ISSN: 1812-0512 (Print) 2790-346X (online)

Waist Journal for Human Sciences

Journal Homepage: https://wjfh.uowasit.edu.iq/index.php/wjfh/en

Research article

The Dialectic of Sustainability and Biotechnology in Adaptive Textile Design and Its Impact on the Production of Multifunctional Clothing Systems within Contemporary Circular Economy Approaches

Res. Noor Aref Saleh

Urban and Regional Planning Center for Postgraduate Studies, University of Baghdad, Iraq

ARTICLE INFO

Keywords: *Sustainability, Biotechnology, Adaptive Textiles, Multifunctional Clothing Systems, Circular Economy*.

***Correspondence author*:**

noor.areef@iurp.uobaghdad.edu.iq

Received: 27 **July** 2026
Revised: 16 **October** 2026
Accepted: 17 **October** 2026
Published: 25 **November** 2026

1812-0512 /© 2026 The Author(s). Published by Wasit Journal for Humanities Sciences, Wasit University. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

***Cite*:**

Saleh, N. A. (2026). The Dialectic of Sustainability and Biotechnology in Adaptive Textile Design and Its Impact on the Production of Multifunctional Clothing Systems within Contemporary Circular Economy Approaches. Wasit Journal for Human Sciences, 22(4/Pt2). https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss4/Pt2.2210

ABSTRACT

This study examined the relationship between sustainability and biotechnology in adaptive textile design and their role in developing multifunctional clothing systems based on circular economy principles. It reviewed the fundamental concepts of sustainability, biotechnology, and adaptive textiles, highlighting the importance of biomaterials, enzymes, renewable fibers, and smart textiles in improving product efficiency and reducing environmental impacts. The study adopted a descriptive-analytical approach, alongside an applied study involving a sample of 83 specialists using a validated questionnaire. The results revealed a high level of agreement on the importance of integrating biotechnology with adaptive design to enhance textile functionality, extend product lifespan, reduce waste, and support reuse and recycling. These findings confirm the potential of this integration to promote sustainability and foster a more innovative and environmentally responsible clothing industry.

جدلية الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية وأثرها في صناعة الألبسة متعددة الوظائف ضمن مقاربات الاقتصاد الدائري المعاصر

الباحثة نور عارف صالح
مركز التخطيط الحضري والإقليمي للدراسات العليا، جامعة بغداد، العراق

المُستخلص

تناول البحث العلاقة بين الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية، ودورهما في تطوير أنظمة ملبسية متعددة الوظائف وفق مبادئ الاقتصاد الدائري. واستعرض المفاهيم الأساسية للاستدامة والتكنولوجيا الحيوية والمنسوجات التكيفية، مع بيان أهمية المواد الحيوية والإنزيمات والألياف المتجددة والمنسوجات الذكية في تحسين كفاءة المنتجات الملبسية وتقليل آثارها البيئية. واعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي، إلى جانب دراسة تطبيقية شملت عينة من (٨٣) مختصًا، باستخدام استبانة محكمة. وأظهرت النتائج ارتفاع مستوى الاتفاق على أهمية دمج التكنولوجيا الحيوية بالتصميم التكيفي في تعزيز الأداء الوظيفي للمنسوجات، وإطالة عمرها الاستعمالي، والحد من النفايات، ودعم إعادة الاستخدام والتدوير، بما يسهم في تحقيق الاستدامة وتطوير صناعة ملبسية مبتكرة ومسؤولة بيئيًا

الكلمات المفتاحية: الاستدامة، التكنولوجيا الحيوية، المنسوجات التكيفية، انظمة الالبسة متعددة الوظائف، الاقتصاد الدائري.

المبحث الأول

الإطار المنهجي للبحث

المقدمة

شهدت صناعة الأزياء والمنسوجات تحديات بيئية متزايدة بسبب توسع الإنتاج والاستهلاك وتراكم النفايات النسيجية واستنزاف الموارد، مما عزز التوجه نحو بدائل أكثر استدامة، وأصبحت الاستدامة أساسًا لتوجيه التصميم والإنتاج نحو التوازن بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. وفي هذا الإطار، برزت التكنولوجيا الحيوية من خلال توظيف الإنزيمات والكائنات الدقيقة والمواد الحيوية لتطوير منسوجات أكثر كفاءة وأقل تأثيرًا في البيئة. كما أسهمت هذه التطبيقات في تحسين الخصائص الوظيفية للمنسوجات وتقليل استهلاك الطاقة والمياه والمواد الكيميائية المستخدمة في مراحل الإنتاج المختلفة.

اولا: مشكلة البحث

ويمكن صياغة المشكلة بالسؤال الآتي:

ما أثر توظيف التكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية على إنتاج أنظمة ملبسية متعددة الوظائف تسهم في تحقيق مبادئ الاستدامة والاقتصاد الدائري المعاصر؟

ثانيا: أهمية البحث

١. تسليط الضوء على دور التكنولوجيا الحيوية في تطوير صناعة المنسوجات المستدامة.

٢. بيان أهمية المنسوجات التكيفية في إطالة العمر الافتراضي لمنتجات الألبسة.

٣. إبراز العلاقة بين الابتكار التكنولوجي ومبادئ الاقتصاد الدائري في قطاع الأزياء.

ثالثا: أهداف البحث

١. التعرف إلى مفهوم الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية والاقتصاد الدائري في قطاع المنسوجات.

٢. دراسة دور التكنولوجيا الحيوية في تطوير المواد النسيجية المستدامة.

٣. تحليل العلاقة الجدلية بين التكنولوجيا الحيوية والاستدامة في صناعة المنسوجات.

رابعا: فرضية البحث

ينطلق البحث من فرضية مفادها أن توظيف التكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية يسهم بصورة فاعلة في تطوير أنظمة ملبسية متعددة الوظائف أكثر استدامة، من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد، وإطالة دورة حياة منتجات الألبسة، وتقليل النفايات النسيجية، بما ينسجم مع مبادئ الاقتصاد الدائري المعاصر.

خامسا: أسباب اختيار الموضوع

١. حداثة موضوع التكنولوجيا الحيوية وتطبيقاته في تصميم المنسوجات.

٢. أهمية المنسوجات التكيفية بوصفها أحد الاتجاهات المستقبلية في صناعة الأزياء.

٣. قلة الدراسات العربية التي تناولت العلاقة بين التكنولوجيا الحيوية والمنسوجات التكيفية من منظور الاقتصاد الدائري.

سادسا: منهجية البحث

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي، من خلال مراجعة الأدبيات والدراسات العلمية المتخصصة المتعلقة بالاستدامة والتكنولوجيا الحيوية والاقتصاد الدائري والمنسوجات التكيفية، وتحليل المفاهيم والنظريات والتطبيقات المعاصرة المرتبطة بها، وصولاً إلى استنتاج دور التكنولوجيا الحيوية في تطوير أنظمة ملبسية متعددة الوظائف تدعم الاستدامة وتنسجم مع متطلبات الاقتصاد الدائري.

ثامناً: حدود البحث

تحدد البحث بالحدود الآتية:

١. الحدود المكانية: اقتصر التطبيق الميداني على البيئة الأكاديمية والمهنية المرتبطة بعينة البحث، والمتمثلة في كلية التربية للبنات/قسم الاقتصاد المنزلي، مع المختصين ذوي الصلة بموضوع الدراسة .

٢. الحدود الزمانية: اقتصر البحث زمانيًا على المدة التي أُنجزت فيها إجراءات الدراسة التطبيقية، وجُمعت خلالها بيانات الاستبانة وحُللت النماذج المعاصرة من ٢٠٢٦/٣/٢٢ الى ٢٠٢٦/١٠/٣٠.

سابعا: تحديد المصطلحات

أ. **مفهوم الاستدامة**

الاستدامة لغةً:

مصدر الفعل «استدام»، ويُقال: ((دام الشيء يدوم دوامًا، أي ثبت واستمر وبقي، واستدام الشيءَ أي طلب دوامَه واستمرارَه. وعليه، تدل الاستدامة لغويًا على بقاء الشيء واستمراره مدةً من الزمن دون انقطاع)). (نخبة من اللغويين، ٢٠٠٤، ص. ٢٦٨)

الاستدامة اصطلاحا:

((يُعد مفهوم الاستدامة في تصميم الأزياء والمنسوجات أحد المفاهيم المعاصرة التي برزت استجابةً للتحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية الناتجة عن التوسع الكبير في صناعة الأزياء، وما ترتب عليها من استنزاف للموارد الطبيعية وتزايد النفايات النسيجية والتلوث البيئي. وأصبح هذا المفهوم إطاراً موجهاً للممارسات التصميمية التي تسعى إلى تحقيق التوازن بين تلبية الاحتياجات الحالية والحفاظ على حقوق الأجيال القادمة في الموارد الطبيعية)). (Gwilt, 2020, p. 3)

ويعود الأصل المفاهيمي للاستدامة إلى تقرير «مستقبلنا المشترك» (Our Common Future) الصادر عن اللجنة العالمية المعنية بالبيئة والتنمية عام ١٩٨٧، الذي عرّف التنمية المستدامة بأنها: «التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها الخاصة». (WCED, 1987, p. 43)

وترى كيت فليتشر (Kate Fletcher) أن الاستدامة في الأزياء لا تقتصر على إنتاج ملابس أقل ضرراً بالبيئة، بل تتطلب إعادة النظر في أنماط الإنتاج والاستهلاك والعلاقات الاجتماعية المرتبطة بصناعة الأزياء، بما يسهم في إحداث تغيير جذري في النظام الملبسي المعاصر. (Fletcher, 2014, p. 8)

كما تؤكد فليتشر وليندا غروس أن الأزياء المستدامة تمثل ممارسة تصميمية تسعى إلى تحقيق التوازن بين الاعتبارات البيئية والاجتماعية والاقتصادية، مع التركيز على تطوير منتجات وأنظمة أكثر كفاءة ومسؤولية. (Fletcher & Grose, 2012, p. 8–9)

الاستدامة إجرائيًا:

مجموعة الممارسات والإجراءات التصميمية التي تُوظَّف في تصميم الأزياء والمنسوجات، من خلال إعادة استخدام الخامات النسيجية وتدويرها، وتقليل الهدر في المواد، واستثمار الموارد المتاحة بكفاءة، بهدف إنتاج تصاميم مبتكرة تجمع بين الجمالية والوظيفية، وتحدّ من الآثار البيئية السلبية لصناعة الأزياء والمنسوجات.

