وزارة التعليم العالي، والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر –بسكرة-

كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية

قسم الإعلام والاتصال وعلم المكتبات

مطبوعة في مقياس:

تكنولوجيا الإعلام والاتصال

موجهة لطلبة السنة الثانية ليسانس علوم الإعلام والاتصال

إعداد:

أحمد أمين فورار

أستاذ محاضر-أ-

السنة الجامعية: 2026/2025

عنوان الليسانس: جذع مشترك علوم إنسانية / شعبة علوم الإعلام و الاتصال
السداسي: الثالث
اسم الوحدة: الأساسية
اسم المادة: تكنولوجيا الإعلام والاتصال1
الرصيد:5
المعامل:2

أهداف التعليم: *(ذكر ما يفترض أن يكتسبه الطالب من مؤهلات بعد نجاحه في هذه المادة، في ثلاثة أسطر على الأكثر).*

-تعريف الطالب بمصطلح تكنولوجيا الإعلام والاتصال تطوراته وأهم المفاهيم المرتبطة به
-عرض بعض التطبيقات الحديثة لتكنولوجيا الإعلام والاتصال
-رصد أهمية تكنولوجيا الإعلام والاتصال مجتمعيا ومؤسساتيا.

المعارف المسبقة المطلوبة: (*وصف تفصيلي للمعارف المطلوبة والتي تمكن الطالب من مواصلة هذا التعليم، سطران على الأكثر).*
-معارف أولية حول الإعلام والاتصال والمفاهيم المشابهة لهما
-الإحاطة بالتطور التاريخي لوسائل الإعلام والاتصال

القدرات المكتسبة :

- إدراك التطور المتواصل الحاصل في تكنولوجيا الإعلام والاتصال.
- إدراك أهمية توظيف التكنولوجيات الجديدة في الحياة المعاصرة.

محتوى المادة: *(إجبارية تحديد المحتوى المفصل لكل مادة مع الإشارة إلى العمل الشخصي للطالب).*

1)مفاهيم أولية (التكنولوجيا، تكنولوجيا الإعلام والاتصال (الجديدة)، تكنولوجيا المعلومات، تكنولوجيا الاتصال عن بعد، الإعلام الجديد، الإعلام الرقمي...).

2) بعض المبادئ التقنية لتكنولوجيا الإعلام والاتصال (الترميز، التخزين، الإرسال، الاستقبال...).
3)تكنولوجيا الاتصال اللاسلكي
4)تكنولوجيا الاتصال السلكي (الاتصال الكابلي والألياف الضوئية)
5)تكنولوجيا الحاسبات الالكترونية
6)تكنولوجيا الأقمار الصناعية
7)تكنولوجيا وسائل الإعلام السمعية البصرية(التلفزيون الذكي-تلفزيون بروتوكول الانترنت-تكنولوجيا السينما، الاستوديوهات الافتراضية...)
8)تكنولوجيا الانترنت: أجيال الواب
9)تكنولوجيا الهاتف النقال : أجيال الهاتف الذكي
10)تكنولوجيا الألواح الالكترونية
11) الكتب الالكترونية.
12) الألعاب الالكترونية
13) أهمية ووظائف تكنولوجيا الإعلام والاتصال
14)خصائص تكنولوجيا الإعلام والاتصال
15)استعمالات تكنولوجيا الإعلام والاتصال.

طريقة التقييم: *(مراقبة مستمرة، امتحان...إلخ)*.

علامة الأعمال الموجهة 40% +الامتحان 60. %

المراجع: *(كتب، ومطبوعات، مواقع إنترنت،* إلخ).

1. دليو، **فضيل. تكنولوجيا الاعلام والاتصال الجديدة. قضايا معاصرة**. الجزائر: دار هومة للطباعة والنشر والتوزيع، 2015.
2. دليو، فضيل. **تقنيات تحليل البيانات**. قسنطينة، مطبعة جامعة منتوري، 2004.
3. دليو، فضيل. **التكنولوجيا الجديدة للإعلام والاتصال (NICT/NTIC). المفهوم، الاستعمالات، الآفاق**. عمان: دار الثقافة للنشر والتوزيع، ط.1، 2010.

