعقدة(Nutrient Bioavailability)**

تعمل الطاقة الحرارية الكامنة المستمدة من المياه الارتوازية الدافئة كمذيب كيميائي طبيعي يزيد من حركية وتفكك المركبات المعدنية غير الذائبة في التربة، تساهم هذه الحرارة في كسر الروابط المعقدة للعناصر الكبرى والصغرى المرتبطة بالمركبات الكلسية (مثل الفسفور والحديد)، مما يرفع من تركيزها الذائب وجاهزيتها للامتصاص بواسطة جذور النبات[38].

❖ **تحسين الخصائص البيولوجية للتربة**

- **تحفيز النشاط الأنزيمي للتربة(Soil Enzymatic Activity)**

يوفر الدفء المستمد من المياه الارتوازية طاقة تنشيط حرارية ترفع من الكفاءة الحركية للأنزيمات الحرة المفرزة في الريزوسفير (المحيط الجذري)[39]، وأهمها:

- **أنزيم اليورياز :(Urease)** الذي يتسارع معدل تحليله للأسمدة النيتروجينية وتحويلها إلى أمونيوم جاهز لامتصاص النبات[40].
- **أنزيم الفوسفاتيز :(Phosphatase)** الذي ينشط حرارياً لكسر الروابط الفوسفاتية العضوية المعقدة وتحويلها إلى فوسفات ذائب يسهل امتصاصه.[41]

- **تنشيط الميكروبيوم النافع والفلورا الحيوية(Rhizosphere Microbiome)**

يقع النطاق الحراري للمياه الارتوازية المبردة، جزئياًC°25 _ C°35 ضمن المدى المثالي لنشاط البكتيريا النافعة المحفزة لنمو النبات(PGPR) ، مثل بكتيريا الرايزوبيوم (Rhizobium) المثبتة

للنيتروجين[42]، والبكتيريا المذيبة للفوسفات (PSB) هذا الدفء يشجع تكاثرها الخلوي[43]، وبالمقابل يُحدث إجهاداً حرارياً طفيفاً يثبط نمو الفطريات الممرضة الكامنة في التربة[44].

الجزء العملي

الفصل الثالث:

الوسائل والطرق

تم إجراء هذه الدراسة التجريبية لتقييم مدى فاعلية المعالجة الحرارية المائية (*Hydrothermal treatment*) كبديل إيكولوجي للمعاملات الكيميائية، ودراسة أثرها المباشر على معايير النمو الأولية لمحصولي القمح والشعير.

1.I. الهدف من التجربة

تهدف هذه الدراسة الى تقييم استغلال المياه الارتوازية الساخنة في الري، وبالخصوص مرحلة الانبات عند محصولي القمح والشعير.

2.I. المواد الأدوات المستعملة

أ) **المواد النباتية:** استعملنا في هذه التجربة بذور القمح *Triticum aestivum* والشعير *Hordeum vulgare*

الوثيقة **(18):** بذور القمح والشعير

ب) **الأدوات المستعملة**

✓ **لمحاليل والوسائط:**

- ماء ساخن من منطقة الصحن بوادي سوف.
- ماء بارد جامعة الشهيد حمه الأخضر بالوادي كلية علوم الطبيعة والحياة.

✓ **الأدوات والأجهزة:**

- ميزان حساس (OH AUS).
- مجفف حراري (Étuve).
- أوعية بلاستيكية معقمة.
- ورق ترشيح.

- مسطرة أو أوراق ملمترية.
- **عينات نباتية:** أوراق حديثة من القمح والشعير (عمر 25 يوماً).
- **أدوات القطع:** شفرات حلاقة حادة (Lames بجديدة) لإجراء مقاطع عرضية دقيقة.
- **مواد التثبيت والتلون:** ماء مقطر، ماء جافيل (للتنظيف)، حمض الخل، ومادة الميثيلين الأزرق أو الكارمين الأخضر (لتمييز الأنسجة).
- **أجهزة البصريات:** مجهر ضوئي (Microscope photonique)، شرائح زجاجية (Lames)، وأغطية شرائح (Lamelles).

3.I. خطوات العمل:

تم انجاز هذا العمل من خلال القيام بعدة خطوات، والتي ساعدت في تطبيق فكرة العمل، وهي كما يلي:

1.3.I. التجربة الأولى (مرحلة الانبات ونمو البادره):

مرحلة جمع وتحضير العينات. تم الحصول على العينات الأولية من بذور القمح (*Triticum aestivum*) والشعير (*Hordeum vulgare*) من السوق المحلي بمدينة الوادي، ولضمان دقة النتائج خضعت البذور لعملية انتقاء فيزيائي يدوي دقيق، حيث تم استبعاد الحبوب التالفة والمصابة، والتركيز على العينات السليمة والمتجانسة من حيث الحجم واللون.

بهدف القضاء على الكائنات الحية الدقيقة العالقة وتجنب أي تعفن قد يطرأ خلال فترة التجربة، تم تعقيم البذور المنتقاة باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم (ماء الجافيل) لفترة زمنية محددة، تلاها غسل البذور عدة مرات بالماء المقطر لإزالة أي بقايا كيميائية قد تؤثر على حيوية الجنين.

الوثيقة (19): مرحلة تنقية البذور

دراسة تأثير المعالجة بالمياه الساخنة على الإنبات والنمو

تم إجراء تجربة النمو في بيئة مهيأة بمنطقة الوادي لمحاكاة الظروف المخبرية، حيث استمرت المتابعة لمدة 9 أيام متتالية، وزعت البذور في أوعية استنبات مبطنة بورق ترشيح مبلل بمعدل 25 بذرة، مع اعتماد 4 مجموعات لكل محلول لضمان الموثوقية الإحصائية للنتائج، خضعت العينات لمراقبة دورية دقيقة مع الحفاظ المستمر على رطوبة الوسط لضمان التطور الطبيعي للبادرات، حيث تم سقي كل صحن بـــ 10 مل من الماء يومياً طيلة فترة التجربة، بالتزامن مع الحساب اليومي لعدد البذور المنبتة وغير المنبتة لتقييم كفاءة الإنبات.

الوثيقة **(20):** طريقة توزيع بذور الحبوب على ورق ترشيح مبلل داخل أوعية الاستنبات لتقييم كفاءة الإنبات.

المرحة الثالثة: الصفات المدروسة

1. خصائص الانبات

نسبة المئوية للإنبات(%)

يعبر عنها بالنسبة المئوية للبذور المنتشة من المجموع الكلي[1] وتم حسابها بعد اليوم 10 من الزرع، وقد تمت وفقاً لطريقة [2]

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

حيث:

GP: نسبة الانبات

N: عدد البذرر المزروعة

n: عدد البذور المنبتة

سرعة الانبات [3]:

$$GR = \frac{(G1 * Day1 + G2 * Day2 + \cdots . . Gn * Day *)}{GP} \times 100$$

حيث: Gn عدد البذور النابتة في n.[4]

مؤشر توتر الإنبات *Stress Index Germination (GSI)*

$$GSI = \frac{P.I\ of\ stressed\ seeds}{P.I\ control\ seeds} \times 100$$

حيث P.I تمثل (0.25)nd8 + (0.5)nd6 + (0.75)nd4 + (1)nd2 و nd2 تمثل *البذور المنبتة في اليوم الثاني*.[4]

د- مؤشر توتر المادة الجافة *(Dry Matter Stressed Index (DMSI)*

$$DMSI = (\frac{Dry\ matter\ of\ stressed\ plant}{Dry\ matter\ of\ control\ plants}) \times 100$$

حيث *Dry matter of stressed plant* تمثل المادة الجافة للبادرة.[4]

ملاحظة: نبات القمح في هذه التجربة لم يتّبع إستراتيجية تغيير توزيع الكتلة الحيوية لعدم التعرّض للظروف البيئية المطبقة.

هـــ- مؤشر توتر المياه المستعملة:

$$STI = \frac{Seedling\ Dry\ Weight\ (Root + Shoot)atx}{Seedling\ Dry\ Weight\ (Root + Shoot)atc}$$

حيث Seedling Dry Weight تمثل طول البادر[5].

عدد الأيام من بداية الإنبات[6].

مؤشر قوة الإنبات: يحسب بالقانون التالي[7]:

$$\frac{(\text{طول البادرة} \times \text{نسبة الانبات النهائية})}{100}$$

2. القياسات المرفولوجية (Morphological Measurements):

لغرض إجراء القياسات المرفولوجية والكتلية، تم انتقاء 15 بادرة منبتة من كل مجموعة بشكل منتظم وعقب انتهاء فترة النمو المحددة بـــ 10 أيام، نُقلت العينات إلى مخبر الكلية لاستكمال الجانب

التحليلي وإجراء القياسات الحيوية والوزنية باستخدام موازين وأجهزة مخبرية دقيقة، وذلك للحصول على بيانات كمية موثوقة حول تأثير المعالجة الحرارية المائية على الكتلة الحيوية للقمح والشعير، ولتقييم هذا التأثير على تطور البادرات، أُجريت قياسات دقيقة للأبعاد الطولية باستخدام الورقة المليمترية لضمان الدقة في رصد المعايير التالية:

1. الأبعاد الطولية للبادرات

- طول الجذير: قياس المسافة من قاعدة البذرة إلى نهاية القمة النامية للجذر.
- طول السويقة: قياس مدى استطالة الجزء الهوائي الأولي.
- الطول الكلي: ويمثل مجموع طولي السويقة والجذير للبادرة.

الوثيقة (21): طريقة قياس الأبعاد الطولية للبادرة (طول الجذير والسويقة) باستخدام الورق المليمتري.

2. تقدير الكتلة الحيوية والمادة الجافة

- تم قياس الوزن الرطب (Poids frais) لجميع البادرات باستخدام الميزان الحساس، ثم وضعت العينات في الفرن التجفيفي (Étuve) عند درجة حرارة 75Cثابتة لمدة 24 ساعة، وبعد مرور هذه المده من الزمن تم قياس الوزن الجاف للبادرات

الوثيقة (22): تمثل (الميزان الحساس والفرن الجاف)

- تم إعادة قياس الوزن الجاف بعد مرور ساعتين من إعادة البادرات المجففة للتأكد من الوصول إلى "الثبات الوزني" الذي يضمن الجفاف التام للعينات

الوثيقة (23): أظرفة عينات القمح والشعير المجهزة لمرحلة التجفيف الحراري.

I.2.3. التجربة الثانية (مرحلة الخضرية):

اعتمدت الدراسة على نهج تكاملي يربط بين الملاحظة الميدانية والتحليل الفسيولوجي والتشريحي الدقيق، وفق المراحل التالية:

المرحلة الأولى: التجربة الميدانية (المنزلية)

تم إرساء نظام تجريبي لمحاكاة ظروف الري بالماء الساخن في بيئة نصف متحكم فيها، حيث استُخدمت 8 أوعية بلاستيكية مثقوبة من الأسفل لضمان الصرف، تحتوي كل منها على 2 كغ من التربة الرملية المدعمة بـــ 100 غ من المادة العضوية (فضلات الحيوانات) لتحسين خصوبتها، اعتمد تصميم

التجربة على 4 تكرارات لكل معاملة (الري بماء بارد كشاهد، والري بماء ساخن كمعاملة حرارية) لضمان الصدق الإحصائي للنتائج، حيث طُبق بروتوكول ري منتظم بمعدل 50 مل لكل وعاء يوماً بعد يوم، واستمرت هذه المرحلة لمدة 25 يوماً مع التركيز على تتبع نمو الأوراق وتقييم التطور المرفولوجي للنبات.

الوثيقة (24): توضح خطوات عملية الزراعة.

القياسات الميدانية:

بعد انقضاء فترة حضانة ونمو دامت 25 يوماً من تاريخ الزراعة، خضعت العينات النباتية (القمح والشعير) لسلسلة من القياسات المرفولوجية الميدانية لتقييم التطور الخضري لكل معاملة:

- **عدد الأوراق:** تم حساب عدد الأوراق الوظيفية المنبثقة لكل نبات في كل حافظة
- **طول الورقي:** استُخدمت مسطرة قياس مدرجة لقياس الطول النهائي للأوراق.

المرحلة الثانية: الدراسة المخبارية:

عقب انتهاء الفترة الميدانية، بدأت مرحلة جمع العينات لإجراء التحاليل المخبرية، حيث تم أخذ الورقة الرابعة من كل نبتة في جميع المجموعات (التكرارات) مع الحفاظ على ترقيم الأواني لضمان تتبع مصدر كل عينة بدقة، وللحفاظ على الحالة الفسيولوجية للأوراق وتفادي جفافها أو فقدان محتواها المائي، وُضعت العينات مباشرة في أكياس بلاستيكية محكمة الإغلاق، ثم نُقلت على الفور إلى مخبر الكلية لمباشرة القياسات والتحاليل اللازمة.

- **المساحة الورقية:** تم استخدام جهاز مسح الليزر للحصول على قياسات دقيقة لمساحة نصل الورقة، مما سمح بتقييم تأثير الحرارة على الكفاءة الضوئية.

ملاحظة: عدم استجابة نبات القمح لتعرضه الفعلي للمؤثرات البيئية المفروضة في التجربة

الوثيقة (25): آلية قياس مساحة المسطح الورقي لنباتات الحبوب باستخدام جهاز قياس مساحة الأوراق الرقمي (Leaf Area Meter).

- **المحتوى المائي النسبي:**

يمثل المحتوى المائي النسبي (RWC) مؤشر فسيولوجي دقيق يقيس حالة توازن الماء في أنسجة النبات (عادة الأوراق)، معبراً عنه كنسبة مئوية من الماء وهو يمثل القدرة العظمى للمحتوى المائي للخلية النباتية، يُعد مقياساً حيوياً للإجهاد المائي، حيث تبلغ قيمته 90–95% في الأوراق السليمة، وتنخفض إلى 50% أو أقل عند الجفاف.