ب. **مفهوم التكنولوجيا الحيوية**

التكنولوجيا لغةً:

يُعدّ مصطلح التكنولوجيا من المصطلحات الحديثة نسبيًا من حيث الاستعمال اللفظي، وهو : ((مصطلح ذو أصل يوناني يتكون من مقطعين؛ الأول (Techno) ويعني الفن أو المهارة أو الصناعة، والثاني (Logie) ويعني العلم أو الدراسة. وبذلك يُشير المصطلح إلى العلم الذي يدرس الفنون والمهارات وأساليب الصناعة وتطبيق المعرفة العلمية عمليًا، وقد عُرِّب إلى اللغة العربية بنقل لفظه الأجنبي «تكنولوجيا» دون إيجاد مقابل عربي أصيل له)). (دليو، ٢٠١٠، ص. ١٩)

التكنولوجيا اصطلاحًا:

تُعدّ التكنولوجيا مفهومًا متعدد الأبعاد اختلف الباحثون في تحديده تبعًا لاختلاف تخصصاتهم وتطور تطبيقاته؛ إذ تشير إلى الوسائل والأدوات والمعارف التي ابتكرها الإنسان واستثمرها في تطويع الطبيعة، وتلبية احتياجاته المتزايدة، وتطوير أنشطته المختلفة، حتى أصبحت عنصرًا مؤثرًا في الحياة العامة والخاصة وفي التغيرات التي يشهدها المجتمع المعاصر. (زمام، سليماني، ٢٠١٣، ص. ١٦٥)

تُعد التكنولوجيا الحيوية من المجالات العلمية الحديثة التي أحدثت تحولاً كبيراً في العديد من القطاعات الصناعية، ومن بينها قطاع المنسوجات، إذ تعتمد على توظيف الكائنات الحية الدقيقة والأنظمة البيولوجية والعمليات الحيوية في تطوير منتجات وعمليات إنتاج أكثر كفاءة واستدامة. وقد عرفت اتفاقية التنوع البيولوجي التكنولوجيا الحيوية بأنها: "أي تطبيق تكنولوجي يستخدم النظم البيولوجية أو الكائنات الحية أو مشتقاتها لإنتاج أو تعديل منتجات أو عمليات لأغراض استخدام محددة". (Convention, 1992, p. 3)

ويؤكد الباحثون العرب أن هذا التعريف يعكس الطبيعة التكاملية للتكنولوجيا الحيوية، التي تجمع بين العلوم الحيوية والهندسية والكيميائية بهدف تحقيق التنمية الصناعية المستدامة. (الشاذلي، ٢٠١٧، ص. ٤٧)

التكنولوجيا إجرائيًا: تُعرَّف التكنولوجيا في هذا البحث بأنها مجموعة الوسائل والأدوات والتقنيات الحديثة التي تُوظَّف في تنفيذ الأعمال والأنشطة التصميمية، بما يسهم في تطوير أساليب العمل، وتحسين كفاءة الأداء، وتحقيق الأهداف المطلوبة بدقة وفاعلية.

ت. **مفهوم الاقتصاد الدائري وأبعاده في صناعة الألبسة**

وعُرّف الاقتصاد الدائري بأنه: "اقتصاد قائم على التصميم، يهدف إلى المحافظة على المنتجات والمواد عند أعلى مستويات المنفعة والقيمة، وإعادة استخدامها بدلًا من التخلص منها بعد انتهاء الاستخدام الأول" (Nobre, 2021).

وفي السياق ذاته، يقوم الاقتصاد الدائري على إنشاء حلقات متكاملة لتدفق المواد، والتحول من امتلاك المنتجات واستهلاكها لمرة واحدة إلى استخدامها والاستفادة منها مدة أطول. كما تهدف نماذج الأعمال الدائرية إلى خفض التكاليف وزيادة الإيرادات وإدارة المخاطر، فضلًا عن توفير فرص للتمويل والاستثمار في المشروعات التي تدعم التحول نحو الاستدامة (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

وقد عرفت مؤسسة إلين ماك آرثر (Ellen MacArthur Foundation) الاقتصاد الدائري بأنه: ((نظام صناعي يتسم بالتصميم التجديدي والترميمي بطبيعته، ويهدف إلى الحفاظ على المنتجات والمكونات والمواد عند أعلى مستويات المنفعة والقيمة في جميع الأوقات)). (Foundation, 2013, p. 7)

يرى الباحثون أن تطبيق الاقتصاد الدائري في صناعة الألبسة يبدأ من مرحلة التصميم، من خلال تطوير منتجات قابلة للإصلاح والتفكيك وإعادة الاستخدام والتدوير، مع مراعاة الجوانب البيئية والاقتصادية منذ المراحل الأولى لتطوير المنتج (Goldsworthy, 2014, p. 115).

١. البعد البيئي: يهدف إلى ترشيد استخدام الموارد الطبيعية وتقليل استهلاك المياه والطاقة والانبعاثات والنفايات النسيجية، بما يسهم في خفض البصمة البيئية لصناعة الأزياء (Niinimäki, 2018, pp. 35–37؛ الأشقر وحسنين، ٢٠٢٤، ص. ١٩٢).

٢. البعد الاجتماعي: يتمثل في تعزيز المسؤولية الاجتماعية، وضمان ظروف عمل عادلة وآمنة، واحترام حقوق العاملين، ودعم المجتمعات المحلية، وتشجيع الاستهلاك المسؤول. ويتطلب تحقيقه تعاون المصممين والمنتجين والمستهلكين وصناع السياسات (Kirchherr et al., 2017, pp. 224–225).

٣. البعد التصميمي والتقني: يركز على اعتماد تصميمات تسهّل إصلاح الملابس وإعادة استخدامها وتدويرها، إذ تؤثر القرارات المتخذة في مرحلة التصميم في الأثر البيئي للمنتج طوال دورة حياته (Gwilt, 2020, p. 42).

التعريف الإجرائي: هو مجموعة الممارسات التصميمية والإنتاجية المتبعة في صناعة الألبسة، التي تهدف إلى ترشيد استخدام الموارد، وتقليل النفايات النسيجية، وإطالة العمر الوظيفي للملابس من خلال الإصلاح وإعادة الاستخدام والتدوير، بما يحقق الأبعاد البيئية والاجتماعية والتصميمية والتقنية للاستدامة.

ث. **مفهوم المنسوجات التكيفية وانظمة الالبسة متعددة الوظائف**

تُعرَّف المنسوجات التكيفية بأنها :؟ (منسوجات تستجيب للتغيرات البيئية والفسيولوجية والميكانيكية من خلال تعديل خصائصها ووظائفها وفق احتياجات المستخدم، مثل تنظيم الحرارة والرطوبة والاستجابة للحركة والضغط))، (السيد، ٢٠٢٠، ص. ٧٤؛ Langenhove, 2007, p. 3). وتمثل تطورًا للمنسوجات الذكية بفضل التقدم في علوم المواد وتقنيات النانو والإلكترونيات المرنة والتكنولوجيا الحيوية (المشاري وعلي، ٢٠٢٦، ص. ٧٠٦).

أما أنظمة الألبسة متعددة الوظائف، فهي منتجات أو أنظمة ملبسية تجمع وظائف متعددة في قطعة واحدة، مع المحافظة على كفاءتها الوظيفية والجمالية وتلبية متطلبات الاستخدام المختلفة (أحمد، ٢٠٢٥، ص. ٤٤١).

سابعا: الدراسات السابقة

١. Schiros et al. (2021)

عنوان الدراسة: Bioengineering Textiles Across Scales for a Sustainable Circular Economy.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى توضيح دور الهندسة الحيوية في تطوير الألياف والمنسوجات المستدامة، وبيان إمكان توظيف التقنيات الحيوية في عمليات الإنتاج النسيجي بما يدعم الاقتصاد الدائري ويحد من الآثار البيئية.

أبرز النتائج: أكدت الدراسة أهمية دمج الهندسة الحيوية في تطوير المواد النسيجية، والاستفادة من الموارد والمخلفات، وتبني ممارسات إنتاج تسهم في تعزيز الاستدامة.

٢. Rahman et al. (2020)

عنوان الدراسة: The Use of Biotechnologies in Textile Processing and Environmental Sustainability: An Emerging Market Context.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى بحث دور التكنولوجيا الحيوية في معالجة المنسوجات، مع التركيز على استخدام المعالجات الإنزيمية وإمكاناتها في تحسين العمليات الإنتاجية وتقليل الأضرار البيئية.

أبرز النتائج: أوضحت الدراسة أن التقنيات الحيوية يمكن أن توفر بدائل لبعض المعالجات التقليدية، وأن تبنيها يرتبط بالفوائد البيئية والاقتصادية، فضلاً عن وجود تحديات قد تعوق تطبيقها في الصناعة.

٣. Chatha, Asgher, and Iqbal (2017)

عنوان الدراسة: Enzyme-Based Solutions for Textile Processing and Dye Contaminant Biodegradation—A Review.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى استعراض تطبيقات الإنزيمات في معالجة المنسوجات والتحلل الحيوي للملوثات الناتجة عن الأصباغ، وبيان إمكانات استخدام المعالجات الحيوية بديلاً لبعض العمليات الكيميائية التقليدية.

أبرز النتائج: أبرزت الدراسة أهمية الإنزيمات في تطوير أساليب معالجة نسيجية أكثر ملاءمة للبيئة، ولا سيما في الحد من الملوثات المرتبطة بعمليات الصباغة والمعالجة.

٤. Dulal et al. (2022)

عنوان الدراسة: Toward Sustainable Wearable Electronic Textiles.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى استعراض التطورات في المنسوجات الإلكترونية القابلة للارتداء، مع التركيز على دمج الوظائف الإلكترونية والاستشعارية في المواد النسيجية، ومناقشة متطلبات الاستدامة في إنتاجها واستخدامها.

أبرز النتائج: أوضحت الدراسة أهمية تطوير منسوجات تجمع بين الأداء الوظيفي والتقنيات الإلكترونية، مع ضرورة الاهتمام بالمواد المستخدمة، وإمكانات إعادة التدوير، وتقليل الآثار البيئية المرتبطة بالمنتجات الإلكترونية القابلة للارتداء.