4. دليو، فضيل. **تكنولوجيا الإعلام والاتصال الجديدة. بعض تطبيقاتها التقنية.** الجزائر: دار هومة، ط.1، 2014.
5. أبو عيشا لحطامي، عبد الباسط محمد عبد الوهاب. **تكنولوجيا الاتصال وتطبيقاتها**. الأردن: الآفاق المشرقة، ناشرون، 2010.
6. أبو عيشة ، فيصل. **الاعلام الالكتروني**. عمان: دار اسامة للنشر والتوزيع، ط.1، 2010.
7. الرحباني، عبير. **الإعلام الرقمي (الإلكتروني).** عمان: دار أسامة للنشر والتوزيع، ط.1، 2012.
8. المزاهرة، منال هلال. **تكنولوجيا الاتصال والمعلومات**. عمان: دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، ط.1، 2014.
9. حسين حافظ، أسماء. **تكنولوجيا الاتصال والإعلام التفاعلي في عصر الفضاء الالكتروني المعلوماتي والرقمي**. القاهرة، الدار العربية للنشر والتوزيع، ط.1، 2005.

10- أشرف صالح: الطريق السريع للمعلومات ووسائل الاتصال والإعلام في الوطن العربي، تونس، الألسكو، 1999.

11- حسن عماد المكاوي: تكنولوجيا الاتصال الحديثة في عصر المعلومات، القاهرة، 1993.

12- سعد محمد الهجرسي: الاتصالات والمعلومات والتطبيقات التكنولوجية، الإسكندرية، دار الثقافة العلمية، 2001.

13- سعيد الغريب النجار: تكنولوجيا الصحافة في عصر التقنية الرقمية، القاهرة، الدار المصرية اللبنانية، 2003.

14- شريف درويش اللبان: تكنولوجيا الاتصال، الدار المصرية، 2000.

15- محمود علم الدين: تكنولوجيات المعلومات والاتصال ومستقبل صناعة الصحافة، القاهرة، السحاب للنشر والتوزيع، 2005.

- BRETON, Ph., Proulx, S. : L'explosion de la communication à l'aube du XXIème siècle, Paris, La découverte, 2002.
- CASTELLS, Manuel: La société en réseaux: l'ère de l'information, Paris, Fayard, 1998
- ROBERT, Pascal.: La logique politique des TIC, Presses Universitaires de Bordeaux, 2005

محتوى المطبوعة:

رقم المحاضرة	عنوان المحاضرة	رقم الصفحة
/	مقدمة	03
01	المفاهيم الأولية للتكنولوجيا والإعلام في عصر التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي	06
02	الركائز الأساسية للتكنولوجيا الرقمية	19
03	التطورات المتقدمة في تكنولوجيا الاتصال اللاسلكي	34
04	تكنولوجيا الاتصال السلكي	45
05	تكنولوجيا الحاسبات في عصر البيانات الضخمة	56
06	تكنولوجيا الأقمار الصناعية ودورها في ربط العالم الرقمي	73
07	تكنولوجيا وسائل الإعلام السمعية البصرية في عصر التقارب الرقمي	83
08	التطور التكنولوجي للشبكة العنكبوتية العالمية (Web 1.0 إلى Web 4.0)	93
09	تكنولوجيا الهاتف النقال	103
10	تكنولوجيا الأجهزة التفاعلية	116
11	الكتب الإلكترونية والنشر الرقمي	127
12	التطورات المتقدمة في الألعاب الإلكترونية والبنى التفاعلية الناشئة	139
13	الأهمية المحورية والوظائف الإستراتيجية لتكنولوجيا الإعلام والاتصال (ICT)	152
14	تكنولوجيا الإعلام والاتصال في العصر الرقمي: خصائصها التحولية وتحدياتها الأخلاقية والقانونية	167
/	خاتمة	176
/	قائمة المراجع	178

مقدمة:

تأتي هذه المطبوعة البيداغوجية لطلبة السنة الثانية في شعبة الإعلام والاتصال (السداسي الثالث) ضمن مقياس «تكنولوجيا الإعلام والاتصال» استجابةً لتحوّلات عميقة أعادت تشكيل طرق إنتاج المحتوى وتوزيعه واستهلاكه.

وبما أن الإعلام لم يعد منفصلًا عن التكنولوجيا، بل صار متشابكًا معها في كل مرحلة من مراحل العمل: من جمع البيانات والتحقق منها، إلى تحرير النص والصوت والصورة، ثم النشر على منصّات متنوّعة وقياس الأثر في الزمن الحقيقين فإن الإحاطة بأساسيات التكنولوجيا لم تعد ترفًا، بل شرطًا لازِمًا لصحفي الغد وصانع المحتوى ومدير المجتمعات الرقمية وكل من يسهم في دورة الاتصال داخل المؤسسات الإعلامية.

لذلك صيغت هذه المطبوعة لتكون أقرب إلى «عدة عمل» عملية، تسندها مفاهيم واضحة ومسارات تطبيقية قابلة للاستخدام في قاعة الدرس وفي الميدان المهني على السواء.