تم تقدير المحتوى المائي النسبي حسب الطريقة الموصوفة من طرف Barrs and Weatherley (1962).

- **التحليل الوزني:** تم تقدير الحالة الهيدروليكية للبادرات (المحتوى المائي النسبي) بتطبيق بروتوكول الأوزان الثلاثة (الوزن الطري، الوزن الممتلئ بعد 24 ساعة من الغمر في الماء المقطر، والوزن الجاف بعد 5 ساعات في المجفف الحراري 45°C)، وهي طريقة معدلة عن البروتوكول الموصوف من طرف Barrs and Weatherley (1962).

الوثيقة (26): الخطوات التجريبية والمخبرية لتقدير الأوزان الثلاثية للأوراق

يتم حساب RWC باستخدام المعادلة التالية[8]:

$$RWC\ (\%) = \frac{FM - DM}{TM - DM} \times 100$$

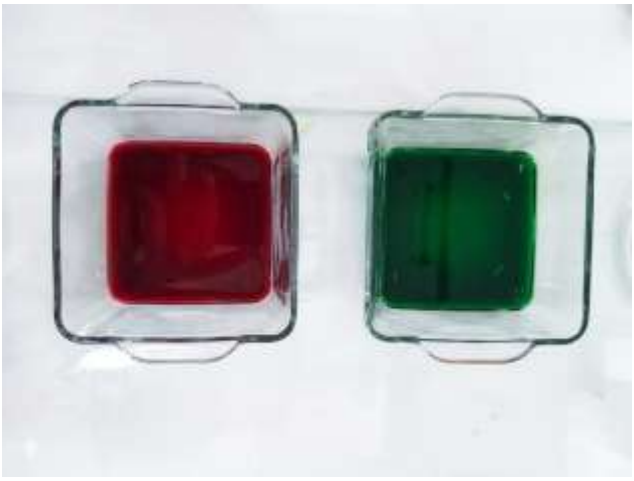
ملاحظة: عدم تفاعل نبات القمح مع الظروف البيئية المحيطة به، فقد استمر النمو دون أي تغيير في آلية تقسيم الكتلة الحيوية بين أجزائه".

3. **المرحلة الثالثة: الدراسة التشريحية (Anatomie)**

- **تحضير المقاطع:** تم اجراء مقاطع جانبية على مستوى اوراق النبات وذلك باستخدام شفرات حادة واعتماد المقاطع الرقيقة في عملية التلوين المزدوج [10]...

الوثيقة (27): طريقة قطع وإعداد الأجزاء الورقية المخبرية

تُغسل المقاطع النباتية جيداً بالماء المقطر لإزالة آثار ماء جافيل، ثم توضع في حمض الخل المخفف لبضع دقائق لتعديل الأنسجة وتهيئتها للتلوين، لتُنقل بعد ذلك إلى صبغة أخضر الميثيل لتمييز الأنسجة الناقلة كالخشب واللحاء عن الأنسجة الحشوية والبشرة. وفي النهاية، تُوضع المقاطع الملونة على شريحة زجاجية في قطرة من الماء أو الغليسيرين وتُغطى بساترة، ليتم فحصها تحت المجهر الضوئي الرقمي المجهز بكاميرا ومراقب عن طريق الحاسوب بتكبيرات مختلفة، (40 ×, 100 ×, 400 ×)حيث أُخذت القياسات باستخدام برنامج المجهر الضوئي الرقمي (Système de Microscopie Optique Numérique).



الوثيقة (28): الأوساط الصبغية المستخدمة في بروتوكول التلوين المضاعف للمقاطع العرضية النباتية.

الوثيقة (29): برنامج المجهر الضوئي الرقمي (Système de Microscopie Optique Numérique) لفحص المقاطع التشريحية وأخذ القياسات الخلوية.

1. المعايير التشريحية المدروسة:

- تم قياس ابعاد خلايا الانسجة المختلفة بمقطع الورقة (سمك الخلية، الحزمة الوعائية، مساحة الخلية وقطر الورقة ككل) بواسطة برنامج المجهر الضوئي الرقمي (Système de Microscopie Optique Numérique).

الفصل الرابع:

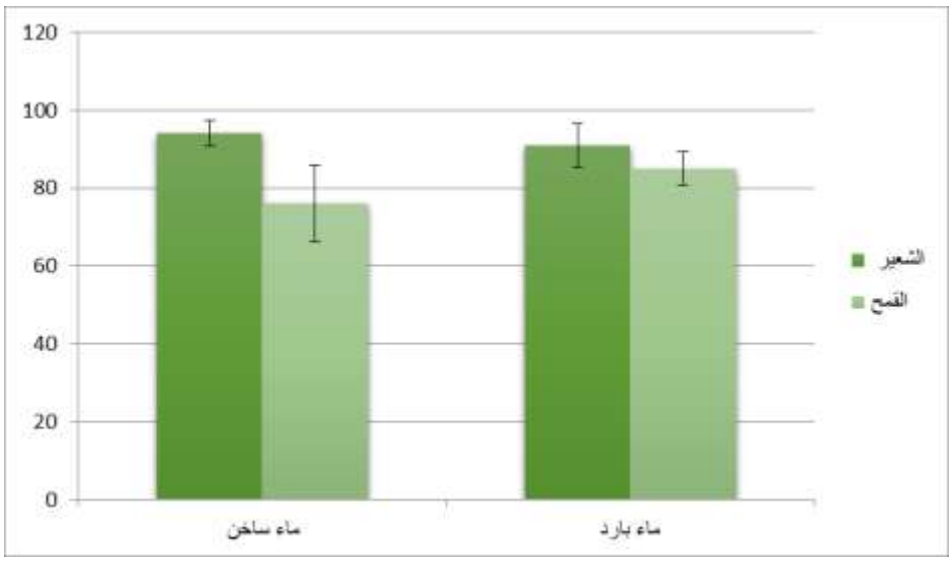
النتائج والمناقشة

I.تحليل النتائج :

1. النسبة المئوية للإنبات

تمثّل الوثيقة تغيّرات النسبة المئوية لإنبات بذور محصلي القمح والشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة.

حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في النسبة المئوية لإنبات بذور الشعير بين مصدر مياه الري الساخن والبارد؛ حيث بلغت هذه النسبة 94% عند الري بمياه مصدر الساخن، بالمقابل قُدّرت بـــ 91% لمياه المصدر البارد. كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً لدى بذور القمح المسقية مياه البارد التي حققت نسبة إنبات بلغت 85%، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء الساخن نسبة 76%، غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً لكلا المحصولين، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p > 0.05$)، وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في نسبة إنبات بذور القمح، أو الارتفاع والتقارب المسجل في نسبة إنبات بذور الشعير، لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.

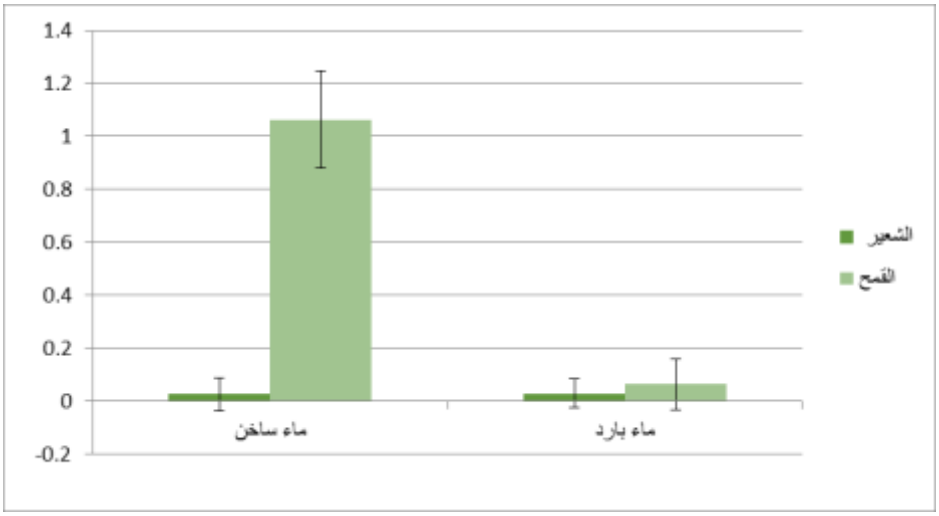


الوثيقة **(30)**: تغيّرات النسبة المئوية لإنبات بذور محصلي القمح والشعير

2. سرعة الانبات:

تمثل الوثيقة تغيرات سرعة انبات بذور محصلي القمح والشعير تبعا لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في سرعة الانبات عند بذور الشعير بين مصدر مياه الري البارد والساخن حيث بلغت سرعته0.61 بذرة /اليوم عند الري بالمياه مصدر الساخن بالمقابل قدرت

ب 0.67 بذرة /اليوم لمياه لمصدر البارد، كما نلاحظ زيادة معتبرة في سرعة الانبات لدى بذور القمح المسقية مياه المصدر الساخن حيث كانت 1.36 بذرة /اليوم في حين حققت المعاملة المروية بمياه المصدر البارد سرعة انبات 1.21بذرة /اليوم. غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً قدرت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد (p>0.05). وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في سرعة الإنبات لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.



الوثيقة (31): تغيرات سرعة انبات بذور محصلي القمح والشعير

3. مؤشر قوة الانبات:

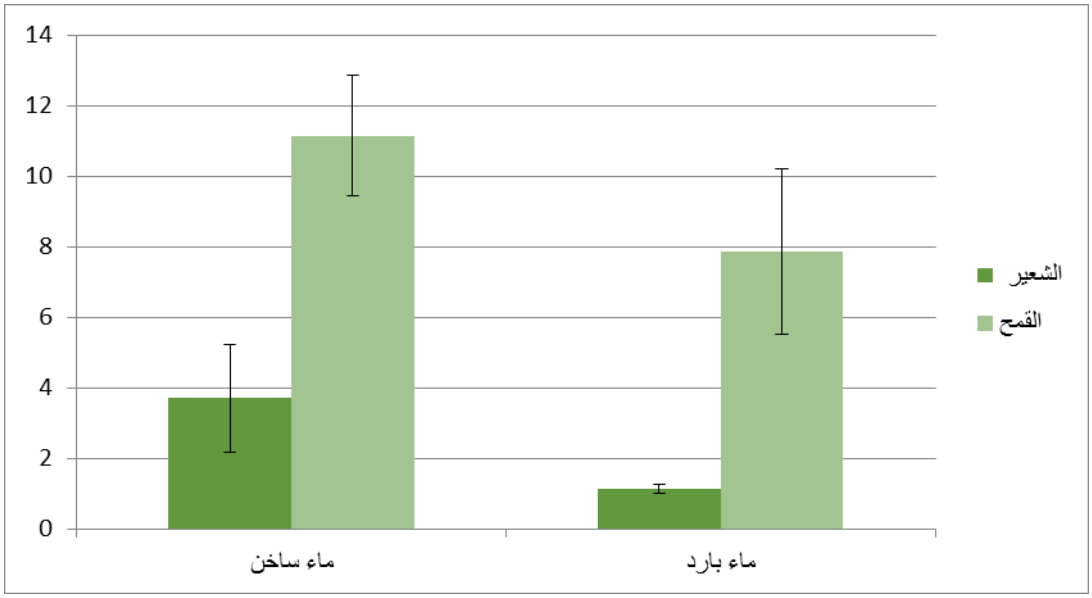
- **للأطوال:**

تمثّل الوثيقة تغيّرات مؤشر قوة إنبات للاطوال لبذور محصلي القمح (السلسلة2) والشعير(السلسلة1) تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة.

حيث نلاحظ ظاهرياً وجود تباين في مؤشر قوة إنبات بذور الشعير بين مصدري مياه الري، حيث بلغت القيمة القسوى 3.69 مليمتر عند الري بمياه المصدر الساخن، بالمقابل قُدّرت بـــ 1.13 مليمتر لمياه المصدر البارد، كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً آخر لدى بذور القمح المسقية بمياه المصدر الساخن، التي حققت مؤشر إنبات بلغ 11.14 مليمتر، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد قيمة قُدّرت بـــ 7.85 مليمتر.

غير أن التحليل الإحصائي الدقيق باستخدام اختبار "t" بيّن أن هذه الفروقات الملحوظة بين المعاملتين (الساخن والبارد)، لكلا المحصولين هي فروق غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p المحسوبة أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p > 0.05$)، وهذا يثبت علمياً أن الانخفاض أو التباين

الظاهري، المسجل في مؤشر قوة الإنبات للأطوال (بالمليمتر) لا يعكس تأثيرا حقيقيا أو حتميا، لطبيعة مصدر المياه المستخدمة، وإنما يُعزى أساسا إلى التباين الطبيعي والعشوائي بين المكررات التجريبية.



الوثيقة (32): تغيّرات مؤشر قوة إنبات للاطوال لبذور محصلي القمح والشعير.

- **للأوزان:**

تمثّل الوثيقة تغيّرات الوزن الجاف والوزن الطري لبذور محصلي القمح والشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة.