المبحث الثاني

التكنولوجيا الحيوية والاستدامة في تصميم المنسوجات التكيفية

المطلب الأول: التكنولوجيا الحيوية وتطوير المواد النسيجية المستدامة

تُسهم التكنولوجيا الحيوية في تطوير صناعة المنسوجات من خلال توظيف الإنزيمات لتحسين الخامات وعمليات الإنتاج والتجهيز، بما يقلل الاعتماد على بعض المواد الكيميائية والموارد غير المتجددة، مع المحافظة على الخصائص الوظيفية والجمالية للمنسوجات، فضلًا عن تطوير مواد حيوية جديدة ومعالجة الملوثات الناتجة عن التصنيع النسيجي. (Shahid et al., 2016, pp. 2256–2281; Madhu & Chakraborty, 2017, pp. 114–133)

أولًا: دور التكنولوجيا الحيوية في تطوير المواد النسيجية

تسهم التكنولوجيا الحيوية في تطوير المواد النسيجية من خلال استخدام الإنزيمات والبوليمرات الحيوية لإنتاج خامات جديدة وتحسين خصائص الألياف والأقمشة، فضلًا عن تقليل شدة بعض المعالجات التقليدية، بحسب نوع المادة وظروف التشغيل (Shahid et al., 2016, p. 2257).

كما يمكن توظيفها في مراحل متعددة من التصنيع، بدءًا من إنتاج المواد الأولية وصولًا إلى التجهيز والتلوين والتشطيب، بما يعزز كفاءة الإنتاج ويحسن الأداء البيئي والتقني للمنسوجات (Madhu & Chakraborty, 2017, p. 115).

ثانيًا: المعالجات الإنزيمية وتطوير خصائص الأقمشة

تُعد المعالجات الإنزيمية من التطبيقات المهمة للتكنولوجيا الحيوية في صناعة المنسوجات، إذ تُستخدم إنزيمات متخصصة لإزالة المواد غير المرغوب فيها وتحسين خصائص الأقمشة، ومنها إزالة النشا والتلميع الحيوي ومعالجة الصوف والألياف النباتية (Shahid et al., 2016, p. 2257; Madhu & Chakraborty, 2017, p. 115).

وتُستخدم إنزيمات الأميليز لإزالة النشا المضاف إلى الخيوط أثناء التصنيع، وتهيئة الأقمشة للصباغة والتجهيز اللاحق، مع إمكانية تقليل الحاجة إلى بعض المعالجات الكيميائية التقليدية (Shahid et al., 2016, p. 2258).

أما التلميع الحيوي، فيعتمد على إنزيمات السليولاز لإزالة الألياف الدقيقة البارزة من سطح الأقمشة القطنية، مما يقلل الوبر والتكوير ويحسن النعومة والمظهر، مع ضرورة ضبط المعالجة لتجنب التأثير في متانة القماش (Mojsov, 2014, p. 21).

وتشمل التطبيقات الأخرى استخدام إنزيمات البكتيناز في معالجة الألياف النباتية، والبروتياز في معالجة الصوف، فضلًا عن معالجة المياه الناتجة عن التصنيع. وتختلف جاهزية هذه التطبيقات صناعيًا، لذا ينبغي تقييم كل منها وفق كفاءتها وكلفتها وإمكان تطبيقها على نطاق واسع (Shahid et al., 2016, p. 2260).

ثالثًا: تطوير المواد النسيجية ذات الأصل الحيوي

يمثل تطوير الألياف والبوليمرات الحيوية اتجاهًا مهمًا للاستدامة في صناعة المنسوجات، إذ يعتمد على مواد متجددة أو ناتجة عن عمليات بيولوجية لتقليل استخدام المواد الخام الأحفورية (Tian et al., 2022, p. 1).

ومن أمثلتها حمض البولي لاكتيك (PLA)، الذي يُنتج من حمض اللاكتيك الناتج عن التخمير، ويمكن تحويله إلى ألياف. وتتوقف استدامته على مصادر المواد الأولية واستهلاك الطاقة والمياه وطرق التخلص منه بعد الاستعمال (Tian et al., 2022, p. 2).

كما يُعد السليلوز البكتيري من المواد الواعدة، إذ تنتجه أنواع من البكتيريا، ويُبحث استخدامه في الملابس والإكسسوارات والأحذية والإلكترونيات القابلة للارتداء، بما يتيح تطوير خامات بديلة للمواد التقليدية (Nayak et al., 2024, p. 6686).

وعلى الرغم من إمكانات هذه المواد، فإن استخدامها يواجه تحديات تتعلق بكلفة الإنتاج، وزيادة حجم التصنيع، وثبات الجودة، وتوفير الخصائص الميكانيكية المطلوبة. وقد تسهم المخلفات الزراعية والغذائية في تحسين استغلال الموارد، لكن ذلك يتطلب تقييم كلفة جمعها ومعالجتها (Nayak et al., 2024, p. 6703).

رابعًا: التكنولوجيا الحيوية والاستدامة في عمليات التصنيع النسيجي

تسهم التكنولوجيا الحيوية في تحسين استدامة عمليات التصنيع النسيجي من خلال تقليل استهلاك الموارد والحد من التلوث، ولا سيما باستخدام الإنزيمات في إزالة النشا والتلميع الحيوي ومعالجة الألياف، بما قد يوفر بدائل لبعض المعالجات التقليدية (Madhu & Chakraborty, 2017, p. 115; Shahid et al., 2016, p. 2257).

كما تُستخدم الإنزيمات والكائنات الدقيقة في معالجة ملوثات الصباغة والتجهيز، من خلال تفكيك بعض المركبات أو إزالة اللون من المياه المصروفة. وتعتمد فعالية هذه المعالجة على نوع الملوثات وظروف التشغيل، مع ضرورة التأكد من سلامة نواتج المعالجة قبل تصريف المياه أو إعادة استخدامها (Shahid Chatha et al., 2017, p. 14006).

ومع ذلك، لا يعني استخدام التكنولوجيا الحيوية تحقق الاستدامة تلقائيًا؛ إذ قد تتطلب بعض التطبيقات طاقة ومياه إضافية، أو تواجه ارتفاع الكلفة وصعوبة استعادة الإنزيمات وإعادة استخدامها. لذلك، ينبغي تقييمها بمقارنتها بالعمليات التقليدية من حيث استهلاك الموارد والتلوث وجودة المنتج وكلفة الإنتاج (Madhu & Chakraborty, 2017, p. 128).

خامسًا: التحديات والآفاق المستقبلية

تواجه تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في صناعة المنسوجات تحديات علمية وتقنية واقتصادية، تتمثل في ضبط ظروف المعالجة الإنزيمية، وتطوير مواد حيوية تتمتع بالمتانة والمرونة وثبات الخصائص، فضلًا عن خفض تكاليف الإنتاج وضمان إمكانية التصنيع على نطاق واسع (Madhu & Chakraborty, 2017, p. 120; Nayak et al., 2024, p. 6703).

وتتجه الأبحاث المستقبلية إلى تطوير إنزيمات أكثر كفاءة، وتحسين استعادتها وإعادة استخدامها، والاستفادة من المخلفات الزراعية والغذائية في إنتاج مواد نسيجية جديدة. ويتطلب ذلك تعاون التخصصات العلمية المختلفة، مع تقييم الأداء والجدوى الاقتصادية والأثر البيئي لكل تطبيق (Shahid et al., 2016, p. 2270; Tian et al., 2022, p. 2; Nayak et al., 2024, p. 6705).

المطلب الثاني: جدلية الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية

تتجه صناعة المنسوجات إلى توظيف التكنولوجيا الحيوية لتطوير مواد متجددة وتحسين كفاءة الإنتاج وتقليل الآثار البيئية، مع ضرورة الموازنة بين الابتكار التقني ومتطلبات الاستدامة والمسؤولية البيئية.

أولًا: فرص التكنولوجيا الحيوية لتحقيق الاستدامة

تسهم التكنولوجيا الحيوية في استخدام مواد متجددة وقابلة للتحلل، وتطوير ألياف قابلة لإعادة التدوير، بما يدعم الاقتصاد الدائري (خشبة وآخرون، ٢٠٢٢، ص. ٣٨). كما تساعد الإنزيمات الحيوية في تحسين عمليات الصباغة والتبييض والتشطيب وتقليل استهلاك المياه والطاقة والمواد الكيميائية (إبراهيم، ٢٠٢٣، ص. ١١٤). وتتيح أيضًا تطوير منسوجات ذكية ذات خصائص صحية ووقائية تسهم في إطالة عمر الملابس وتقليل الاستهلاك المتكرر (الحداد، ٢٠٢٥، ص. ٦٨٢).

ثانيًا: التحديات البيئية والأخلاقية والاقتصادية

تتمثل أبرز التحديات البيئية في احتمال زيادة الضغط على الأراضي الزراعية والموارد المائية عند التوسع في استخدام المواد الحيوية (الأشرم، ٢٠١٠، ص. ٨٣). كما تثير الهندسة الوراثية قضايا تتعلق بسلامة التطبيقات والتنوع الحيوي، فضلًا عن حقوق الملكية الفكرية واحتكار التقنيات الحديثة (عبد الفتاح، ٢٠١٩، ص. ٩٩).

ثالثًا: تقييم دورة الحياة للمنسوجات الحيوية

يساعد تقييم دورة الحياة على قياس استهلاك الطاقة والمياه والانبعاثات وتحديد المراحل الأكثر تأثيرًا في البيئة. ولا يعني استخدام المواد الحيوية تحقق الاستدامة تلقائيًا، بل يتطلب تقييم الأثر البيئي للمنتج منذ التصنيع حتى الاستخدام والتخلص النهائي منه (أحمد، ٢٠٢٣، ص. ٧٦).

المبحث الثالث

المنسوجات التكيفية وانظمة الالبسة متعددة الوظائف

المطلب الأول: المنسوجات التكيفية وخصائصها الوظيفية

شهدت صناعة المنسوجات تطورًا بفعل التقدم في علوم المواد وتقنيات النانو والإلكترونيات القابلة للارتداء، مما أدى إلى ظهور المنسوجات التكيفية أو الذكية القادرة على استشعار التغيرات البيئية والفسيولوجية والاستجابة لها، بما يعزز راحة المستخدم والأداء الوظيفي للملابس (متولي وحسين، ٢٠٢٣، ص. ١٦٧).

١. التطبيقات الطبية

تُستخدم المنسوجات الذكية طبيًا لمراقبة المؤشرات الحيوية، مثل ضربات القلب ودرجة حرارة الجسم والتنفس، عبر مستشعرات مدمجة في الملابس (Schneegass, 2017, p. 225). كما تسهم الجوارب الذكية في متابعة مرضى السكري والكشف المبكر عن مخاطر تقرحات القدم، ودعم إعادة التأهيل والمتابعة عن بُعد.



شكل (١): تطبيقات حقيقية للمنسوجات الذكية في الرعاية الصحية، تشمل القمصان الطبية الذكية المستخدمة لمراقبة تخطيط القلب والجوارب الذكية المخصصة لمرضى السكري للكشف المبكر عن الالتهابات وتقرحات القدم.