وتبدأ المطبوعة بمقدمة مفاهيمية تُبسّط المصطلحات الأساسية وتضبط حدودها: ماذا نعني بالتكنولوجيا في سياق الإعلام؟ وكيف تتلاقى تكنولوجيا المعلومات مع تكنولوجيا الاتصالات لتشكّل بيئة رقمية موحّدة تُمكّن المؤسسات من الابتكار؟ إذ يُقدَّم هذا المدخل بأسلوب يوازن بين النظرية والمثال، بحيث يتعرّف الطالب على المفهوم عبر قصص استخدام واقعية من غرف الأخبار ومنصّات الإنتاج الرقمي، دون الغرق في تفاصيل تقنية معزولة عن السياق، والهدف هنا أن تتكوّن لدى الطالب «خريطة ذهنية» تربط بين المفاهيم الكبرى وتساعده على اتخاذ قرارات تحريرية وتقنية مبرّرة ومفهومة.

بعد ذلك تنتقل المطبوعة إلى الركائز التقنية التي يقوم عليها المحتوى الرقمي: كيف تتحول المعلومة إلى بيانات قابلة للمعالجة، وكيف تُضغط الصور ومقاطع الصوت والفيديو لتناسب قنوات النشر المختلفة دون أن تفقد قيمتها التحريرية؟ حيث يسلط الضوء في هذا القسم على العلاقة بين الجودة والحجم والزمن، بما يفسّر للطالب لماذا نختار تنسيقات بعينها لقصص الفيديو القصيرة، أو إعدادات معينة للبث الحي، أو مستويات متباينة من الدقة عندما نستهدف منصّة جوّالة مقارنة بمنصّة مكتبية، كما يتناول هذا الجزء مبادئ الأمان الرقمية بلغة بسيطة: سرّية المعلومات وسلامتها وتوفرها، وما يلزم من ممارسات يومية لحماية الحسابات والمشاريع التحريرية من الاختراق والضياع وسوء الاستخدام.

وتخصص المطبوعة محورًا للبنية التحتية للشبكات، بوصفها «الطريق» الذي يسلكه المحتوى إلى جمهوره. يتعرّف الطالب فيه على وسائل الاتصال السلكي واللاسلكي بصورة مقارنة، من الألياف الضوئية والكابلات

البحرية التي تشكّل عصب الإنترنت العالمي، إلى الشبكات اللاسلكية المنزلية والمؤسسية، ثم الأجيال الحديثة من الاتصالات الخلوية وما أتاحته من سرعات عالية وزمن وصول منخفض يدعم التجارب التفاعلية والبث الفوري، علما أنه لا يُطلب من الطالب أن يصبح مهندس شبكات، لكن أن يمتلك لغة مشتركة تساعده على محاورة الفرق التقنية واتخاذ خيارات نشر مدروسة: متى نحتاج إلى «عرض نطاق» أوسع؟ متى يكون الكمون عائقًا أمام تجربة مستخدم جيّدة؟ وكيف نقرأ القياسات الأساسية التي تعرضها منصّات التحليلات؟

وتستكشف المطبوعة منظومة الحوسبة المعاصرة: من الحوسبة السحابية التي أتاحت تخزينًا مرنًا وخدمات جاهزة تُختصر بها تكاليف التشغيل، إلى الحوسبة الطرفية التي تقرّب المعالجة من المستخدم لتقليل التأخير وتحسين الخصوصية، حيث يخرج الطالب من هذا الجزء بفهم عملي لكيفية توزيع «العمل» بين الجهاز والطرف والسحابة وفق طبيعة المهمة: تحرير أولي على الجهاز، معالجة أثقل على السحابة، وتصفية أو تنبؤ سريع على الطرف، كما ستُعرض أمثلة تطبيقية تتعلق بسير عمل الوسائط داخل غرف الأخبار الرقمية: مسارات ingest والنسخ الاحتياطي، خطوط التحويل (Transcoding) الذكية، ولوحات المراقبة التي تجمع المقاييس في صورة مفهومة قابلة للتنفيذ.

ولأن الإعلام يتّسع اليوم إلى فضاءات جديدة، تتناول المطبوعة دور الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في سد فجوات الاتصال وربط المناطق النائية، مع إبراز ما يعنيه ذلك لصحفيي الميدان، ولا سيّما عند تغطية الكوارث أو الأحداث الكبرى خارج نطاق الشبكات الأرضية، حيث يُبنى هذا الجزء بطريقة عملية تشرح مزايا التغطية واتّساعها مقابل التأخير والقيود التشغيلية، بما يمكّن الطالب من تقدير إمكانيات البدائل حين تكون الشبكات التقليدية غير متاحة.