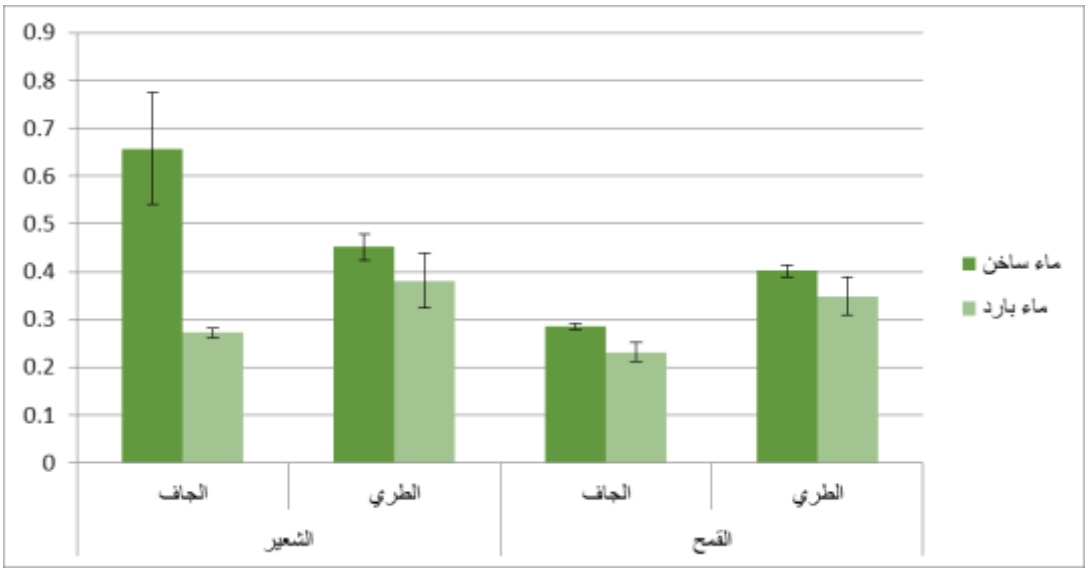
حيث نلاحظ ظاهرياً وجود تقارب في قيم الوزن الطري لبذور الشعير بين مصدري مياه الري؛ إذ بلغت هذه القيمة 0.45 غرام عند الري بمياه المصدر الساخن، بالمقابل قُدّرت بـــ 0.38 غرام لمياه المصدر البارد. كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً آخر لدى بذور القمح المسقية بمياه المصدر الساخن التي حققت وزناً طرياً بلغ 0.40 غرام، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد قيمة قُدّرت بـــ 0.34غرام،

أما بالنسبة للوزن الجاف، فنلاحظ وجود تباين ظاهري لدى بذور الشعير المسقية بمياه المصدر الساخن التي حققت وزناً جافاً بلغ 0.65غرام، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد قيمة 0.27 غرام وفيما يخص بذور القمح، نلاحظ كذلك تفوقاً ظاهرياً لمعاملة الماء الساخن التي حققت وزناً جافاً بلغ 0.28 غرام، وبالمقابل قُدّرت بـــ 0.23 غرام لمياه المصدر البارد.

وقد بيّن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" لعينتين مستقليتين تباينات واضحة في مستويات المعنوية بين المؤشرات المدروسة لمحصولي القمح والشعير تتبعاً لطبيعة مصدر مياه الري، حيث أظهرت النتائج أن الفروقات بين المعاملات كانت غير معنوية إحصائياً لمعظم المؤشرات نظراً لأن قيمة الاحتمال p جاءت أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p > 0.05$)، وتمثل ذلك في مؤشرات: الوزن الرطب للشعير، الوزن الرطب للقمح، بالإضافة إلى الوزن الجاف للقمح، مما يؤكد أن الاختلافات

الظاهرية المسجلة في هذه المؤشرات الثلاثة لا تعكس تأثيراً حقيقياً لمصدر المياه، وإنما تعود أساساً للتباين الطبيعي والعشوائي بين المكررات التجريبية.

في المقابل انفرد الوزن الجاف لمحصول الشعير بتسجيل فروقات معنوية إحصائياً وبشكلٍ مؤكد، حيث كانت قيمة الاحتمال p أصغر من مستوى الدلالة المعتمد ($p < 0.05$)، مما يثبت علمياً أن الارتفاع المسجل في الوزن الجاف للشعير (بالغرام) يعود، لتأثير حقيقي ومباشر لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المصدر الساخن)، وليس لمجرد صدفة تجريبية أو تباين عشوائي.

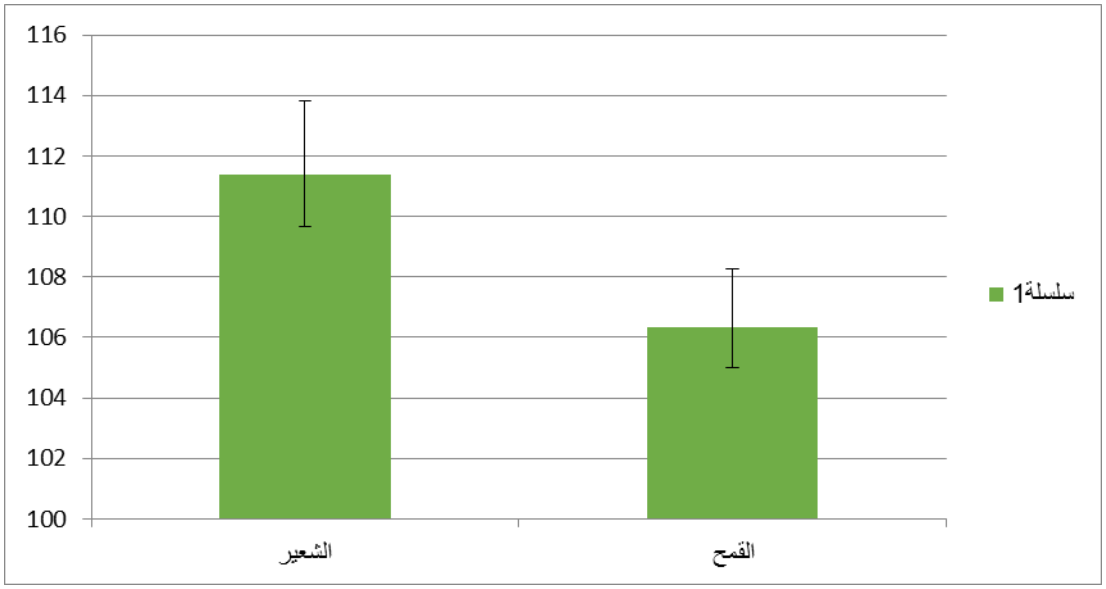


الوثيقة (33): تغيّرات الوزن الجاف والوزن الطري لبذور محصلي القمح والشعير.

4. مؤشر توتر الانبات:

تمثّل الوثيقة تغيّرات مؤشر توتر إنبات بذور محصلي القمح والشعير.

حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في مؤشر توتر إنبات بذور الشعير والقمح؛ حيث بلغت هذه النسبة 111.37 عند الشعير، بالمقابل قُدّرت بـــ 106.33 لدى القمح غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في مؤشر توتر إنبات بذور محصلي القمح والشعير لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.



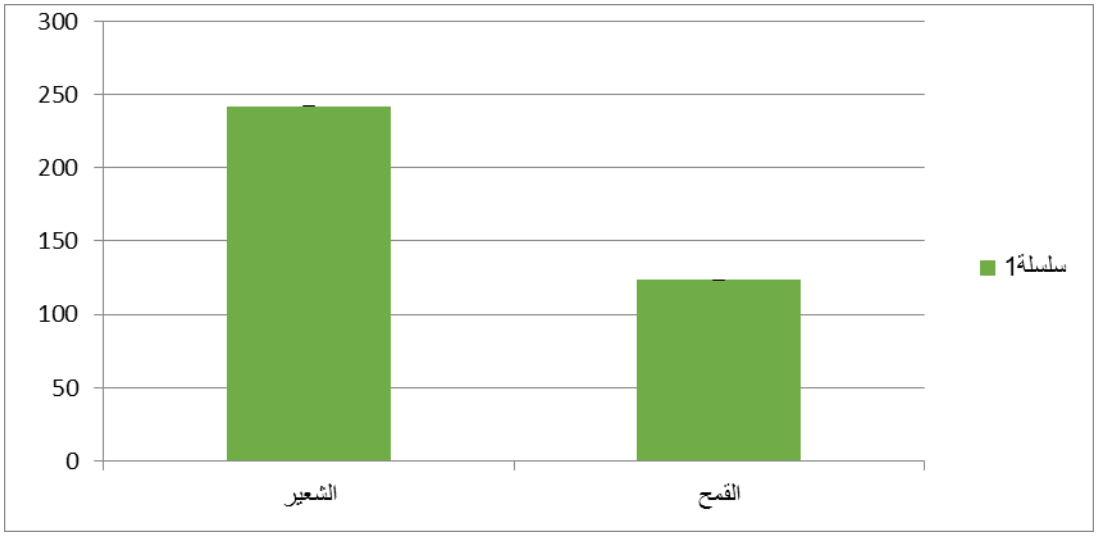
الوثيقة (34): تغيّرات مؤشر توتر إنبات بذور محصلي القمح والشعير

5. مؤشر توتر المادة الجافة

- **تجربة الأولى:**

تمثّل الوثيقة تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصلي القمح والشعير.

حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في مؤشر توتر المادة الجافة لبذور الشعير والقمح، حيث بلغت هذه النسبة 241.77 عند الشعير، بالمقابل قُدّرت بـــ 123.42 لدى القمح غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصلي القمح والشعير لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.



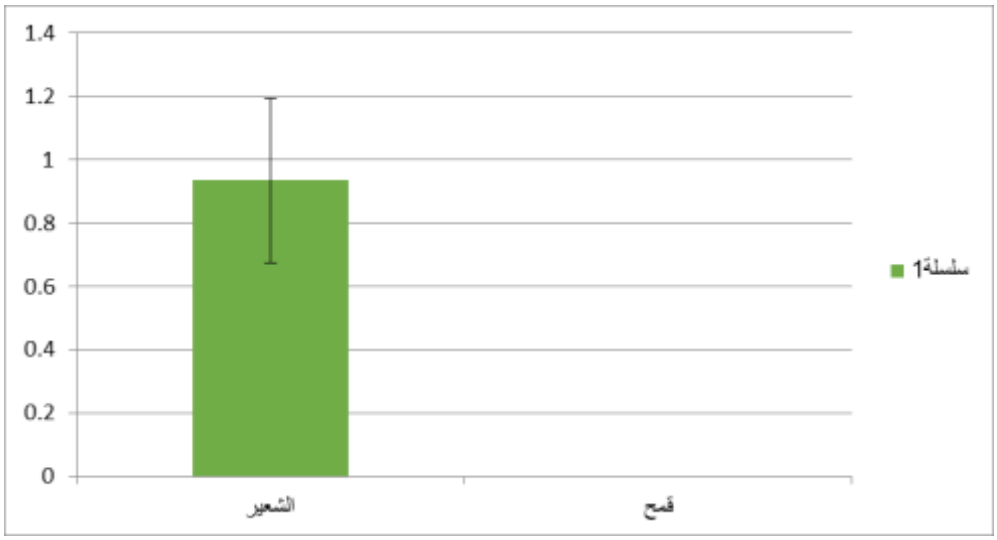
الوثيقة (35): تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصلي القمح والشعير.

- **التجربة الثانية:**

تمثّل الوثيقة تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصول الشعير.

حيث نلاحظ أن مؤشر توتر المادة الجافة لبذور الشعير بلغ 0.935.

غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن التغير المسجل في مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصول الشعير لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.

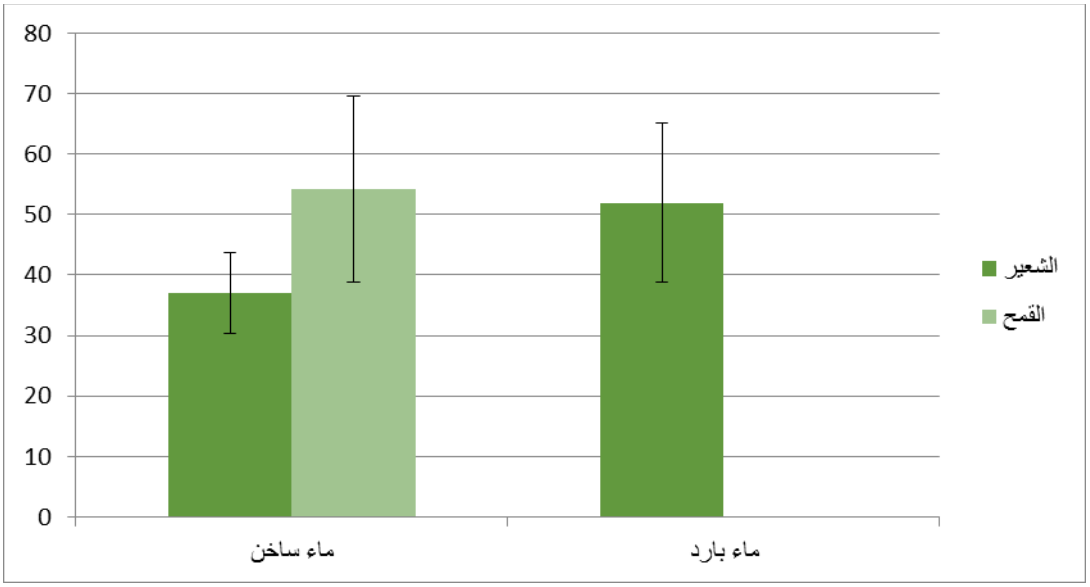


الوثيقة (36): الوثيقة تغيّرات مؤشر توتر المادة الجافة لبذور محصول الشعير.

6. المحتوى المائي النسبي:

تمثّل الوثيقة تغيّرات المحتوى المائي النسبي لبذور محصلي القمح والشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة.

حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في المحتوى المائي النسبي لبذور الشعير بين مصدر مياه الري الساخن والبارد؛ حيث بلغت هذه النسبة 37.06 عند الري بمياه مصدر الساخن، بالمقابل قُدّرت بـــ 51.94 لمياه المصدر البارد. كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً لدى بذور القمح المسقية مياه الساخن التي حققت نسبة بلغت 54.26 غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في المحتوى المائي النسبي لبذور محصلي القمح والشعير لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.



الوثيقة (37): تغيّرات المحتوى المائي النسبي لبذور محصلي القمح والشعير

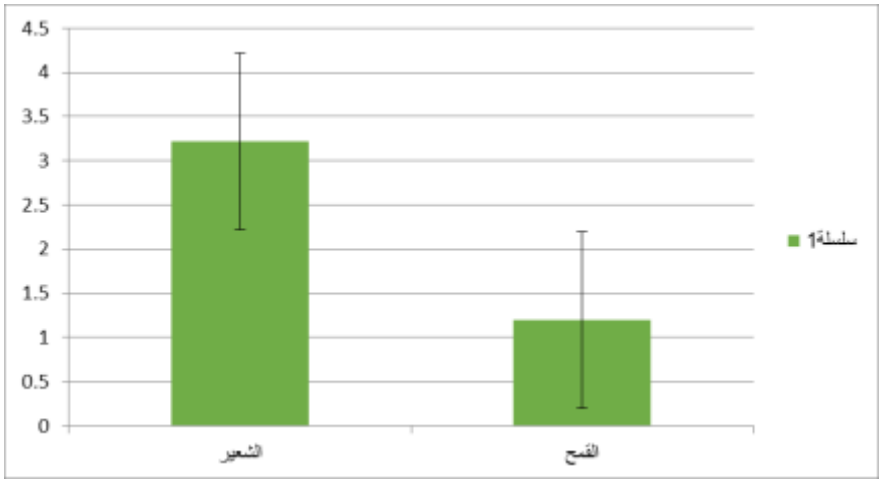
7. مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة:

تمثّل الوثيقة تغيّرات مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة لبذور محصلي القمح والشعير.

حيث نلاحظ وجود تباين واضح وفارق كبير في مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة لبذور الشعير والقمح، حيث بلغت هذه النسبة 3.219 عند الشعير، بالمقابل قُدّرت بـــ 1.199 لدى القمح،

غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن

التباين المسجل في مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة لبذور محصلي القمح والشعير لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.

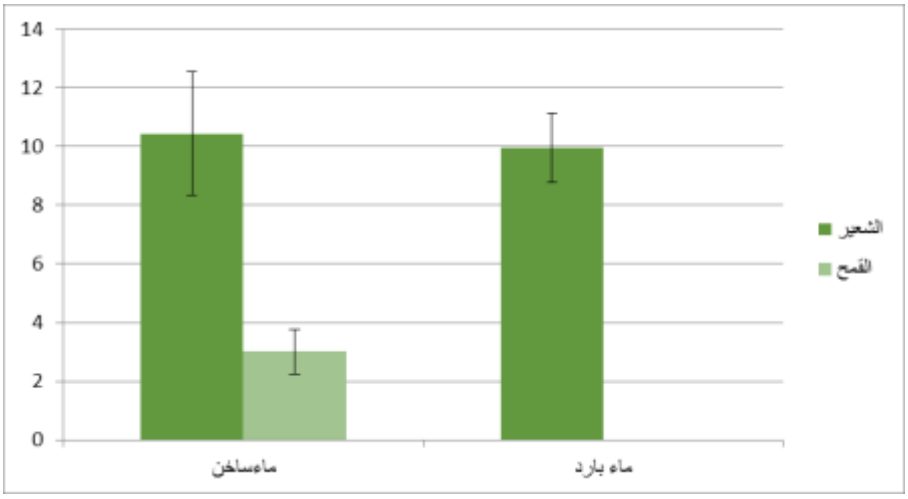


الوثيقة **(38)**: تغيّرات مؤشر توتر المعالجة بالمياه الساخنة لبذور محصلي القمح والشعير.

8. مساحة الورقة:

تمثّل الوثيقة تغيّرات مساحة الورقة لبذور محصلي القمح والشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة.

حيث نلاحظ وجود تقارب كبير في مساحة الورقة لبذور الشعير بين مصدر مياه الري الساخن والبارد؛ حيث بلغت هذه القيمة 10.45 عند الري بمياه مصدر الساخن، بالمقابل قُدّرت بـــ 9.96 لمياه المصدر البارد. كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً لدى بذور القمح المسقية مياه الساخن التي حققت مساحة ورقة بلغت 3.01، غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p>0.05$)، وهذا يدل على أن الانخفاض المسجل في مساحة الورقة لا يعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد يرجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.

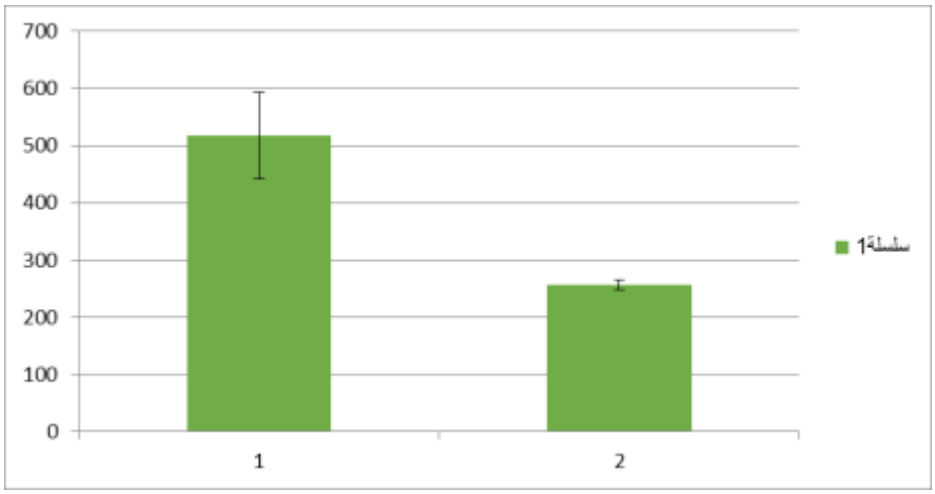


الوثيقة (39): تغيّرات مساحة الورقة لبذور محصلي القمح والشعير

9. مساحة الخلية:

تمثّل الوثيقة تغيّرات مساحة الخلية لمحصول الشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المجموعة 1 المصدر الساخن والمجموعة 2 المصدر البارد).

حيث نلاحظ تفوقاً ظاهرياً واضحاً في المجموعة المسقية بمياه المصدر الساخن (المجموعة 1) والتي حققت أعلى مساحة للخلية ببلوغها 516.86 μm^2، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد (المجموعة 2) قيمة منخفضة بلغت 256.26 μm^2. وبيّن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" ثنائي الذيل (Two-tail) أن الفروقات بين المعاملتين دالة ومعنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال أصغر من مستوى الدلالة المعتمد ($p < 0.05$). وهذا يدل على أن الفروق المسجلة في مساحة الخلية تعكس تأثيراً حقيقياً ومؤكداً لمصدر المياه، ولا ترجع إلى التباين الطبيعي أو التشتت بين المكررات التجريبية.

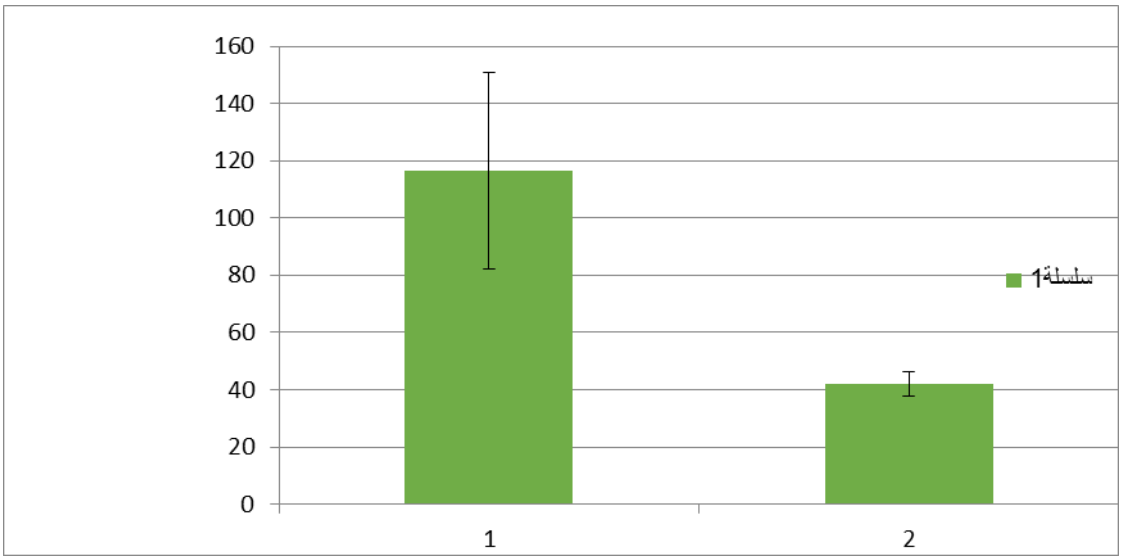


الوثيقة (40): تغيّرات مساحة الخلية لثلاث مجموعات

10.قطر الحزمة الوعائية:

تمثّل الوثيقة تغيّرات قطر الحزمة الوعائية ككل لمحصول الشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المجموعة 1 المصدر الساخن والمجموعة 2 المصدر البارد).

حيث نلاحظ تفوقاً ظاهرياً واضحاً في المجموعة المسقية بمياه المصدر الساخن (المجموعة 1) والتي حققت أعلى قطر للحزمة الوعائية ببلوغه 116.51 µm، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد (المجموعة 2) قيمة منخفضة بلغت 41.86 µm. غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال أكبر من مستوى الدلالة المعتمد ($p > 0.05$). وهذا يدل على أن الفروق المسجلة في قطر الحزمة الوعائية ككل لا تعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، وإنما قد ترجع إلى التباين الطبيعي والتشتت الكبير بين المكررات التجريبية



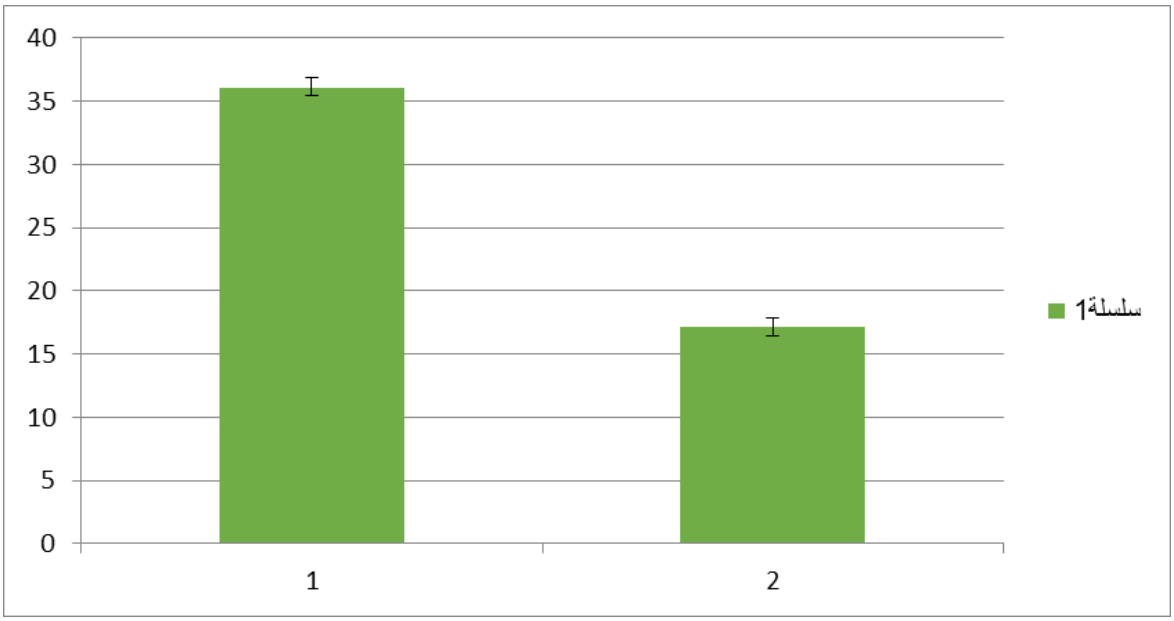
الوثيقة (41): قطر الحزمة الوعائية ككل

11.سمك الخلية:

تمثّل الوثيقة تغيّرات سمك الخلية لمحصول الشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المجموعة 1 المصدر الساخن والمجموعة 2 المصدر البارد).

حيث نلاحظ تفوقاً ظاهرياً واضحاً في المجموعة المسقية بمياه المصدر الساخن (المجموعة 1) والتي حققت أعلى سمك للخلية ببلوغه 36.09 µm، in حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد

(المجموعة 2) قيمة منخفضة بلغت 17.17 µm. وبناءً على التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t"، بيّنت النتائج أن الفروقات بين المعاملتين دالة ومعنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال أصغر بكثير من مستوى الدلالة المعتمد ($p < 0.05$). وهذا يدل على أن الفروق المسجلة في سمك الخلية تعكس تأثيراً حقيقياً ومؤكداً لمصدر المياه، ولا ترجع إلى التباين الطبيعي أو التشتت بين المكررات التجريبية.