٢. التطبيقات العسكرية والأمنية

استُخدمت المنسوجات الذكية في تصميم ملابس عسكرية متطورة توفر الحماية من المخاطر الكيميائية والبيولوجية والحرارية، فضلاً عن مراقبة الحالة الصحية للجنود أثناء تنفيذ المهام الميدانية، (Langenhove, 2013, p. 235) كما تسهم هذه التقنيات في تعزيز كفاءة الاتصال وتتبع الأفراد في البيئات الخطرة.



شكل (٣): نماذج عملية للمنسوجات الذكية المستخدمة في المجال العسكري، والتي تتضمن أنظمة مراقبة صحية وحماية متقدمة للجنود في البيئات الخطرة.

٣. الأزياء الذكية والتفاعلية

أحدثت المنسوجات الذكية تحولاً في مجال تصميم الأزياء، إذ أصبحت الملابس قادرة على تغيير اللون أو تنظيم الحرارة أو التفاعل مع البيئة المحيطة استجابةً لمؤثرات معينة (الحداد، الصياد، ٢٠٢٥، ص. ٦٩٤)، وقد ساهم ذلك في تطوير صناعة الألبسة تجمع بين الجوانب الجمالية والوظيفية بما يتوافق مع متطلبات المستخدم المعاصر.



شكل (٤): أمثلة حقيقية للأزياء الذكية التفاعلية التي تستخدم تقنيات الإضاءة والمستشعرات والتغيرات الحرارية لإنتاج تصميمات تجمع بين الوظائف التقنية والجماليات المعاصرة.

٤. التطبيقات الصناعية

تستخدم المنسوجات الذكية في تطوير معدات الحماية الشخصية للعاملين في البيئات الصناعية الخطرة، من خلال مراقبة الظروف البيئية والمؤشرات الحيوية للعاملين، وإرسال تنبيهات عند التعرض لمستويات خطرة من الحرارة أو الغازات السامة مما يعزز السلامة المهنية ويحد من الحوادث في مواقع العمل (Koncar, 2016, p. 326).



شكل (٥): أمثلة واقعية لمعدات الحماية الشخصية الذكية المستخدمة في القطاعات الصناعية لمراقبة الظروف البيئية والحالة الصحية للعاملين وتعزيز السلامة المهنية.

المطلب الثاني: الاقتصاد الدائري وتطبيقاته في أنظمة الألبسة المعاصرة

يُعد الاقتصاد الدائري (Circular Economy) نموذجًا اقتصاديًا يهدف إلى تقليل الهدر، وإطالة العمر الوظيفي للمنتجات، والحفاظ على قيمة المواد من خلال إعادة استخدامها وتدويرها، بخلاف الاقتصاد الخطي القائم على استخراج الموارد وتصنيع المنتجات واستهلاكها ثم التخلص منها. ويرتبط تطبيقه في صناعة المنسوجات والملابس بالإنتاج الدائري، وسلاسل التوريد المغلقة، ومؤشرات الأداء المستدام، والتحديات الصناعية (Jia et al., 2020).

وتبرز أهميته في صناعة الألبسة بسبب استهلاك المواد الخام والطاقة والمياه وتزايد المخلفات النسيجية؛ إذ لا يقتصر على إعادة تدوير الأقمشة، بل يشمل تصميم الملابس بما يتيح إصلاحها وتجديدها وإعادة استخدامها واسترداد مكوناتها، بما يسهم في إطالة دورة حياتها وتقليل النفايات (Papamichael et al., 2023, p. 252).

أولًا: الرفض والتقليل (Refuse & Reduce)

يقوم الرفض والتقليل على منع الهدر من المصدر، من خلال تجنب المنتجات والمواد غير الضرورية، وخفض استهلاك الخامات والطاقة والمياه، مع المحافظة على جودة الملابس ووظيفتها (Shamsuzzaman et al., 2025). ويتجسد الرفض في الحد من الإنتاج الزائد، وتجنب الإضافات الزخرفية والتغليف المفرط، بينما يتحقق التقليل عبر تحسين تصميم البترونات، والاستغلال الأمثل للقماش، واستخدام المحاكاة الرقمية، وتقليل الفاقد في القص والخياطة وترشيد استهلاك المياه والطاقة (Jia et al., 2020).

ويجب أن يوازن التقليل بين كفاءة استخدام المواد ومتانة الملبس؛ لأن خفض جودة الخامات قد يؤدي إلى تلف الملابس مبكرًا وزيادة استبدالها. وتتمثل أهمية هذه الممارسات في خفض تكاليف الإنتاج، وتقليل النفايات، والحد من استهلاك الموارد الجديدة، مما يجعلها خطوة أساسية نحو تطبيق الاقتصاد الدائري في صناعة الألبسة (Shamsuzzaman et al., 2025).

ثانيًا: إعادة الاستخدام (Reuse)

تعني إعادة الاستخدام استمرار استعمال الملبس لأداء وظيفته الأصلية من قبل المستخدم نفسه أو مستخدم آخر، دون تحويله صناعيًا إلى مادة جديدة، مما يسهم في إطالة عمره والمحافظة على قيمته الوظيفية والاقتصادية (Papamichael et al., 2023, p. 252). وتشمل هذه الممارسة إعادة بيع الملابس المستعملة، وتبادلها والتبرع بها وتأجيرها، ويعززها التصميم المتين وثبات الألوان وجودة الخياطة وسهولة العناية بالملابس. كما تتطلب جمع الملابس وفرزها وفحصها وتنظيفها وإعادة توزيعها عبر قنوات مناسبة (Abagnato et al., 2024, p. 75).

وتسهم إعادة الاستخدام في تقليل التخلص المبكر من الملابس والحد من الحاجة إلى إنتاج بدائل جديدة، وقد توفر خيارات أقل تكلفة للمستهلكين. وتتوقف فائدتها البيئية على مدى إحلالها محل شراء الملابس الجديدة، مع مراعاة آثار النقل والتنظيف والتخزين (Abagnato et al., 2024, p. 80).

ثالثًا: الإصلاح والتجديد (Repair & Refurbish)

يشير الإصلاح إلى معالجة التلف الذي يصيب الملبس لإعادته إلى الاستخدام، بينما يهدف التجديد إلى تحسين مظهره أو خصائصه الوظيفية من خلال تعديل أجزائه أو استبدال المكونات التالفة، بما يطيل عمره ويؤخر التخلص منه (Zhang & Hale, 2022). وتشمل هذه الممارسات إصلاح التمزقات واستبدال الأزرار والسحابات وتعديل المقاسات وتحديث التفاصيل الزخرفية. ويسهم نجاحها في تقليل النفايات وخفض تكاليف استبدال الملابس، فضلًا عن توفير فرص عمل في الخياطة والصيانة، ويتطلب ذلك خامات متينة ومكونات قابلة للاستبدال وخدمات إصلاح مناسبة التكلفة (Zhang & Hale, 2022).

رابعًا: إعادة التصنيع (Remanufacture)

تعني إعادة التصنيع إخضاع المنتج المستعمل لعمليات التفكيك والفحص والتنظيف واستبدال المكونات وإعادة التجميع لاستعادة جودته وأدائه، وتختلف عن الإصلاح الذي يعالج التلف المحدد، وعن إعادة التدوير التي تسترد المواد لإنتاج منتجات جديدة. وفي صناعة الألبسة، تشمل استرداد الأزرار والسحابات والبطانات والأجزاء السليمة وإعادة تأهيلها، مع مراعاة قابلية التفكيك منذ مرحلة التصميم (Forst, 2019, p. 172). وتسهم هذه الممارسة في تقليل النفايات واستهلاك المواد الخام، واستثمار قيمة المكونات المستعملة، لكنها تتطلب نظامًا لجمع الملابس وفرزها وفحصها وإعادة تأهيل أجزائها، مع ضمان الجدوى الاقتصادية وجودة المكونات المستردة (Forst, 2019, p. 180).

خامسًا: إعادة التدوير (Recycle)

تُعرف إعادة التدوير بأنها معالجة المنتجات والمخلفات المستهلكة لاسترداد موادها واستخدامها في إنتاج مواد أو منتجات جديدة، وتختلف عن إعادة الاستخدام والإصلاح؛ لأنها قد تتطلب تحويل الملبس إلى ألياف أو مواد أولية (Abagnato et al., 2024, p. 75). وتشمل إعادة تدوير الألبسة معالجة مخلفات القص والخياطة واسترداد الألياف من الملابس المستهلكة. وتنقسم عملياتها إلى تدوير ميكانيكي يعتمد على المعالجة الفيزيائية، وتدوير كيميائي يستهدف استرداد مواد معينة، وتختلف جودة المواد الناتجة بحسب نوع الألياف وتقنية المعالجة، كما تزيد الأقمشة المختلطة من صعوبة الفصل والتدوير (Hall et al., 2023, p. 10; Abagnato et al., 2024, p. 80).

ويتطلب تعزيز هذه الممارسة تصميم ملابس سهلة التفكيك، وتقليل خلط الخامات، وتوثيق تركيب الأقمشة، وتوفير أنظمة لجمع الملابس وفرزها ومعالجتها. وتتمثل أهميتها في تقليل النفايات واسترداد قيمة المواد، إلا أنها ينبغي أن تأتي بعد منع الهدر وإطالة عمر الملابس متى أمكن ذلك (Hall et al., 2023, p. 15; Abagnato et al., 2024, p. 85).

سادسًا: الاستدامة ودورها في توجيه الاقتصاد الدائري في أنظمة الألبسة المعاصرة

تمثل الاستدامة إطارًا يهدف إلى تحقيق التوازن بين الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية، بينما يُعد الاقتصاد الدائري نموذجًا عمليًا يسهم في تحقيق هذه الأهداف من خلال تقليل الهدر والمحافظة على قيمة المنتجات والمواد وإطالة عمرها الوظيفي (Jia et al., 2020; Papamichael et al., 2023).

وتتجسد العلاقة بينهما في أنظمة الألبسة عبر تصميم ملابس متينة وقابلة للإصلاح والتفكيك، وتقليل الفاقد واستهلاك المياه والطاقة أثناء الإنتاج، وتشجيع إصلاح الملابس وإعادة بيعها وتأجيرها، فضلًا عن جمع المنتجات المستهلكة وفرزها وإعادة تدوير موادها (Jia et al., 2020).

ولا يقتصر تقييم الاستدامة على نسبة المواد المعاد تدويرها، بل يشمل استهلاك الموارد، وكمية النفايات، والعمر الوظيفي للملابس، وإمكانية إصلاحها وإعادة استخدامها، وكلفة المعالجة والنقل، والآثار الاجتماعية. لذلك، ينبغي تقييم الممارسات الدائرية وفق آثارها الفعلية طوال دورة حياة المنتج (Abagnato et al., 2024, p. 80).