الوثيقة (42): سمك الخلية لثلاث مجموعات نباتية

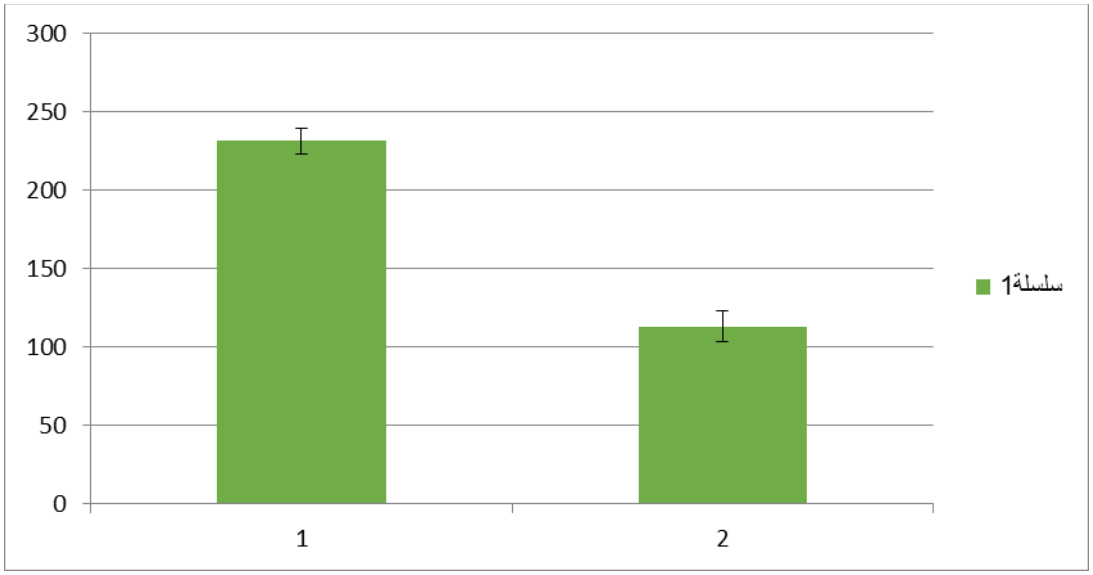
تمثّل الوثيقة تغيّرات سمك الخلية لثلاث مجموعات نباتية تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المجموعة a المصدر الساخن والمجموعة b المصدر البارد).

حيث نلاحظ وجود تقارب في سمك الخلية للمجموعتين (1) و (3) بين مصدر مياه الري الساخن والبارد، حيث بلغ هذا السمك 37.15 µm للمجموعة a (الساخن) مقابل 16.7 µm للمجموعة b (البارد) في المجموعة (1)، وقُدّرت بـــ 34.43 µm للمجموعة a مقابل 15.36 µm للمجموعة b في المجموعة (3)، كما نلاحظ تفوقاً ظاهرياً واضحاً في المجموعة (2) المسقية بمياه المصدر الساخن (المجموعة a) والتي حققت أعلى سمك للخلية ببلوغه 36.69 µm، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد (المجموعة b) لنفس المجموعة قيمة منخفضة بلغت 19.45 µm، غير أن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" بيّن أن الفروقات بين المعاملتين معنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال p أصغر بكثير من مستوى الدلالة المعتمد ($p < 0.05$)، وهذا يدل على أن الفروق المسجلة في سمك الخلية تعكس تأثيراً حقيقياً مؤكداً لمصدر المياه، ولا ترجع إلى التباين الطبيعي بين المكررات التجريبية.

12.سمك الورقة ككل:

تمثّل الوثيقة تغيّرات سمك الورقة ككل لمحصول الشعير تبعاً لطبيعة مصدر مياه الري المستخدمة (المجموعة 1 المصدر الساخن والمجموعة 2 المصدر البارد).

حيث نلاحظ تفوقاً ظاهرياً واضحاً في المجموعة المسقية بمياه المصدر الساخن (المجموعة 1) والتي حققت أعلى سمك للورقة ككل ببلوغه 231.12 µm، في حين سجلت المعاملة المروية بالماء البارد (المجموعة 2) قيمة منخفضة بلغت 112.87 µm. وعلى عكس القياسات السابقة، بيّن التحليل الإحصائي باستخدام اختبار "t" أن الفروقات بين المعاملتين دالة ومعنوية إحصائياً، حيث كانت قيمة الاحتمال أصغر بكثير من مستوى الدلالة المعتمد ($p < 0.05$). وهذا يدل على أن الفروق المسجلة في سمك الورقة ككل تعكس تأثيراً حقيقياً ومؤكداً لمصدر المياه، ولا ترجع إلى التباين الطبيعي أو التشتت بين المكررات التجريبية.



الوثيقة (43): تمثّل الوثيقة تغيّرات سمك الورقة ككل

التشريح الخضري

يُظهر الفحص المجهري المقارن لطبقة البشرة (Epidermis) فوارق واضحة في أبعاد الخلايا وحجمها بين المعاملتين؛ حيث تتميز خلايا البشرة في مقطع مياه المصدر الساخن (المصدر 1) بزيادة ملحوظة في مساحتها الهيكلية وامتدادها الميكرومتري، في حين تبدو خلايا البشرة في مقطع مياه المصدر البارد (المصدر 2) أكثر ضيقاً وأقل مساحة، بالرغم من الحفاظ على نفس النمط المتراص والمتماسك للخلايا في كلتا الصورتين.

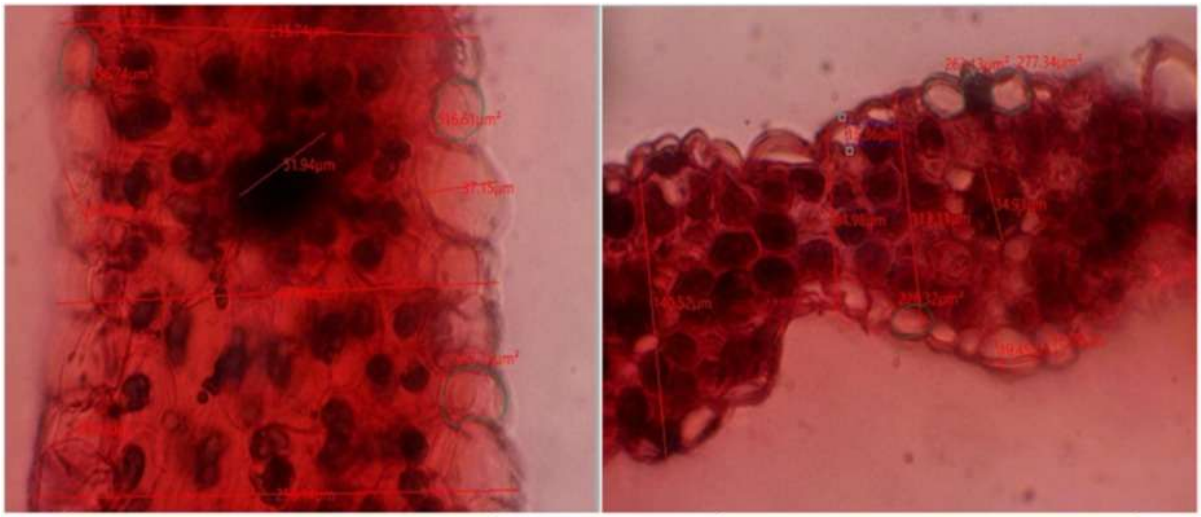
يُلاحظ في مقطع مياه المصدر البارد (المصدر 2) ظهور قياسات دقيقة ومحددة للأجهزة الثغرية والخلايا الحارسة المحيطة بها بشكل أكثر وضوحاً في القياس المجهري مقارنة بمقطع المصدر الساخن، مما يسمح برصد الفروق البنائية الدقيقة لفتحات التبادل الغازي والنتح بين المعاملتين.

يبرز تباين واضح في مظهر وكثافة المكونات الداخلية للنسيج المتوسط (Mesophyll)؛ حيث تُظهر صورة المصدر الساخن تجمعات داكنة أكثف وأكبر حجماً للبلاستيدات الخضراء الموزعة داخل الخلايا البرانشيمية المتجانسة، مما يمنح النسيج مظهراً أكثر امتلاءً وحيوية مقارنة بمظهر النسيج المتوسط في صورة المصدر البارد.

تسجل منطقة نصل الورقة فجوة قياسية كبيرة في السُمك الإجمالي بين المقطعين؛ حيث يُظهر مقطع مياه المصدر الساخن (المصدر 1) تفوقاً بائناً وقَفزة في القطر والسمك الكلي لنسيج الورقة، بينما يبدو نصل الورقة في مقطع مياه المصدر البارد (المصدر 2) أكثر رقة وانخفاضاً في السمك عند مقارنته بصرياً وبالمقاييس الميكرومترية المرفقة.

تظهر فوارق هيكلية واضحة في بنية وأبعاد الحزم الوعائية وغمدها الواقي؛ إذ تبدو الخلايا البرانشيمية المشكلة لغمد الحزمة الوعائية في صورة المصدر الساخن (المصدر 1) أكثر اتساعاً وضخامة في المساحة (تصل إلى أبعاد مضاعفة في بعض المناطق المحاطة بالدوائر)، في حين تظهر خلايا الغمد الوعائي في صورة المصدر البارد (المصدر 2) بأحجام ومساحات أصغر ومحدودة النطاق.

يُلاحظ اختلاف في وضوح واتساع الأوعية الناقلة داخل الحزمة المركزية؛ حيث تبدو أوعية نسيج الخشب المتجهة نحو البشرة العليا أكثر اتساعاً ووضوحاً هندسياً في مقطع المصدر الساخن، مما يعطي انطباعاً بزيادة القدرة الاستيعابية للنقل الوعائي مقارنة بالمظهر الأكثر ضيقاً للأوعية الوعائية في مقطع المصدر البارد.



الوثيقة **(44):** نتائج تحليل التشريح الخضري.

II. تفسير ومناقشة النتائج

يشير الاختلاف الطفيف وغير المعنوي إحصائياً في نسب وسرعة إنبات بذور القمح والشعير بين معاملتي مياه الري (المصدر البارد والمصدر الساخن) إلى أن مياه الري ذات المصدر الساخن تمتلك مستويات أعلى من العناصر المعدنية المغذية، وخاصة الحديد (Fe) والكبريت(S) ، مما ساهم بشكل مباشر في رفع قدرة البذور الفسيولوجية على امتصاص الماء بفعالية أكبر مقارنة بالمياه الباردة، وهو ما يظهر أن البذور تمتلك قدرة عالية على التكيف الفسيولوجي والمرونة الحيوية مع درجات الحرارة المطبقة.

يتفق هذا الطرح بشكل مباشر مع ما أوردته الباحثة Romika Thakur في أطروحتها الصادرة عام 2021 عن جامعة الدكتور ياشوانت سينغ بارمار للزراعة والغابات، بعنوان "تأثير معالجات البذور الفيزيائية الحرارية..."؛ حيث أثبتت تجاربها أن المعالجة بالماء الساخن (ضمن نطاق 48–52 درجة مئوية) تحافظ على حيوية الجنين ولا تؤدي إلى إعاقة عملية البروز، مما يشير إلى أن المعالجة الحرارية المائية في هذه التجربة عملت كعامل "تحفيز (Priming) "دون أن تتجاوز حد العتبة الحرارية الحرجة التي قد تسبب تلفاً للأنسجة الحية.

أدى هذا الامتصاص المحفز للمياه الغنية بالمعادن إلى تنشيط مبكر ومكثف للعمليات الحيوية والإنزيمية داخل فلقة البذرة، مما حفز تسريع تسييل المدخرات الغذائية وجعلها جاهزة لنمو الجنين، وهو ما يفسر الزيادة الملحوظة في سرعة وبنية الإنبات الأولية.

يمتد تأثير غنى هذه المياه بالعناصر الغذائية والمعدنية ليحسن حتى الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة المحيطة بالبذور، ولا سيما عامل الاحتفاظ بالماء (القدرة الحقلية للتربة)، مما ساعد على رفع مستويات الرطوبة الدقيقة حول بيئة البذور الحيوية وساهم في استمرار تنشيط حيويتها واستقرار نموها.

يعكس ثبات المحتوى المائي النسبي (RWC) وعدم وجود فروق معنوية بين المعاملات نجاح المعالجة في الحفاظ على الحالة الهيدروليكية للنبات دون التعرض لإجهاد مائي، ويتوافق هذا مع ما طرحته الباحثة Chiara Forti في أطروحة الدكتوراه عام 2020 بعنوان "البذور في سياق البحوث الزراعية"، حيث أكدت أن تقنيات التهيئة تهدف إلى تعزيز الدفاعات الداخلية، وإصلاح الحمض النووي (DNA repair) مع ضمان استقرار توازن المياه داخل الأنسجة النباتية.

ينعكس التحفيز المعدني والحراري لمياه المصدر الساخن بشكل تجميعي وتراكمي مع تقدم عمر النبات، مما أدى إلى حدوث استجابة أيضية (Metabolic response) متميزة لدى نبات الشعير، تُرجمت إحصائياً بوجود فروق معنوية مؤكدة ($p < 0.05$) في وزنه الجاف الذي ارتفع بوضوح نتيجة زيادة كفاءة التمثيل الضوئي وبناء الكتلة الحيوية بفضل تحسن كفاءة التحويل الغذائي داخل البادرة.

يجد هذا التفسير دعماً قوياً في دراسة الدكتور Kareem Isiaka المنشورة عام 2016 عبر جامعة بوترا ماليزيا(UPM) ، بعنوان "عامل تهيئة البذور لتحسين المحصول وتخفيف إجهاد الرطوبة"، حيث أوضح أن تقنيات التهيئة تساهم في تسريع تعبئة الاحتياطيات الغذائية وتحفيز النشاط الإنزيمي الأولي، مما يمنح النبات قدرة أكبر على بناء كتلة حيوية متينة منذ المراحل الأولى للنمو، وبذلك فإن بذور الشعير هنا استثمرت الطاقة الحرارية والمعدنية المكتسبة في زيادة إنتاج المادة الجافة بشكل فعال، محققة استقراراً خضرياً (Vegetative stability) وقدرة على الحفاظ على محتواها المائي حتى تحت ظروف متغيرة، مما يؤكد أن الري بمصدر الماء الساخن كان بديلاً إيكولوجياً آمناً تماماً.

يتطابق هذا البناء الحيوي المتميز للمادة الجافة مع النتائج التشريحية الخلوية التي أظهرت فروقاً حتمية ومعنوية للغاية($p < 0.05$) ، حيث وفرت وفرة العناصر المعدنية والرطوبة حول الجذور الطاقة

واللبنات الأساسية لدعم انقسام الخلايا واستطالتها، مما ضاعف مساحة الخلية وسمكها في نسيج الورقة بشكل واضح كاستجابة "هيكلية تكيفية."

تنسجم هذه البيانات التشريحية مع النتائج الميدانية التي رصدتها دراسة Romika Thakur (2021) والتي أشارت إلى أن المعالجات الحرارية المائية تحسن المعايير المرفولوجية للبادرات من خلال تعزيز الانقسام والتمدد الخلوي المبكر فمن الناحية الأكاديمية، تعمل الحرارة المعتدلة على زيادة مرونة الجدران الخلوية مما يسمح للضغط الانتباجي بتوسيع الخلايا، وهو ما يدعمه أيضاً بحث Isiaka (2016) حول دور التهيئة في تحسين البنية التشريحية للنبات لضمان كفاءة أفضل في نقل وتدفق المغذيات.

أدت هذه الاستطالة الخلوية والخلل الهيدروليكي المتوازن المدعوم بالتغذية المعدنية، إلى زيادة حتمية ومعنوية في القطر الإجمالي والسمك الكلي لورقة الشعير المسقية بمياه المصدر الساخن (حيث بلغ السمك 231.12 ميكرومتر مقارنة بـــ 112.87 ميكرومتر للماء البارد)، وهو تحور بنيوي يسمح للنبات بزيادة عدد الخلايا البرانشيمية والعمادية لتخزين كميات أكبر من المياه والمغذيات، مما يؤكد التأثير الإيجابي والعميق لمياه المصدر الساخن على المستوى البنيوي والتشريحي والإنتاجي للمحصول.

الخاتمة

الخاتمة

في ختام هذه الدراسة التجريبية التي أجريت بمنطقة الوادي (الجزائر) لتقييم تأثير الري بالمياه الارتوازية الساخنة (المبردة إلى 25–30°م) على محصولي القمح (Triticum aestivum) والشعير (Hordeum vulgare)، يمكن القول إن المياه الارتوازية الساخنة أثبتت أنها بديل مائي آمن وفعال، حيث لم تتسبب في أي تثبيط معنوي لنسب أو سرعة إنبات البذور مقارنة بالمياه الباردة، مما يعكس قدرة هذه المحاصيل على التحمل الحراري والمرونة الفسيولوجية ضمن نطاق الحرارة المطبق. وقد سجل محصول الشعير استجابة إيجابية واضحة تمثلت في وجود فروق معنوية ($p < 0.05$) لصالح الري بالمياه الساخنة في الوزن الجاف، مساحة الخلية، سمك الخلية، والسمك الكلي للورقة، وهي مؤشرات تعكس تحسناً حقيقياً في الكتلة الحيوية والبنية التشريحية، بينما أظهر القمح استجابة أقل وضوحاً للمعاملة الحرارية ذاتها. كما كشفت المقاطع التشريحية المجهرية عن زيادة ملحوظة في أبعاد خلايا البشرة، وتركيز أعلى للبلاستيدات الخضراء داخل النسيج المتوسط، واتساع في الحزم الوعائية لنباتات الشعير المروية بالمياه الساخنة، مما يفسر تحسن كفاءة التمثيل الضوئي والنقل الوعائي لدى هذه المجموعة. تعزى هذه الفعالية إلى كون المياه الارتوازية الساخنة تؤدي دور عامل تهيئة حرارية (Thermo-priming) يحفز النشاط الأنزيمي، ويزيد من ذوبانية وإتاحة العناصر المعدنية في التربة، ويخفض لزوجة الماء مما يحسن النفاذية والتوصيل الهيدروليكي للتربة الرملية. بناءً على ذلك، نوصي بتوظيف هذه المياه (بعد تبريدها) في ري محاصيل الحبوب، وخاصة الشعير، كبديل إيكولوجي مستدام يساهم في ترشيد استهلاك المياه الجوفية وتحسين الإنتاجية في المناطق الصحراوية، مع التأكيد على ضرورة إجراء دراسات إضافية لمراحل نمو متقدمة ولتعميم النتائج على نطاق أوسع.

قائمة المراجع

[1] J. D. Bewley, K. Bradford, and H. Hilhorst, *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*: Springer Science & Business Media, 2012.

[2] P. R. Shewry, "Wheat," *Journal of experimental botany,* vol. 60, pp. 1537-1553, 2009.

[3] U. Water, *Progress on change in water-use efficiency: Mid-term status of SDG Indicator 6.4. 1 and acceleration needs, with special focus on food security and climate change, 2024*: Food & Agriculture Org., 2024.

[4] E. Koncagül and R. Connor, "The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water; facts, figures and action examples," 2023.

[5] S. Asseng, F. Ewert, P. Martre, R. P. Rötter, D. B. Lobell, D. Cammarano*, et al.*, "Rising temperatures reduce global wheat production," vol. 5, pp. 143-147, 2015.

[6] K. Verma, R. Saxena, and G. J. J.-I. S. O. S. S. Bhargava, "Anomalies in classification of the salt-affected soils under USDA soil taxonomy," vol. 55, p. 1, 2007.

[7] Z. Guo, J. Han, Y. Zhang, and H. J. F. i. S. F. S. Zhuang" ,Effects of temperature and time treatment on soil characteristics and wheat growth," vol. 9, p. 1499224, 2025.

[8] P. Pramanik, B. Chakrabarti, A. Bhatia, S. Singh, A. Maity, P. Aggarwal*, et al.*, "Effect of elevated temperature on soil hydrothermal regimes and growth of wheat crop," vol. 190, p. 217, 2018.

[9] B. Chakrabarti, S. Singh, V. Kumar, R. Harit, and S. J. I. J. o. P. P. Misra, "Growth and yield response of wheat and chickpea crops under high temperature," vol. 18, pp. 7-14, 2013.

[10] S. Ntshalintshali, S. G. P. Sibiya, N. Mabuza, M. Nkomo, L. G. J. J. o. A. Buthelezi, and C. Science, "Seed priming in legume crops: mechanisms, applications and future directions for enhanced germination, growth and abiotic stress tolerance in sustainable agriculture: a review," vol. 211, p. e70115, 2025.

[11] P. R. J. J. o. e. b. Shewry, "Wheat," vol. 60, pp. 1537-1553, 2009.

[12] J. C. Zadoks, T. T. Chang, and C. F. J. W. r. Konzak, "A decimal code for the growth stages of cereals," vol. 14, pp. 415-421, 1974.

[13] D. J. J. A. o. b. Watson, "Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years," vol. 11, pp. 41-76, 1947.

[14] M. Shavanov" ,The role of food crops within the Poaceae and Fabaceae families as nutritional plants," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, p. 012111.

[15] T. Tufail, A. Fatima, M. U. Arshad, H. B. U. Ain, M. Imran, H. Siddiqui*, et al.*, "Bioscience Research," *Red,* vol. 29, 2021.

[16] F. Saeed, M. Afzaal, M. Hussain, and T. Tufail, "Advances in assessing product quality," in *Food losses, sustainable postharvest and food technologies*, ed: Elsevier, 2021, pp. 191-218.

[17] H. Bader Ul Ain, F. Saeed, A. Ahmed, M. Asif Khan, B. Niaz, and T. Tufail, "Improving the physicochemical properties of partially enhanced soluble dietary fiber through innovative techniques: A coherent review," *Journal of Food Processing and Preservation,* vol. 43, p. e13917.2019 ,

[18] M. A. Zeder, "Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact," *Proceedings of the national Academy of Sciences,* vol. 105, pp. 11597-11604, 2008.

[19] P. Azhaguvel and T. Komatsuda, "A phylogenetic analysis based on nucleotide sequence of a marker linked to the brittle rachis locus indicates a diphyletic origin of barley," *Annals of Botany,* vol. 100, pp. 1009-1015, 2007.

[20] B. D. Smith, "The emergence of agriculture," *(No Title),* 1995.

[21] Z. Tadele and K. Assefa, "Increasing food production in Africa by boosting the productivity of understudied crops," *Agronomy,* vol. 2, pp. 240-283, 2012.

[22] B.-K. Baik and S. E. Ullrich, "Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest "*,Journal of cereal science,* vol. 48, pp. 233-242, 2008.

[23] A. I. Malik, J. P. English, and T. D. Colmer, "Tolerance of Hordeum marinum accessions to O2 deficiency, salinity and these stresses combined," *Annals of Botany,* vol. 103, pp. 237-248, 2009.
[24] S. Punia, *Barley: Properties, Functionality and Applications*: CRC Press, 2020.
[25] R. K. Newman and C. W. Newman, *Barley for food and health: Science, technology, and products*: John Wiley & Sons, 2008.
[26] M. Gupta, N. Abu-Ghannam, and E. Gallaghar, "Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products," *Comprehensive reviews in food science and food safety,* vol. 9, pp. 318-328, 2010.
[27] S. Jadhav, S. Lutz, V. Ghorpade, and D. Salunkhe, "Barley: chemistry and value-added processing," *Critical Reviews in Food Science,* vol. 38, pp. 123-171, 1998.
[28] D. Smith, M. Dijak, P. Bulman, B. Ma, and C. Hamel, "Barley: physiology of yield," in *Crop Yield: Physiology and Processes*, ed: Springer, 1999, pp. 67-107.
[29] S. Rani, A. Chaudhary, and K. Rani, "Management strategies for abiotic stresses in barley," *Wheat and Barley Research,* vol. 10, pp. 151-165, 2018.
[30] G. A. Slafer, "Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures throughout barley development," *Barley science: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality,* p. 243, 2002.
[31] H. T. Brown and G. H. Morris, "Researches on the germination of some of the Gramineae," *American Journal of Pharmacy* ,(1907-1835) p. 417, 1890.
[32] L. Krauss, "Entwicklungsgeschichte der Früchte von Hordeum, Triticum, Bromus und Poa, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Samenschalen," Verlag von Gebrüder Borntraeger, 1933.
[33] W. Tharp, "Developmental anatomy and relative permeability of barley seed coats," *Botanical Gazette,* vol. 97, pp. 240-271, 1935.
[34] D. E. Briggs, *Barley*: Springer Science & Business Media, 2012.
[35] W. Brown, "The grass embryo-a rebuttal," 1965.
[36] H. Lermer, "Beitrage zur kenntnis der Gerste," *(No Title),* 1888.
[37] A. Fahn, "Plant Anatomy.,(Pergamon Press: Oxford, UK)," 1990.
[38] W. F. Ejerso, "Genetic diversity and marker trait associations in barley (Hordeum Vulgare L.) landraces of Ethiopia for adaptation to acidic soils," Haramaya University.2023 ,
[39] E. M. Kirby and M. Appleyard, "Cereal development guide," 1981.
[40] G. A. Slafer, J. L. Molina-Cano, R. Savin, J. L. Araus, and I. Romagosa, "Barley science: recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality," 2024.
[41] D. Briggs and B. Milborrow, "Biosynthesis and its Control in Plants," *Academic Press: London,* p. 219, 1973.
[42] F. Gregory, "The effect of climatic conditions on the growth of barley," *Annals of Botany,* vol. 40, pp. 1-26, 1926.
[43] D. J. Watson, "The physiological basis of variation in yield," *Advances in agronomy,* vol. 4, pp. 101-145, 1952.
[44] F. Gregory and E. Baptiste, "Physiological studies in plant nutrition: V. Carbohydrate metabolism in relation to nutrient deficiency and to age in leaves of barley," *Annals of Botany,* vol. 50, pp. 579-619, 1936.
[45] F. Gregory, "Mineral nutrition of plants," *Annual Review of Biochemistry,* vol. 6, pp. 557-578, 1937.
[46] H. Marschner, "Mineral nutrition of higher plants," 1995.
[47] E. Witkowski and B. B. Lamont, "Leaf specific mass confounds leaf density and thickness," *Oecologia,* vol. 88, pp. 486-493, 1991.
[48] H. Poorter, Ü. Niinemets, L. Poorter, I. J. Wright, and R. Villar, "Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis ",*New phytologist,* vol. 182, pp. 565-588, 2009.