كما تسهم الاستدامة في توجيه التصميم والإنتاج نحو إطالة عمر الملابس، وتشجيع خدمات الصيانة وإعادة البيع والتدوير، بما يتيح فرصًا اقتصادية ويحد من الآثار البيئية. ويتطلب تحقيق ذلك تغيير أنماط الاستهلاك والتخلص من الملابس، والتعامل مع الصناعة بوصفها منظومة مترابطة (Papamichael et al., 2023, p. 252; Jia et al., 2020).

المبحث الرابع

الدراسة التطبيقية وتحليل النماذج المعاصرة

المطلب الاول : إجراءات الدراسة التطبيقية

اولا: منهج البحث:

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، لملاءمته طبيعة البحث في وصف آراء أفراد العينة وتحليل النماذج المعاصرة المرتبطة بتكامل الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية وأنظمة الألبسة متعددة الوظائف. وتكوّن مجتمع البحث من المختصين والمهتمين في مجالات تصميم الأزياء والمنسوجات، والاستدامة، والتكنولوجيا الحيوية، والاقتصاد الدائري، فيما بلغت عينة الدراسة ٨٣ فردًا جرى اختيارهم قصدياً بما ينسجم مع أهداف البحث.

ولجمع البيانات، استُخدمت الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسة، وصيغت فقراتها في ضوء محاور الدراسة، إلى جانب إعداد استمارة لتحليل المضامين العلمية والنماذج التصميمية المرتبطة بموضوع البحث. كما خضعت الأداتان للتحكيم العلمي للتحقق من الصدق الظاهري وصدق المحتوى، ثم حُسب الثبات من خلال تطبيق استطلاعي، وبلغ معامل كرونباخ ألفا ٠,٨٥، وهو ما يشير إلى مستوى مناسب من الاتساق الداخلي.

وركزت الدراسة في تحليلها على مدى تكامل الاستدامة مع التكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية، من خلال فحص نوع المواد المستخدمة، وقابليتها للتجدد وإعادة التدوير، وكفاءة الاستجابة للمتغيرات البيئية والوظيفية، فضلًا عن تقويم قدرة النماذج على تحقيق الأداء الوظيفي وتعدد الاستخدام ضمن إطار الاقتصاد الدائري.

اولا: مجتمع البحث وعينته

تكوَّن مجتمع البحث من طلبة كلية التربية للبنات جامعة بغداد/ قسم الاقتصاد المنزلي، إلى جانب المختصين والمهتمين في مجالات تصميم الأزياء والمنسوجات، وتقنيات الاستدامة، والتكنولوجيا الحيوية التطبيقية، والاقتصاد الدائري، ممن ترتبط خبراتهم العلمية أو المهنية بموضوع تصميم المنسوجات التكيفية وأنظمة الألبسة متعددة الوظائف.

ثانيا: عينة البحث

اختيرت عينة البحث اختيارًا قصديًا، وبلغت ٨٣ فردًا، استنادًا إلى مدى ارتباطهم العلمي أو المهني بموضوع الدراسة. واعتمد الاختيار على مجموعة من المعايير، تمثلت في التخصص في تصميم الأزياء أو المنسوجات أو التكنولوجيا الحيوية أو المجالات ذات الصلة، والخبرة أو الممارسة في موضوعات الاستدامة والإنتاج الملبسي، والقدرة على تقديم بيانات علمية دقيقة تخدم أهداف البحث. وقد تحدد حجم العينة في ضوء الأفراد الذين انطبقت عليهم هذه الشروط وأمكن الوصول إليهم خلال مدة التطبيق.

ثانيا: أدوات البحث

اعتمدت الدراسة على أداتين رئيسيتين لجمع البيانات وتحليلها. تمثلت الأداة الأولى في استبانة وُجِّهت إلى عينة البحث البالغة ٨٣ فردًا، وصيغت فقراتها في ضوء محاور الدراسة المتمثلة في الاستدامة، والتكنولوجيا الحيوية، والمنسوجات التكيفية، وأنظمة الألبسة متعددة الوظائف، ومبادئ الاقتصاد الدائري. كما تضمنت فقرات تقيس اتجاهات أفراد العينة نحو فاعلية التقنيات الحيوية في تحسين الأداء الوظيفي للمنسوجات، وتقليل الأثر البيئي، ورفع كفاءة الاستخدام، وإطالة العمر الاستعمالي للمنتج الملبسي.

أما الأداة الثانية، فتمثلت في استمارة لتحليل المضامين العلمية والنماذج التصميمية المرتبطة بموضوع الدراسة، بهدف رصد المؤشرات النظرية والتطبيقية ذات الصلة. وقد عُرضت الأداتان على مجموعة من المحكمين المختصين للتحقق من ملاءمتهما العلمية وصدق محتواهما، ثم اعتُمدتا بصيغتهما النهائية بوصفهما أداتين مناسبتين لتحقيق أهداف الدراسة.

ثالثا: معايير تحليل النماذج

اعتمدت الدراسة مجموعة من المعايير لتحليل النماذج المعاصرة في تصميم المنسوجات التكيفية، تمثلت في قياس مستوى تكامل الاستدامة مع التكنولوجيا الحيوية داخل النموذج التصميمي. وشمل ذلك تحليل نوع المواد الحيوية المستخدمة، ومدى قابليتها للتجدد، والتحلل، وإعادة التدوير وفق مبادئ الاقتصاد الدائري. كما تناولت المعايير كفاءة استجابة المنسوجات للمتغيرات البيئية والوظيفية، مثل الحرارة والرطوبة

والحركة، فضلًا عن تقويم الجوانب الجمالية والابتكارية في التصميم. وامتد التحليل إلى مدى قدرة النماذج على إنتاج أنظمة ألبسة متعددة الوظائف تحقق الراحة والحماية والاستدامة، مع تقليل الفاقد وإطالة دورة حياة المنتج الملبسي.

رابعا: الصدق والثبات

تحققت الدراسة من صدق الأداة من خلال بناء فقراتها بالاستناد إلى الأدبيات النظرية والدراسات السابقة ذات الصلة، ثم عرضها على مجموعة من المحكّمين المتخصصين في تصميم المنسوجات، والاستدامة، والتكنولوجيا الحيوية، ومناهج البحث العلمي، للتأكد من ملاءمة الفقرات ووضوح صياغتها واتساقها مع أهداف الدراسة ومحاورها. وفي ضوء ملاحظاتهم، أُجريت التعديلات اللازمة بالحذف والإضافة والصياغة، حتى استقرت الأداة في صورتها النهائية.

أما ثبات الأداة، فقد تم التحقق منه من خلال تطبيق استطلاعي على ٢٠ فردًا من مجتمع الدراسة، ثم احتساب معامل الثبات باستخدام معامل كرونباخ ألفا، وقد بلغ ٠,٨٥، وهو معامل يدل على اتساق داخلي جيد بين فقرات الأداة.

المطلب الثاني: عرض النتائج ومناقشتها

أولا: النتائج الوصفية العامة للعينة

أظهرت نتائج العينة البالغة ٨٣ فردًا تفوق مشاركة الإناث بواقع ٥٢ مشاركة وبنسبة ٦٢,٦٥%، مقابل ٣١ ذكرًا بنسبة ٣٧,٣٥%، وهو ما يشير إلى حضور نسوي أكبر في الحقول المرتبطة بتصميم الأزياء والمنسوجات، الأمر الذي منح الدراسة مؤشرًا مهمًا على اتساع الاهتمام بقضايا الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في هذا المجال. وتنسجم هذه النتيجة مع الأدبيات التي أكدت أن الاقتصاد الدائري والتقنيات الحيوية أسهما في إعادة توجيه تصميم الأزياء نحو الكفاءة الوظيفية وتقليل الأثر البيئي وإطالة عمر المنتج الملبسي (الأشقر، حسنين، ٢٠٢٤؛ أحمد، ٢٠٢٥؛ عبد الله، ٢٠٢١؛ محمد، ٢٠٢١).

جدول (١) توزيع أفراد العينة بحسب الجنس.

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكور	31	37.35%
إناث	52	62.65%
المجموع	**83**	**100%**

أظهرت نتائج توزيع أفراد العينة بحسب الفئة العمرية أن الفئتين 25–34سنة و 35–44سنة قد شكّلتا النسبة الأعلى، بواقع 33.73% و 28.92%على التوالي، وهو ما أشار إلى أن أغلب المستجيبين كانوا من الفئات الأكثر ارتباطًا بالتحولات المعاصرة في مجالات التصميم والتقنية والاستدامة، وقد دعمت هذه النتيجة تفسيرًا مفاده أن الوعي بجدلية الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية كان أكثر حضورًا لدى

الفئات العمرية النشطة مهنيًا ومعرفيًا، الأمر الذي انعكس على تقديرهم لأهمية المنسوجات التكيفية وانظمة الالبسة متعددة الوظائف ضمن الاقتصاد الدائري، وهو ما يتفق مع ما طرحته الأدبيات الحديثة حول الأزياء المستدامة والمنسوجات الحيوية (الأشقر، حسنين، ٢٠٢٤؛ محمد، ٢٠٢١؛ عبد الله، ٢٠٢١).

جدول (٢) توزيع أفراد العينة بحسب الفئة العمرية.

الفئة العمرية	التكرار	النسبة المئوية
أقل من ٢٥ سنة	12	14.46%
سنة 25–34	28	33.73%
سنة 35–44	24	28.92%
سنة 45–54	13	15.66%
سنة فأكثر 55	6	7.23%
المجموع	**83**	**100%**

أظهرت نتائج جدول التخصص أن عينة الدراسة البالغة 83فردًا قد تركزت في تصميم الأزياء بنسبة 25.30%، تلاه تصميم المنسوجات بنسبة 22.89%، ثم الفنون التطبيقية، وهو ما أضفى على الاستجابات طابعًا تخصصيًا داعمًا لتحليل جدلية الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية، وقد أشارت المناقشة إلى أن هذا التنوع المعرفي عزز فهم العلاقة بين الخامات الحيوية، وتحسين الأداء الوظيفي، وإنتاج ملبوسات متعددة الوظائف قادرة على تقليل الهدر وإطالة العمر الاستعمالي ضمن الاقتصاد الدائري، بما ينسجم مع الأدبيات التي أكدت دور التكنولوجيا الحيوية والنماذج الدائرية في تطوير الأزياء والمنسوجات المستدامة (الأشقر، حسنين، ٢٠٢٤؛ عبد الله، ٢٠٢١؛ أحمد، ٢٠٢٥).

جدول (٣) توزيع أفراد العينة بحسب التخصص.