[49] D. C. Rasmusson, "An evaluation of ideotype breeding 1," *Crop Science,* vol. 27, pp. 1140-1146, 1987.
[50] J. Tesarová and L. Nátr, "Phyllochron and winter barley leaf growth rate," *Biologia plantarum* , vol. 32, pp. 450-459, 1990.
[51] E. Van Oosterom and E. Acevedo, "Leaf area and crop growth in relation to phenology of barley in Mediterranean environments," *Plant and soil,* vol. 148, pp. 223-237, 1993.
[52] P. Jamieson, R. Martin, G. Francis, and D. Wilson, "Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley," *Field Crops Research,* vol. 43, pp. 77-86, 1995.
[53] V. Dorofeev and V. Ponomarev, "Wheat lodging and its prevention," 1970.
[54] M. J. Pinthus, "Lodging in wheat, barley ,and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures," *Advances in agronomy,* vol. 25, pp. 209-263, 1974.
[55] M. Dixon and J. Grace, "Effect of wind on the transpiration of young trees," *Annals of Botany,* vol. 53, pp. 811-819, 1984.
[56] E. T .Linacre, "Determinations of the heat transfer coefficient of a leaf," *Plant Physiology,* vol. 39, p. 687, 1964.
[57] J. L. Monteith, "Evaporation and environment," 1965.
[58] J. Grace, "The effect of wind on grasses: 1. Cuticular and stomatal transpiration ",*Journal of Experimental Botany,* vol. 25, pp. 542-551, 1974.
[59] N. Tiver, "Studies of the flax plant 1. Physiology of growth, stem anatomy and fibre development in fibre flax," *Australian Journal of Experimental Biology & Medical Science,* vol. 20, 194.2
[60] A. Morton and D. Watson, "A physiological study of leaf growth," *Annals of Botany,* vol. 12, pp. 281-310, 1948.
[61] P. Wood, J. Anderson, J. Braaten, N. Cave, F. Scott, and C. Vachon, "Physiological effects of beta-D-glucan rich fractions from oats," *Cereal Foods World,* vol. 34, pp. 878-882, 1989.
[62] R. Newman, C. Newman, and H. Graham, "The hypocholesterolemic function of barley beta-glucans," *Cereal Foods World,* 1989.
[63] S. Palmer, "The buzz on beta-glucans," *Health Industry Insights,* 2006.
[64] L. Tappy, E. Gügolz, and P. Würsch, "Effects of breakfast cereals containing various amounts of β-glucan fibers on plasma glucose and insulin responses in NIDDM subjects," *Diabetes care,* vol. 19, pp. 831-834, 1996.
[65] S. Grando and H. G. Macpherson" ,Food barley: importance, uses and local knowledge," *ICARDA, Aleppo, Syria,* pp. 121-137, 2005.
[66] A. A. Andersson, A.-M. Lampi, L. Nystrom, V. Piironen, L. Li, J. L. Ward*, et al.*, "Phytochemical and dietary fiber components in barley varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen," *Journal of agricultural and food chemistry,* vol. 56, pp. 9767-9776, 2008.
[67] T. C. Paulitz and B. J. Steffenson, "Biotic stress in barley: disease problems," *Barley: Prod. Improv. Uses,* vol. 12, p. 307, 2010.
[68] M. Nikodymová, "Změny obsahu antokyanů a fotosyntetických pigmentů v listech ječmene pod vlivem faktorů klimatické změny," 2022.
[69] F. Capettini, "Barley in Latin America," 2005.
[70] G. Fischbeck, "Contribution of barley to agriculture: a brief overview," *Barley Science,* pp. 1-14, 2024.
[71] C. Bamforth and A. Barclay, "Malting technology and the uses of malt," *Barley: chemistry and technology,* pp. 297-354, 1993.
[72] N. L. Kent, *Kent's technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture*: Elsevier, 1994.
[73] R. Macrae, R. K. Robinson, and M. J. Sadler, *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition*, 1993.
[74] F. Hunger and F. INSECURITY, "Food security and nutrition in the world," 2024.

[75] J. Dubcovsky and J. Dvorak, "Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication," *Science,* vol. 316, pp. 1862-1866, 2007.
[76] M. Feldman, "Origin of cultivated wheat," *The world wheat book: a history of wheat breeding,* pp. 3-53, 2001.
[77] M .Heun, R. Schafer-Pregl, D. Klawan, R. Castagna, M. Accerbi, B. Borghi*, et al.*, "Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting," *Science,* vol. 278, pp. 1312-1314, 1997.
[78] M. Nesbitt, "Where was einkorn wheat domesticated?," 1998.
[79] F. Food, "Food and Agriculture organization of the United Nations," *A framework for land evaluation Soils Bulletin,* vol. 32, 2008.
[80] J. Mac Key, "Wheat: its concept, evolution, and taxonomy," in *Durum wheat breeding*, ed: CRC Press, 2005, pp. 35.94-
[81] D. Bechtel, J. Abecassis, P. Shewry, and A. Evers, "Development, structure, and mechanical properties of the wheat grain," *Wheat: Chemistry and technology,* vol. 4, pp. 51-95, 2009.
[82] A. Surget and C. Barron, "Histologie du grain de blé," *Industries des céréales,* pp. 3-7, 2005.
[83] Y. Pomeranz, "Grain structure and end-use properties," *Food Structure,* vol. 1, p. 2, 1982.
[84] K. Khan, *Wheat: chemistry and technology*: Elsevier, 2016.
[85] T. Evers and S. Millar, "Cereal grain structure and development: some implications for quality," *Journal of cereal science,* vol. 36, pp. 261-284, 2002.
[86] M. M. MacMasters, "Important aspects of kernel structure," 1962.
[87] C. Barron, A. Surget, and X. Rouau, "Relative amounts of tissues in mature wheat (Triticum aestivum L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition," *Journal of Cereal Science,* vol. 45, pp. 88-96, 2007.
[88] V. Govindan, A. K. Joshi, P. Bhati, and K. Thiyagarajan, "Breeding and Deployment of High Zn Wheat in South Asia," in *Breeding Zinc Crops for Better Human Health*, ed: Springer, 2025, pp. 17-39.
[89] J. C. Zadoks, T. T. Chang, and C. F. Konzak, "A decimal code for the growth stages of cereals," *Weed research,* vol. 14, pp. 415-421, 1974.
[90] S. Dorostkar, A. Dadkhodaie ,B. J. A. o. a. Heidari, and s. science, "Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to drought stress," vol. 61, pp. 397-413, 2015.
[91] J. Thompson and D. J. A. J. o. E. A. Chase, "Effect of limited irrigation on growth and yield of a semi-dwarf wheat in southern New South Wales," vol. 32, pp. 725-730, 1992.
[92] G. McDonald, B. Sutton, and F. J. I. S. Ellison, "The effect of sowing date, irrigation and cultivar on the growth and yield of wheat in the Namoi River Valley ,New South Wales," vol. 5, pp. 123-135, 1984.
[93] K. Bankar, S. Gosavi, and V. Balsane, "Effect of different irrigation treatment on growth and yield of wheat crop varieties," 2008.
[94] Z. Plaut, B. Butow, C. Blumenthal, and C. J. F. C. R. Wrigley, "Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature," vol. 86, pp. 185-198, 2004.
[95] M. Jamal, M. Nazir, S. Shah, and N. Ahmed, "Varietal response of wheat to water stress at different growth stages. III. Effect on grain yield, straw yield, harvest index and protein content in grain," 1996.
[96] S. Denčić, R. Kastori, B. Kobiljski, and B. J. E. Duggan, "Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions," vol. 113, pp. 43-52, 2000.
[97] J. M. Hanft and R. Wych, "Visual Indicators of Physiological Maturity of Hard Red Spring Wheat 1," *Crop Science,* vol. 22, pp. 584-588, 1982.
[98] N. Akter and M .Rafiqul Islam, "Heat stress effects and management in wheat. A review," *Agronomy for sustainable development,* vol. 37, p. 37, 2017.

[99] J. Hussain, T. Khaliq, A. Ahmad, J. Akhter, and S. Asseng, "Wheat responses to climate change and its adaptations: a focus on arid and semi-arid environment," *International Journal of Environmental Research,* vol. 12, pp. 117-126, 2018.

[100] J. G. Nuttall, K. M. Barlow, A. J. Delahunty, B. P. Christy, and G. J. O'Leary, "Acute high temperature response in wheat," *Agronomy Journal,* vol. 110, pp. 1296-1308, 2018.

[101] S. Asseng, F. Ewert, P. Martre, R. P. Rötter, D. B. Lobell, D. Cammarano*, et al.*, "Rising temperatures reduce global wheat production," *Nature climate change,* vol. 5, pp. 143-147, 2015.

[102] D. B. Lobell ,M. B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon, and R. L. Naylor, "Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030," *Science,* vol. 319, pp. 607-610, 2008.

[103] A. Pask, A. Joshi, Y. Manès, I. Sharma, R. Chatrath, G. Singh*, et al.*, "A wheat phenotyping network to incorporate physiological traits for climate change in South Asia," *Field Crops Research,* vol. 168, pp. 156-167, 2014.

[104] R. Kumar, V. Singh, S. K. Pawar, P. K. Singh, A. Kaur, and D. Sharma, "Abiotic stress and wheat grain quality: A comprehensive review," *Wheat production in changing environments: responses, adaptation and tolerance,* pp. 63-87, 2019.

[105] A. Ahmadi and D. Baker, "The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat," *Plant Growth Regulation,* vol. 35, pp. 81-91, 2001.

[106] X.-M. FAN, D. Jiang, T.-B. DAI, Q. Jing, and W.-X. CAO, "Effects of post-anthesis drought and waterlogging on the quality of grain formation in different wheat varieties," *Chinese Journal of Plant Ecology,* vol. 28, pp. 680-685, 2004.

[107] M. Olgun, A. Metin Kumlay, M. Cemal Adiguzel, and A. Caglar, "The effect of waterlogging in wheat (T. aestivum L.)," *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science,* vol. 58, pp. 193-198, 2008.

[108] T. Setter and I. Waters, "Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats," *Plant and soil,* vol. 253, pp. 1-34, 2003.

[109] N. Woodruff, "Wind-Blown Soil Abrasive Injuries to Winter Wheat Plants 1," *Agronomy Journal,* vol. 48, pp. 499-504, 1956.

[110] H. Brix, "The Effect of Water Stress on the Rates of Photosynthesis and Respiration in Tomato Plants and Loblolly Pine Seedlings," *Physiologia Plantarum,* vol. 15, 1962.

[111] M. A. Parry, P. J. Andralojc, S. Khan, P. J. Lea, and A. J. Keys, "Rubisco activity: effects of drought stress," *Annals of botany,* vol. 89, pp. 833-839, 2002.

[112] J. Flexas, J. Bota, F. Loreto, G. Cornic, and T. Sharkey, "Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants," *Plant biology,* vol. 6, pp. 269-279, 2004.

[113] P. Wareing, M. Khalifa, and K. Treharne, "Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities," *Nature,* vol. 220 ,pp. 453-457, 1968.

[114] L. Borrás, G. A. Slafer, and M. E. Otegui, "Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal," *Field Crops Research,* vol. 86, pp. 131-146, 2004.

[115] Z. Xie, D. Jiang ,W. Cao, T. Dai, and Q. Jing, "Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post-anthesis soil water statusses," *Plant growth regulation,* vol. 41, pp. 117-127, 2003.

[116] T. C. Balser and D. L. Wixon, "Investigating biological control over soil carbon temperature sensitivity," *Global Change Biology,* vol. 15, pp. 2935-2949, 2009.

[117] R. L. Sinsabaugh, S. Manzoni, D. L. Moorhead, and A. Richter, "Carbon use efficiency of microbial communities: stoichiometry, methodology and modelling," *Ecology letters,* vol. 16, pp. 930-939, 2013.

[118] E. A. Davidson and I. A. Janssens, "Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change," *Nature,* vol. 440, pp. 165.2006 ,173-
[119] Z. P. Zhang PengLiang, "Effects of simulated enhancement of temperature on growth and root soil respiration rate and enzyme activity of spring wheat," 2016.
[120] Z. Guo, J. Han, Y. Zhang, and H. Zhuang, "Effects of temperature and time treatment on soil characteristics and wheat growth," *Frontiers in Sustainable Food Systems,* vol. 9, p. 1499224, 2025.
[121] M. Feldman, "Wheats Pp. 185–192," *Simmonds NW, editor., eds. Evolution of crop plants. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK.[Google Scholar],* 1995.
[122] P. R. Shewry and S. J. Hey, "The contribution of wheat to human diet and health," *Food and energy security,* vol. 4, pp. 178-202, 2015.
[123] G. Datt and M. Ravallion, "Farm productivity and rural poverty in India," *The Journal of Development Studies,* vol. 34, pp. 62-85, 1998.
[124] R. E. Evenson and M. Rosegrant, "The economic consequences of crop genetic improvement programmes," in *Crop variety improvement and its effect on productivity: The impact of international agricultural research*, ed: Cabi Publishing Wallingford UK, 2003, pp. 473-497.
[125] S. Fan and P. Hazell, "Returns to public investments in the less-favored areas of India and China," *American Journal of Agricultural Economics,* vol. 83, pp. 1217-1222, 2001.
[126] M. Renkow and D. Byerlee, "The impacts of CGIAR research: A review of recent evidence," *Food policy,* vol. 35, pp. 391-402, 2010.
[127] G. C. Nelson, M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson*, et al.*, *Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options* vol. 172: Intl Food Policy Res Inst, 2010.
[128] J. Dixon, H. Braun, and J. Crouch, "Overview: transitioning wheat research to serve the future needs of the developing world," *Wheat facts and futures* ,vol. 23, 2009.
[129] W. Darwall, V. Bremerich, A. De Wever, A. I. Dell, J. Freyhof, M. O. Gessner*, et al.*, "The Alliance for Freshwater Life: A global call to unite efforts for freshwater biodiversity science and conservation," vol. 28, pp. 1015-1022, 2.018
[130] A. Guadie, A. Yesigat, S. Gatew, A. Worku, W. Liu, F. O. Ajibade*, et al.*, "Evaluating the health risks of heavy metals from vegetables grown on soil irrigated with untreated and treated wastewater in Arba Minch, Ethiopia," vol. 761, p. 143302.2021 ,
[131] Y. Zhang, Y. Li, G. Huang, X. Zhai, and Y. J. A. W. M. Ma, "Improving efficiency and sustainability of water-agriculture-energy nexus in a transboundary river basin under climate change: A double-sided stochastic factional optimization method ",vol. 292, p. 108648, 2024.
[132] H. Dehghanisanij, S. Emami, and A. J. A. W. S. Khasheisiuki, "Functional properties of irrigated cotton under urban treated wastewater using an intelligent method," vol. 12, p. 66, 2022.
[133] A. Zymaroieva and P. J. B .o. P. A. A. Pysarenko, "Spatial relationships between soil properties and maize yield," vol. 4, pp. 108-115, 2019.
[134] F. J. R. Fao, URL: http://faostat. fao. org, "Food and agriculture organization of the United Nations," vol. 403, 2018.
[135] S. Ethio" ,Soil fertility status and fertilizer recommendation atlas for Tigray regional state, Ethiopia. July 2014, Addis Ababa, Ethiopia. Ethio SIS. 2015," ed, 2021.
[136] M. Rahimi, N. Kalantari, M. Sharifidoost, M. J. G. J. o. E. S. Kazemi, and Management, "Quality assessment of treated wastewater to be reused in agriculture," vol. 4, pp. 217-230, 2018.
[137] M. Farhadkhani, M. Nikaeen, M. Hadi, S. Gholipour, and G. J. C. Yadegarfar, "Campylobacter risk for the consumers of wastewater-irrigated vegetables based on field experiments," vol. 251, p. 126408, 2020.
[138] C. Smith, J. Oster, and G. J. A. W. M. Sposito, "Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment," vol. 157, pp. 59-64, 2015.
[139] H. Bohn, B. McNeal, and G. J. S. S. O'Connor, "Soil chemistry," vol. 129, p. 389, 1980.