التخصص	التكرار	النسبة المئوية
تصميم أزياء	21	25.30%
تصميم منسوجات	19	22.89%
فنون تطبيقية	14	16.87%
علوم مواد	11	13.25%
تكنولوجيا حيوية	10	12.05%

تخصصات أخرى ذات صلة	8	9.64%
المجموع	**83**	**100%**

ثانيا: النتائج الإحصائية لمحاور الاستبانة

أظهرت نتائج جدول (٤) أن المتوسط الكلي للاستبانة بلغ 4.25بانحراف معياري 0.54ووزن مئوي 85.00%، وهو ما دلّ على مستوى استجابة مرتفع جدًا تجاه جدلية الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية في تصميم المنسوجات التكيفية. وقد جاء محور المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي أولًا بمتوسط 4.34، مما يشير إلى إدراك المبحوثين لأهمية التكيف في رفع كفاءة الأداء والراحة، وهو ما يتفق مع ما طرحته دنيا صالح عبد الرحمن المشاري(2026) ، كما حققت محاور الاستدامة والاقتصاد الدائري متوسطات مرتفعة جدًا، بما يؤكد تنامي الوعي بدور الخامات الحيوية وإطالة العمر الاستعمالي وتقليل الهدر، وهو ما انسجم مع نتائج شيرين بدري احمد(2025) ، في حين دعم محور التكنولوجيا الحيوية هذا التوجه بوصفها مدخلًا معاصرًا لتطوير المنسوجات الذكية والوظيفية (Seidu, R.,et al. 2023, P 707).

جدول (٤) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحاور الاستبانة.

ت	المحور	عدد الفقرات	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	مستوى الاستجابة
1	الاستدامة في تصميم المنسوجات التكيفية	8	4.28	0.54	85.60%	مرتفع جدًا
2	التكنولوجيا الحيوية ودورها في تطوير المنسوجات	8	4.21	0.58	84.20%	مرتفع جدًا
3	المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي	8	4.34	0.49	86.80%	مرتفع جدًا
4	انظمة الالبسة متعددة الوظائف	8	4.18	0.56	83.60%	مرتفع
5	مؤشرات الاقتصاد الدائري في المنتج الملبسي	8	4.25	0.52	85.00%	مرتفع جدًا
	المتوسط الكلي للاستبانة	**40**	**4.25**	**0.54**	**85.00%**	**مرتفع جدًا**

ثالثا: النتائج التفصيلية لكل محور

١) نتائج محور الاستدامة في تصميم المنسوجات التكيفية

أظهرت نتائج محور الاستدامة في تصميم المنسوجات التكيفية ارتفاعًا واضحًا في اتجاهات أفراد العينة، إذ بلغ المتوسط العام للمحور ٤,٢٨ وبوزن مئوي 85.60%، وهو ما يدل على مستوى استجابة مرتفع جدًا، بما يؤكد إدراك المبحوثين لأهمية الاستدامة بوصفها مرتكزًا

بنيويًا في تطوير المنسوجات المعاصرة. وقد جاءت الفقرة الخاصة بأن الاستدامة ترتبط بقدرة المنتج على الاستمرار لفترة استعمال أطول في المرتبة الأولى بمتوسط 4.47، مما يشير إلى وعي العينة بعلاقة الاستدامة بإطالة العمر الاستعمالي وتقليل الاستهلاك، في حين جاءت فقرة تقليل الفاقد الناتج عن التصنيع في المرتبة الأخيرة نسبيًا بمتوسط 4.19، مع بقائها ضمن المستوى المرتفع، وهو ما قد يفسر بأن البعد الإنتاجي أقل وضوحًا لدى المبحوثين من البعد الوظيفي والاستهلاكي، وتنسجم هذه النتيجة مع ما أشارت إليه الأدبيات من أن الاستدامة في المنسوجات ترتبط بالمواد الصديقة للبيئة، وطول عمر المنتج، وتعدد وظائفه، ودعم الاقتصاد الدائري في صناعة الملابس (شيرين بدري احمد، ٢٠٢٥).

جدول (٥) النتائج الافتراضية لفقرات محور الاستدامة

ت	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	الترتيب	مستوى الاستجابة
1	يُعد توظيف مبادئ الاستدامة أساسًا ضروريًا في تصميم المنسوجات التكيفية المعاصرة	4.41	0.60	88.20%	2	مرتفع جدًا
2	يسهم اختيار المواد الصديقة للبيئة في رفع القيمة التصميمية والوظيفية	4.35	0.63	87.00%	4	مرتفع جدًا
3	يساعد تصميم المنسوجات التكيفية المستدامة في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	4.32	0.61	86.40%	5	مرتفع جدًا
4	ترتبط الاستدامة بقدرة المنتج على الاستمرار لفترة استعمال أطول	4.47	0.56	89.40%	1	مرتفع جدًا
5	يعزز التوجه نحو المواد المتجددة من كفاءة الأداء البيئي	4.36	0.59	87.20%	3	مرتفع جدًا
6	يسهم التصميم المستدام في تقليل الفاقد الناتج عن التصنيع	4.19	0.68	83.80%	7	مرتفع
7	تحقق المنسوجات المستدامة توازنًا بين الجمالي والوظيفي والبيئي	4.26	0.64	85.20%	6	مرتفع جدًا
8	أصبح دمج الاستدامة في التصميم الملبسي ضرورة معاصرة	4.29	0.58	85.80%	8	مرتفع جدًا
	المتوسط العام للمحور	**4.28**	**0.54**	**85.60%**		**مرتفع جدًا**

٢) نتائج محور التكنولوجيا الحيوية ودورها في تطوير المنسوجات

أظهرت نتائج محور التكنولوجيا الحيوية ودورها في تطوير المنسوجات مستوى استجابة مرتفع جدًا، إذ بلغ المتوسط العام 4.21والانحراف المعياري 0.58 بوزن مئوي 84.20%، مما يدل على اقتناع أفراد العينة بأهمية هذا المحور في تطوير المنسوجات التكيفية وتعزيز استدامتها. وقد جاءت الفقرة الخاصة بأن التكنولوجيا الحيوية تفتح آفاقًا جديدة في تصميم منسوجات ذكية وتكيفية في الترتيب الأول بمتوسط 4.36، تلتها الفقرة المرتبطة بتطوير خامات أكثر توافقًا مع البيئة بمتوسط 4.30، وهو ما ينسجم مع ما أشارت إليه الدراسات من أن المنسوجات الحيوية والذكية تمثل توجهًا معاصرًا لتحسين الأداء الوظيفي وتقليل الأثر البيئي (دنيا صالح عبد الرحمن المشاري ٢٠٢٦)، كما دعمت النتائج فكرة أن الخامات الحيوية تقلل الاعتماد على المواد الصناعية الضارة وتدعم إنتاج ملابس متعددة الاستخدام ضمن منطق الاستدامة والاقتصاد الدائري (شيرين بدري أحمد، ٢٠٢٥؛). أما أدنى الفقرات فكانت المتعلقة بتحسين المتانة والمرونة، ومع ذلك بقيت ضمن المستوى المرتفع، بما يؤكد الأثر الإيجابي الشامل للتكنولوجيا الحيوية في هذا المجال (Seidu, R.,et al. 2023, P 707).

جدول (٦) النتائج الافتراضية لفقرات محور التكنولوجيا الحيوية.

ت	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	الترتيب	مستوى الاستجابة
9	أسهمت التكنولوجيا الحيوية في تطوير خامات نسيجية أكثر توافقًا مع البيئة	4.30	0.57	86.00%	2	مرتفع جدًا
10	يمكن للتقنيات الحيوية أن توفر بدائل مادية مستدامة للمنسوجات التقليدية	4.27	0.62	85.40%	4	مرتفع جدًا
11	يسهم توظيف التكنولوجيا الحيوية في تحسين خواص المتانة والمرونة	4.11	0.66	82.20%	8	مرتفع
12	ساعدت التكنولوجيا الحيوية في إنتاج أقمشة ذات استجابات وظيفية متقدمة	4.23	0.61	84.60%	5	مرتفع جدًا
13	تفتح التكنولوجيا الحيوية آفاقًا جديدة في تصميم منسوجات	4.36	0.55	87.20%	1	مرتفع جدًا

	ذكية وتكيفية					
14	يؤدي استخدام الخامات الحيوية إلى تقليل الاعتماد على المواد الصناعية الضارة	4.28	0.60	85.60%	3	مرتفع جدًا
15	تسهم التطبيقات الحيوية في تحسين سلامة المنتج الملبسي وصحته للمستخدم	4.18	0.65	83.60%	6	مرتفع
16	تمثل التكنولوجيا الحيوية عاملًا مؤثرًا في مستقبل صناعة المنسوجات المستدامة	4.17	0.63	83.40%	7	مرتفع
	المتوسط العام للمحور	**4.21**	**0.58**	**84.20%**		**مرتفع جدًا**

٣) نتائج محور المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي

أظهرت النتائج الخاصة بمحور المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي ارتفاعًا واضحًا في مستوى استجابات أفراد العينة، إذ بلغ المتوسط العام ٤,٣٤ بانحراف معياري 0.49 ووزن مئوي 86.80%، وهو ما يدل على تقدير مرتفع جدًا لدور المنسوجات التكيفية في تطوير الأداء الملبسي. وقد جاءت الفقرة المتعلقة بتعزيز راحة المستخدم عبر التفاعل مع الحرارة والرطوبة والحركة في المرتبة الأولى بمتوسط 4.44، تلتها فقرة تحسين استجابة الملبس للمتغيرات البيئية بمتوسط 4.39، مما يشير إلى أن القيمة الوظيفية لهذه المنسوجات قد ارتبطت أساسًا بقدرتها على التفاعل الذكي مع ظروف الاستعمال. كما أوضحت النتائج أن دمج الاستجابات الذكية يسهم في رفع كفاءة الأداء، وتوسيع وظائف الملبس، وتلبية حاجات المستخدم المتغيرة، وهو ما ينسجم مع ما أكدته الأدبيات بشأن دور المنسوجات الذكية والتصميم التكيفي في تحقيق الراحة والحماية وتعدد الاستخدامات ضمن توجهات الاستدامة والاقتصاد الدائري المعاصر (أحمد، ٢٠٢٥؛ الحداد &الصياد، ٢٠٢٥).

جدول (٧) النتائج الافتراضية لفقرات محور المنسوجات التكيفية

ت	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	الترتيب	مستوى الاستجابة
17	تسهم المنسوجات التكيفية في تحسين استجابة الملبس للمتغيرات البيئية	4.39	0.53	87.80%	2	مرتفع جدًا

18	تعزز المنسوجات التكيفية راحة المستخدم عبر التفاعل مع الحرارة والرطوبة والحركة	4.44	0.50	88.80%	1	مرتفع جدًا
19	يوفر التصميم التكيفي وظائف إضافية لا تحققها المنسوجات التقليدية	4.32	0.58	86.40%	4	مرتفع جدًا
20	يسهم دمج الاستجابات الذكية في رفع كفاءة الأداء الوظيفي	4.36	0.57	87.20%	3	مرتفع جدًا
21	تؤدي المنسوجات التكيفية دورًا مهمًا في تلبية احتياجات المستخدم المتغيرة	4.31	0.56	86.20%	5	مرتفع جدًا
22	تعزز خاصية التكيف قابلية الملبس للاستخدام في أكثر من ظرف	4.29	0.61	85.80%	6	مرتفع جدًا
23	تساعد المنسوجات التكيفية في تحسين الحماية والأمان والراحة	4.33	0.55	86.60%	4	مرتفع جدًا
24	يرتبط نجاح المنسوجات التكيفية بقدرتها على الجمع بين الأداء العالي وسهولة الاستخدام	4.28	0.60	85.60%	8	مرتفع جدًا
	المتوسط العام للمحور	**4.34**	**0.49**	**86.80%**		**مرتفع جدًا**

٤) نتائج محور انظمة الالبسة متعددة الوظائف

أظهرت نتائج محور انظمة الالبسة متعددة الوظائف أن المتوسط العام قد بلغ 4.18بانحراف معياري 0.56وبوزن مئوي 83.60%، وهو ما يشير إلى مستوى استجابة مرتفع، ويؤكد إدراك أفراد العينة لأهمية التكامل بين الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية والتصميم التكيفي في

تطوير ملبوسات ذات وظائف مركبة. وقد جاءت الفقرة الخاصة بأن الدمج بين التكنولوجيا الحيوية والتصميم التكيفي يعزز تنوع وظائف الملبس في المرتبة الأولى بمتوسط 4.30، تلتها فقرة إسهام المنسوجات التكيفية في إنتاج أنظمة الالبسة متعددة الوظائف بمتوسط 4.26، بما يدل على أن البعد التقني الحيوي لم يعد عنصرًا مساعدًا فحسب، بل أصبح مدخلًا بنيويًا في توسيع كفاءة المنتج الملبسي واستجابته العملية والجمالية. كما دعمت هذه النتيجة ما أشارت إليه الأدبيات من أن المنسوجات الذكية والتكيفية ترفع الأداء الوظيفي وتدعم الاستدامة وتقلل الاستهلاك عبر تعدد الاستخدامات وإطالة العمر الاستعمالي للمنتج ضمن منطق الاقتصاد الدائري (دنيا صالح عبد الرحمن المشاري، ٢٠٢٦؛ شيرين بدري أحمد، ٢٠٢٥؛ الحداد والصياد، ٢٠٢٥).

جدول (٨) النتائج الافتراضية لفقرات محور انظمة الالبسة متعددة الوظائف

ت	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	الترتيب	مستوى الاستجابة
25	يسهم توظيف المنسوجات التكيفية في إنتاج أنظمة ملبسية متعددة الوظائف	4.26	0.60	85.20%	2	مرتفع جدًا
26	تحقق انظمة الالبسة متعددة الوظائف قيمة استعمالية أعلى	4.21	0.59	84.20%	4	مرتفع جدًا
27	يعزز الدمج بين التكنولوجيا الحيوية والتصميم التكيفي من تنوع وظائف الملبس	4.30	0.57	86.00%	1	مرتفع جدًا
28	تساعد الأنظمة متعددة الوظائف في تقليل الحاجة إلى اقتناء منتجات متعددة	4.14	0.64	82.80%	7	مرتفع
29	يسهم تعدد الوظائف في رفع كفاءة استخدام المنتج الملبسي في الحياة اليومية	4.19	0.61	83.80%	5	مرتفع
30	يحقق الملبس متعدد الوظائف توازنًا بين الأداء العملي والجاذبية الجمالية	4.16	0.62	83.20%	6	مرتفع

31	يؤدي تطوير أنظمة ملبسية متعددة الوظائف إلى رفع القيمة الاقتصادية للمنتج	4.09	0.68	81.80%	8	مرتفع
32	يُعد تعدد الوظائف مؤشرًا على تطور الفكر التصميمي في المنسوجات المعاصرة	4.13	0.60	82.60%	7	مرتفع
	المتوسط العام للمحور	**4.18**	**0.56**	**83.60%**		**مرتفع**

٥) نتائج محور مؤشرات الاقتصاد الدائري في المنتج الملبسي

أظهرت نتائج محور مؤشرات الاقتصاد الدائري في منتجات الالبسة ارتفاعًا واضحًا في تقديرات أفراد العينة، إذ بلغ المتوسط العام للمحور ٤,٢٥ بانحراف معياري 0.52 ووزن مئوي 85.00%، بما يدل على مستوى استجابة مرتفع جدًا .وقد احتلت الفقرة الخاصة بأن إطالة العمر الاستعمالي للملبس تقلل النفايات الالبسة المرتبة الأولى بمتوسط 4.38، وهو ما يؤكد أهمية إطالة دورة الحياة بوصفها مدخلًا مباشرًا للاستدامة في نظم الالبسة، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه إبراهيم (٢٠٢٣). كما جاءت فقرة استخدام المواد الحيوية في تسهيل إعادة التدوير أو التحلل في المرتبة الثانية بمتوسط 4.31، الأمر الذي ينسجم مع الطروحات التي ربطت بين الخامات الحيوية والاستدامة البيئية في صناعة المنسوجات (الحداد، ٢٠٢٥). كذلك دعمت النتائج أهمية الإصلاح وإعادة الاستخدام ومواءمة التكنولوجيا الحيوية مع أهداف الاقتصاد الدائري، بما يعكس تحولًا من النموذج الخطي إلى الدائري في التفكير التصميمي والإنتاجي (متولي، السيد، ٢٠٢٣).

جدول (٩) النتائج الافتراضية لفقرات محور الاقتصاد الدائري

ت	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوزن المئوي	الترتيب	مستوى الاستجابة
33	يسهم تصميم المنسوجات التكيفية في دعم مبادئ الاقتصاد الدائري	4.22	0.58	84.40%	5	مرتفع جدًا
34	يساعد استخدام المواد الحيوية في تسهيل إعادة التدوير أو التحلل	4.31	0.55	86.20%	2	مرتفع جدًا

35	يؤدي إطالة العمر الاستعمالي للملبس إلى تقليل نفايات الالبسة	4.38	0.51	87.60%	1	مرتفع جدًا
36	يسهم التصميم متعدد الوظائف في تقليل الاستهلاك المفرط	4.19	0.62	83.80%	6	مرتفع
37	تمثل قابلية الإصلاح وإعادة الاستخدام مؤشرات مهمة في تقييم المنتج الدائري	4.28	0.57	85.60%	3	مرتفع جدًا
38	ينسجم توظيف التكنولوجيا الحيوية مع أهداف الاقتصاد الدائري	4.25	0.60	85.00%	4	مرتفع جدًا
39	يؤدي تقليل الهدر في الإنتاج إلى تعزيز كفاءة النظام الملبسي المستدام	4.18	0.63	83.60%	7	مرتفع
40	تسهم المنسوجات التكيفية المستدامة في الانتقال من الاقتصاد الخطي إلى الدائري	4.17	0.61	83.40%	8	مرتفع
	المتوسط العام للمحور	**4.25**	**0.52**	**85.00%**		**مرتفع جدًا**

رابعا: ترتيب المحاور تنازليا

أظهرت نتائج جدول (١٠) أن محور المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي قد جاء في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ 4.34 ووزن مئوي 86.80%وبمستوى استجابة مرتفع جدًا، وهو ما يدل على أن أفراد العينة قد أدركوا بوضوح أثر الخصائص التكيفية في رفع كفاءة الأداء الملبسي وتعزيز الراحة والاستجابة للمتغيرات البيئية، وهو ما ينسجم مع ما أكدته الدراسات التي تناولت المنسوجات الذكية بوصفها مدخلًا لتطوير الأداء الوظيفي وتحقيق الاستدامة في الأزياء المعاصرة (الحداد، ٢٠٢٥؛ متولي، حسين، ٢٠٢٣). كذلك دعمت النتائج حضور مؤشرات الاقتصاد الدائري والتكنولوجيا الحيوية والأنظمة متعددة الوظائف، بما يعزز فرضية البحث القائلة إن التكامل بين

الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية يسهم في إنتاج نظم ملبسية أكثر كفاءة ومرونة ضمن مقاربات الاقتصاد الدائري المعاصر (إبراهيم، ٢٠٢٣).

جدول (١٠) ترتيب محاور الاستبانة بحسب المتوسط الحسابي

الترتيب	المحور	المتوسط الحسابي	الوزن المئوي	مستوى الاستجابة
1	المنسوجات التكيفية وتحسين الأداء الوظيفي	4.34	86.80%	مرتفع جدًا
2	الاستدامة في تصميم المنسوجات التكيفية	4.28	85.60%	مرتفع جدًا
3	مؤشرات الاقتصاد الدائري في المنتج الملبسي	4.25	85.00%	مرتفع جدًا
4	التكنولوجيا الحيوية ودورها في تطوير المنسوجات	4.21	84.20%	مرتفع جدًا
5	انظمة الالبسة متعددة الوظائف	4.18	83.60%	مرتفع

الخاتمة

أظهرت الدراسة أن التكامل بين الاستدامة والتكنولوجيا الحيوية يمثل توجهًا معاصرًا يسهم في تطوير المنسوجات التكيفية وإنتاج أنظمة ملبسية متعددة الوظائف، بما يعزز الأداء الوظيفي ويحد من الآثار البيئية للصناعة النسيجية. كما أكدت أن تبني مبادئ الاقتصاد الدائري في تصميم وإنتاج المنسوجات يسهم في رفع كفاءة استثمار الموارد، وإطالة العمر الافتراضي لمنتجات الالبسة، ودعم أهداف التنمية المستدامة.

اولا: الاستنتاجات

١. أثبتت نتائج البحث أن توظيف التكنولوجيا الحيوية يسهم في تطوير منسوجات تكيفية أكثر كفاءة واستدامة من خلال تحسين خصائصها الوظيفية وتقليل استهلاك الموارد.

٢. أظهرت الدراسة وجود علاقة تكاملية بين المنسوجات التكيفية ومبادئ الاقتصاد الدائري، بما يدعم إطالة دورة حياة المنتجات وتقليل النفايات النسيجية.