[140] J. Oster, G. Sposito, and C. J. J. C. A. Smith, "Accounting for potassium and magnesium in irrigation water quality assessment," vol. 70, 2016.
[141] A. Kharazi, M. Leili, M. Khazaei, M. Y. Alikhani, R. J. J. o ،f. c. Shokoohi, and analysis, "Human health risk assessment of heavy metals in agricultural soil and food crops in Hamadan, Iran," vol. 100, p. 103890, 2021.
[142] S. Biswas, M. J. C. i. S. S. Mojid, and P. Analysis, "Changes in soil properties in response to irrigation of potato by urban wastewater," vol. 49, pp. 828-839, 2018.
[143] S. M. Saghebian, M. T. Sattari, R. Mirabbasi, and M. J. A. j. o. g. Pal, "Ground water quality classification by decision tree method in Ardebil region, Iran," vol. 7, pp.2014 ,4777-4767 .
[144] H. Canton, "Food and agriculture organization of the United Nations—FAO," in *The Europa directory of international organizations 2021*, ed: Routledge, 2021, pp. 297-305.
[145] P. Fraser, N. Schon, J. Piercy, A. Mackay, and M. J. N ،Z. J. o. A. R. Minor, "Influence of summer irrigation on soil invertebrate populations in a long-term sheep irrigation trial at Winchmore (Canterbury)," vol. 55, pp. 165-180, 2012.
[146] S. A. Schweizer, C. W. Mueller, C. Höschen, P. Ivanov, and I. J. B ،Kögel-Knabner, "The role of clay content and mineral surface area for soil organic carbon storage in an arable toposequence," vol. 156, pp. 401-420, 2021.
[147] M. Daneshvar, F. Fattahi, H. R. Rahmani, S. A. M. Sanavy, and M. J. N. S. B. Sami, "Effect of municipal wastewater irrigation and well water on plant and soil characteristics," vol. 12, pp. 409-419, 2020.
[148] Z. Aregahegn, M. J. A. Zerihun, and E. S. Science, "Study on irrigation water quality in the rift valley areas of Awash River Basin, Ethiopia," vol. 2021, p. 8844745, 2021.
[149] S. M. Mousavi, G. Brodie, K. Payghamzadeh, T. Raiesi, and A. J. J. o. A. i. E. H. R. Strivastava, "Lead bioavailability in the environment: its exposure and and effects," vol. 10, pp. 1-14, 2022.
[150] M. Tabari and A. J. J. o. E. S. Salehi, "Long-term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran," vol. 21, pp. 1438-1445, 2009.
[151] V. Tome, "Système Aquifère d'Iullemeden"·
[152] G. Eckstein and A. J. E. o. T. W. R. Hardberger, "Scientific, legal, and ethical foundations for Texas water law," pp. 5-35, 2009.
[153] H. J. R. Saibi and S. E. Reviews, "Geothermal resources in Algeria," vol. 13, pp. 2544-2552, 2009.
[154] A. Moulla, A. Guendouz, M.-H ،Cherchali, Z. Chaid, and S. J. Q. i. Ouarezki, "Updated geochemical and isotopic data from the Continental Intercalaire aquifer in the Great Occidental Erg sub-basin (south-western Algeria)," vol. 257, pp. 64-73, 2012.
[155] S. J. G. Arnórsson, "Deposition of calcium carbonate minerals from geothermal waters—theoretical considerations," vol. 18, pp. 33-39, 1989.
[156] J. Ayari, M. Barbieri, T. Boschetti, A. Barhoumi, A. Sellami, A. Braham*, et al.*, "Major-and trace-element geochemistry of geothermal water from the nappe zone, northern Tunisia: implications for mineral prospecting and health risk assessment," vol. 10, p. 151, 2023.
[157] C. A. J. Appelo and D. Postma, *Geochemistry, groundwater and pollution*: CRC press, 2004.
[158] L. S. Georgsson, I. G. Haraldsson, and M. Ómarsdóttir, "UNU Geothermal Training Programme in Iceland: Sharing Geothermal Knowledge with Developing Countries for 41 Years," in *World Geothermal Congress*, 2020.
[159] A. Cakin, G. Gokcen, A. Eroğlu, A. J. E. S. Baba, Part A: Recovery ,Utilization,, and E. Effects, "Hydrogeochemistry and environmental properties of geothermal fields. Case study: Balçova, Izmir-Turkey," vol. 34, pp. 732-745, 2012.
[160] J. J. S. S. S. o. A. J. Constantz, "Temperature dependence of unsaturated hydraulic conductivity of two soils," vol. 46, pp. 466-470, 1982.
[161] J. Bear, *Dynamics of fluids in porous media*: Courier Corporation, 2013.

[162] O. Farouki, "Thermal properties of soils," 1981.
[163] Z. Issam and D. J. G. E. Boutoutaou, "Irrigation Water Impact on Soil Properties in Arid Oued-Souf Region, Southeast Algeria," vol. 68, pp. 70–81-70–81, 2022.
[164] R. S. Ayers and D. W. Westcot, *Water quality for agriculture* vol. 29: Food and agriculture organization of the United Nations Rome, 1985.
[165] H. Marschner, *Marschner's mineral nutrition of higher plants*: Academic press, 2011.
[166] B. S. Razavi, E. Blagodatskaya, Y. J. S. B. Kuzyakov, and Biochemistry, "Temperature selects for static soil enzyme systems to maintain high catalytic efficiency," vol. 9 ,7pp. 15-22, 2016.
[167] R. L. Sinsabaugh, C. L. Lauber, M. N. Weintraub, B. Ahmed, S. D. Allison, C. Crenshaw*, et al.*, "Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale," vol. 11, pp. 1252-1264, 2008.
[168] M. D. Wallenstein, M. N. J. S. B. Weintraub, and Biochemistry, "Emerging tools for measuring and modeling the in situ activity of soil extracellular enzymes," vol. 40, pp. 2098-2106, 2008.
[169] J. R. da Silva, "Improvement of chickpea rhizobia by genetic transformation with symbiosis genes," Universidade de Evora (Portugal), 2018.
[170] V. Sharma, A. Sheershwal, and S. J. J. o. B. M. Bisht, "Rhizobacteria revolution: Amplifying crop resilience and yield in a changing climate through plant growth promotion," vol. 65, p. e70039, 2025.
[171] J. Katan, "Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects," 1980.
[172] H. Hajlaoui, M. Denden, and M. J. T. Bouslama, "Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (Cicer arietinum L.) au stade germination," vol. 25, pp. 168-173, 2007.
[173] K. Dhima, I. Vasilakoglou, I. Eleftherohorinos, and A. J. C. s. Lithourgidis, "Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and corn development," vol ,46 .pp. 345-352, 2006.
[174] G. Ofosu-Budu, J. N. Hogarh, J. Fobil, A. Quaye, S. Danso, D. J. R. Carboo, conservation*, et al.*, "Harmonizing procedures for the evaluation of compost maturity in two compost types in Ghana," vol. 54, pp. 205-209, 2010.
[175] M. A. Kader and S. J. J. o. e. b. Lindberg, "Uptake of sodium in protoplasts of salt-sensitive and salt-tolerant cultivars of rice, Oryza sativa L. determined by the fluorescent dye SBFI," vol. 56, pp. 3149-3158, 2005.
[176] G. H. Parisa, A. Ahmadreza, H .Mohammad, A. Asghar, R. Leila, G. J. I. J. o. M. R. Fateme*, et al.*, "Investigating the effect of stabilization exercise and proprioceptive neuromuscular facilitation exercises on cross-sectional area of deep cervical flexor muscles in patients with chronic non-specific neck pain," vol. 5, pp. 502-8, 2016.
[177] ف. ح. ش. J. A.-A. Journal ",الموازنة المائية بين الايراد المائي والاحتياجات المائية لنهر البتيرة في محافظة ميسان" , pp. 441-468, 2017.
[178] K. Djavanshir and H. Pourbeik, "Germination value-a new formula," 1976.
[179] H. Barrs and P. J. A. j. o. b. s. Weatherley, "A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves," vol. 15, pp. 413-428, 1962.
[180] J. Détrée, "Inventaire de la flore et cartographie des végétations d'une partie du site géologique du Guépelle (Saint-Witz, Val-d'Oise)," Conservatoire botanique national du Bassin parisien; Muséum national d …, 2025.
[181] C. O. H. PRADESH, "SHIVANI THAKUR (H-2019-22-M)," Dr. YASHWANT SINGH PARMAR UNIVERSITY OF HORTICULTURE AND FORESTRY, 2021.
[182] C. Forti, "Seeds in the context of agricultural research: combining traditional and innovative approaches to boost seed quality," 2020.
[183] K. ISIAKA, "SEED PRIMING AGENT FOR YIELD IMPROVEMENT AND ALLEVIATION OF MOISTURE STRESS IN RICE (Oryza sativa L.)," 2016.

قائمة الملاحق

قائمة الملاحق

❖ نتائج اختبار t-test (One-tail):

الجدول1: يوضح النسبة المئوية لنبات القمح

T sat	0.8368322
P(T<=t) one-tail	0.217372
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول2: يوضح النسبة المئوية لنبات الشعير

T sat	-0.433013
P(T<=t) one-tail	0.3436659
t Critical one-tail	2.1318468

الجدول3: يوضح سرعة انبات القمح

T sat	0.7486941
P(T<=t) one-tail	0.2411744
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول4: يوضح سرعة انبات الشعير

T sat	0.822856395
P(T<=t) one-tail	0.221028962
t Critical one-tail	1.943180281

الجدول5: مؤشر قوة الانبات القمح بالنسبة للاطوال

T sat	0.7486941
P(T<=t) one-tail	0.2411744
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول6: مؤشر قوة الانبات الشعير بالنسبة للاطوال

t Stat	1.4570393
P(T<=t) one-tail	0.0976838
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول7: مؤشر قوة الانبات بالنسبة للوزن الجاف للقمح

t Stat	1.3525211
P(T<=t) one-tail	0.1124775
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول8: مؤشر قوة الانبات بالنسبة للوزن الجاف للشعير

t Stat	2.9499892
P(T<=t) one-tail	0.0128067
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول9: مؤشر قوة الانبات بالنسبة للوزن الرطب للقمح

t Stat	-0.36385
P(T<=t) one-tail	0.3642235
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول10: مؤشر قوة الانبات بالنسبة للوزن الرطب للشعير

t Stat	1.85743
P(T<=t) one-tail	0.0563121
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول11: مؤشر توتر المادة الجافة للقمح تجربة1

t Stat	1.3525211
P(T<=t) one-tail	0.1124775
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول12: مؤشر توتر المادة الجافة الشعير تجربة 1

t Stat	2.9499892
P(T<=t) one-tail	0.0128067
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول13: مؤشر توتر الانبات للقمح

t Stat	0.1180506
P(T<=t) one-tail	0.4549402
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول14: مؤشر توتر الانبات الشعير

t Stat	0.3975508
P(T<=t) one-tail	0.3523595
t Critical one-tail	1.9431803

الجدول15: سمك الخلية الشعير

t Stat	12.886063
P(T<=t) one-tail	0.0001046
t Critical one-tail	2.1318468

الجدول16: مساحة الخلية الشعير

t Stat	2.782375
P(T<=t) one-tail	0.0248488
t Critical one-tail	2.1318468

الجدول17: قطر الحزمة كل الشعير

t Stat	6.2410157
P(T<=t) one-tail	0.0016796
t Critical one-tail	2.1318468

الجدول18: الحزمة الوعائية الشعير

t Stat	1.7543951
P(T<=t) one-tail	0.0771113
t Critical one-tail	2.1318468