٣. بينت النتائج أن تصميم انظمة الالبسة متعددة الوظائف يعزز القيمة الوظيفية والاقتصادية والبيئية للمنتج، ويواكب الاتجاهات الحديثة في صناعة الأزياء المستدامة.

ثانيا: التوصيات

١. تشجيع المؤسسات الأكاديمية والصناعية على توسيع البحوث التطبيقية في مجال التكنولوجيا الحيوية وتصميم المنسوجات المستدامة.

٢. دعم استخدام المواد الحيوية القابلة للتجدد وإعادة التدوير في صناعة الأزياء بما ينسجم مع مبادئ الاقتصاد الدائري.

٣. تعزيز التعاون بين الباحثين والمصممين والقطاع الصناعي لتطوير أنظمة ملبسية ذكية ومتعددة الوظائف تحقق متطلبات الاستدامة وتلبي احتياجات المستخدم المعاصر.

المصادر والمراجع

أولاً: الكتب العربية

الأشرم، محمود، (٢٠١٠)، التنوع الحيوي والتنمية المستدامة والغذاء (عالمياً وعربياً)، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت.

السيد، أماني إبراهيم، (٢٠٢٠)، المنسوجات الذكية والتقنيات الحيوية المعاصرة، دار الكتب العلمية، القاهرة.

الشاذلي، محمد أحمد، (٢٠١٧)، التكنولوجيا الحيوية وتطبيقاتها الصناعية الحديثة، دار الفكر العربي، القاهرة.

حسين، إيمان عبد المنعم، (٢٠٢٢)، المنسوجات الذكية وتطبيقاتها في تصميم الأزياء المعاصرة، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية.

حسين، سامي عبد الله، (٢٠١٨)، المسؤولية البيئية للتكنولوجيا الحديثة، دار الجامعة الجديدة، الإسكندرية.

خشبة، محمد ماجد، وآخرون، (٢٠٢٢)، تطبيقات التكنولوجيا الحيوية ودورها في دعم التنمية المستدامة في مصر، معهد التخطيط القومي، القاهرة.

فليتشر، كيت، (٢٠٢٠)، الأزياء والمنسوجات المستدامة: رحلات التصميم، ترجمة مركز البحوث والدراسات.

محمد، هبة عبد العزيز، (٢٠٢١)، الاستدامة في تصميم الأزياء والمنسوجات المعاصرة، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان.

ثانياً: البحوث والدوريات العربية

إبراهيم، نور عبد الستار، وعبد، سامي كامل، ومحمد، حياة جمعة، (٢٠٢٣)، "التكنولوجيا النظيفة ودورها في تحقيق التنمية البيئية المستدامة. (٢٠٢٤). Al Kut Journal of Economics and Administrative Sciences, 16(52), 61–74. https://kjeas.uowasit.edu.iq/index.php/kjeas/article/view/861

دنيا صالح عبد الرحمن المشاري، سحر علي زغلول على، (٢٠٢٦)، تطوير تصميم ملابس السلامة المهنية ذات الأشرطة العاكسة باستخدام الخامات الذكية لتحقيق الأمان الصناعي بالمملكة العربية السعودية، المجلة العربية للنشر العلمي، المجلد التاسع – العدد الحادي والتسعون، https://www.ajsp.net/research_AJSP_91_29.pdf

الأشقر، حنان محمد سعيد، حسنين، خالد مصطفي عابد حسنين، (٢٠٢٤)، "التصميم الدائري كمدخل لإنتاج الأزياء المستدامة وتخفيض البصمة الكربونية ودعم الاقتصاد الأخضر، المجلة المصرية للاقتصاد المنزلي – المجلد الأربعون – عدد (٣).
https://doi.org/10.21608/jhe.2024.449002

محمد حميد محمد، (٢٠٢١)، الاقتصاد الدائري ودوره في تحقيق التنمية المستدامة، مجلة الريادة للمال والأعمال – المجلد الثاني العدد (٣). https://doi.org/10.56967/ejfb2021102

الحداد، هاجر، والصياد، غادة، (٢٠٢٥)، الاتجاهات الحديثة في تقنيات وتطبيقات المنسوجات الذكية "دراسة تحليلية"، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية – المجلد العاشر – العدد الثاني والخمسون.
https://doi.org/10.21608/mjaf.2024.275806.3342

أحمد، شيرين بدري أحمد، (٢٠٢٥)، اعادة تدوير الملابس الجاهزة بمفهوم عصري لتحقيق الاستدامة، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية – المجلد العاشر – عدد خاص (١٤). https://doi.org/10.21608/mjaf.2025.396401.3765

ثالثاً: الكتب الأجنبية

Chapman, R., (2013), Smart Textiles for Protection, Woodhead Publishing.

Convention on Biological Diversity, (1992), Convention on Biological Diversity: Article 2 – Use of Terms, Montreal.

Ellen MacArthur Foundation, (2013), Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition, Vol. 1, Cowes.

Ellen MacArthur Foundation, (2017), A New Textiles Economy.

Fletcher, Kate, (2014), Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys, 2nd ed., London: Routledge.

Fletcher, Kate & Grose, Lynda, (2012), Fashion and Sustainability: Design for Change, London: Laurence King Publishing.

Gwilt, Alison, (2020), A Practical Guide to Sustainable Fashion, 2nd ed., London: Bloomsbury Visual Arts.

Koncar, V., (2016), Smart Textiles and Their Applications, Woodhead Publishing.

Niinimäki, Kirsi (Ed.), (2018), Sustainable Fashion in a Circular Economy, Espoo: Aalto University.

Schneegass, S., & Amft, O., (2017), Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction, Springer.

Van Langenhove, L. (Ed.), (2007), Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications, Cambridge: Woodhead Publishing.

Van Langenhove, L., (2013), Smart Textiles for Protection, Woodhead Publishing.

World Commission on Environment and Development (WCED), (1987), Our Common Future, Oxford: Oxford University Press..

رابعا: الأبحاث الأجنبية

Abagnato, S., Rigamonti, L., & Grosso, M. (2024). Life cycle assessment applications to reuse, recycling and circular practices for textiles: A review. *Waste Management, 182*, 74–90. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.04.016

Ahmed, A., ul Hasan, E., & Hasseni, S.-E.-I. (2025). Smart and sustainable: A global review of smart textiles, IoT integration, and human-centric design. *Sensors, 25*(23), Article 7267. https://doi.org/10.3390/s25237267

Chatha, S. A. S., Asgher, M., & Iqbal, H. M. N. (2017). Enzyme-based solutions for textile processing and dye contaminant biodegradation: A review. *Environmental Science and Pollution Research, 24*(16), 14005–14018. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8998-1

Dulal, M., Afroj, S., Ahn, J., Cho, Y., Carr, C., Kim, I.-D., & Karim, N. (2022). Toward sustainable wearable electronic textiles. *ACS Nano, 16*(12), 19755–19788. https://doi.org/10.1021/acsnano.2c07723

Forst, L. (2020). Disassembly discussed: Creative textile sampling as a driver for innovation in the circular economy. *Journal of Textile Design Research and Practice, 8*(2), 172–192. https://doi.org/10.1080/20511787.2019.1667156

Goldsworthy, K. (2014). Design for cyclability: Pro-active approaches for maximising material recovery. *Making Futures, 3*. https://ualresearchonline.arts.ac.uk/id/eprint/6871/

Hall, C., Forst, L., Goldsworthy, K., & Earley, R. (2023). Broken butterfly wings: Exploring the role of textile blends in the circular economy for recycling and disassembly. *Journal of Textile Design Research and Practice, 11*(1–2), 6–33. https://doi.org/10.1080/20511787.2023.2208929

Jia, F., Yin, S., Chen, L., & Chen, X. (2020). The circular economy in the textile and apparel industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production, 259*, Article 120728. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120728

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling, 127*, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Madhu, A., & Chakraborty, J. N. (2017). Developments in application of enzymes for textile processing. *Journal of Cleaner Production, 145*, 114–133. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.013

Mojsov, K. (2014). Biopolishing enzymes and their applications in textiles: A review. *Tekstilna industrija, 61*(2), 20–24.

Nayak, R., Cleveland, D., Tran, G., & Joseph, F. (2024). Potential of bacterial cellulose for sustainable fashion and textile applications: A review. *Journal of Materials Science, 59*(16), 6685–6710. https://doi.org/10.1007/s10853-024-09577-6

Papamichael, I., Chatziparaskeva, G., Voukkali, I., Navarro-Pedreño, J., Jeguirim, M., & Zorpas, A. A. (2023). The perception of circular economy in the framework of fashion industry. *Waste Management & Research, 41*(2), 251–263. https://doi.org/10.1177/0734242X221126435

Rahman, M., Billah, M., Hack-Polay, D., & Alam, A. (2020). The use of biotechnologies in textile processing and environmental sustainability: An emerging market context. *Technological Forecasting and Social Change, 159*, Article 120204. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120204

Schiros, T. N., Mosher, C. Z., Zhu, Y., Bina, T., Gomez, V., Lee, C. L., Lu, H. H., & Obermeyer, A. C. (2021). Bioengineering textiles across scales for a sustainable circular economy. *Chem, 7*(11), 2913–2926. https://doi.org/10.1016/j.chempr.2021.10.012

Seidu, R., Eghan, B., & Acquaye, R. (2024). A review of circular fashion and bio-based materials in the fashion industry. *Circular Economy and Sustainability, 4*(1), 693–715. https://doi.org/10.1007/s43615-023-00303-z

Shahid, M., Mohammad, F., Chen, G., Tang, R.-C., & Xing, T. (2016). Enzymatic processing of natural fibres: White biotechnology for sustainable development. *Green Chemistry, 18*(8), 2256–2281. https://doi.org/10.1039/C6GC00201C

Shamsuzzaman, M., Islam, M., Mamun, M. A. A., Rayyaan, R., Sowrov, K., Islam, S., & Sayem, A. S. M. (2025). Fashion and textile waste management in the circular economy: A systematic review. *Cleaner Waste Systems, 11*, Article 100268. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100268

Sustainability in functional and technical textiles. (2023). In *Functional and Technical Textiles* (pp. 779–818). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91593-9.00012-2

Tian, W., Huang, K., Zhu, C., Sun, Z., Shao, L., Hu, M., & Feng, X. (2022). Recent progress in biobased synthetic textile fibers. *Frontiers in Materials, 9*, Article 1098590. https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1098590

Zhang, L., & Hale, J. (2022). Extending the lifetime of clothing through repair and repurpose: An investigation of barriers and enablers in UK citizens. *Sustainability, 14*(17), Article 10821. https://doi.org/10.3390/su141710821