هذا ويحتل الذكاء الاصطناعي مكانًا مركزيًا في المطبوعة، لكن من زاوية مهنية نقدية لا دعائية، حيث يتعرّف الطالب على إمكانات الأدوات الذكية في البحث والفرز والتفريغ وتحسين جودة الصوت والصورة واقتراح العناوين، كما يتعلم حدودها ومخاطرها: التحيّزات الكامنة، وإمكان توليد معلومات غير دقيقة، والحاجة الدائمة إلى مراجعة بشرية وتوثيق لخطوات العمل، وفي سياق ذلك تُقدَّم مبادئ أخلاقيات الاستخدام: الشفافية مع الجمهور عند توظيف الأدوات التوليدية، واحترام الحقوق، والالتزام بالمصداقية والتحقق متعدد المصادر قبل النشر. بهذا يتهيأ الطالب لتبنّي التقنية بوصفها مُعزِّزًا للكفاءة لا بديلًا عن الحكم التحريري.

بهذه الروح، تُصاغ «تكنولوجيا الإعلام والاتصال» في هذه المطبوعة كمجال حيّ يتجاوز الحدود بين النظرية والتطبيق، وبين الصحافة والهندسة، حيث سنمضي معًا من «فهم ما يجري تحت الغطاء» إلى «اختيارٍ واعٍ للأدوات والمسارات» ثم «تقييمٍ مستمر للنتائج». وإذا كانت التكنولوجيا تتبدّل بسرعة، فإن المهارة التي نطمح

إلى بنائها لديكم هي القدرة على التكيّف: قراءة الجديد بعين نقدية، وتجريبه بثقة، ودمجه في سير العمل بما يخدم رسالة الإعلام الأساسية: تقديم معرفة دقيقة ونافعة لجمهوركم، بهذه العدّة يمتكا الطالب معارف واضحة حول متطلبات المشاركة الفعّالة في مؤسسات الإعلام الرقمية، قادرًا على اتخاذ قرارات تقنية مُسندة بالحجة، ومتمسّكًا في الوقت نفسه بأخلاقيات المهنة التي تشكّل الأساس الصلب لأي ممارسة إعلامية مسؤولة.

المحاضرة الأولى المفاهيم الأولية للتكنولوجيا والإعلام في عصر التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي

مقدمة عامة: التكنولوجيا كإطار مفاهيمي للتحول الاتصالي

شهد القرن الحادي والعشرين تحولاً جذرياً في أسس بناء المعرفة، وكيفية معالجتها، ونقلها، وتوليدها. يمثل هذا التقرير تحليلاً أكاديمياً متعمقاً للمفاهيم الأساسية التي تشكل هذا العصر، بدءاً من التعريف الواسع للتكنولوجيا، مروراً بتفاصيل تقنيات المعلومات والاتصال، وصولاً إلى أحدث موجات الابتكار المتمثلة في الذكاء الاصطناعي التوليدي، ويهدف هذا التحليل إلى تأسيس فهم منهجي للعلاقات المتبادلة والترابط المنطقي بين هذه المفاهيم، مؤكداً على أن التطور التكنولوجي يمثل الرافعة التي تمكّن التحول الاستراتيجي والثقافي.

1. المدخل والمفاهيم التأسيسية: الإطار المنهجي للتحول

يرتكز العصر الرقمي على أربعة مفاهيم محورية تحدد البنية التحتية والمنهجية التي يتم من خلالها إدارة المعرفة ونقلها، ولا يمكن فهم التحول الرقمي كظاهرة مجردة دون ترسيخ الأسس التي تميز التكنولوجيا كنظام معرفي عن الأدوات المادية البسيطة.1.1. المفهوم الأول: التكنولوجيا (Technology)

عادة ما يُنظر إلى التكنولوجيا على أنها مرادف للأجهزة والمعدات الحديثة ومع ذلك، يقدم التعريف الأكاديمي رؤية أوسع وأكثر شمولاً، فالتكنولوجيا في جوهرها هي، "التطبيق المنهجي للمعرفة العلمية أو المعرفة المنظمة الأخرى للمهام العملية" .(Thierer, 2024)

وهذا التعريف يوسع نطاقها بشكل كبير، ليشمل مجموعة واسعة من العمليات، بدءاً من الأدوات اليدوية البسيطة في العصور القديمة وصولاً إلى الحواسيب المعقدة والبرامج الهندسية اليوم (.Britannica, n.d).

ويؤكد هذا الفهم الشامل أن نطاق التكنولوجيا يتجاوز مجرد الآلات والأدوات (Britannica, n.d.; Thurman Hux, 1979)، ليصبح مظلة تشمل المعرفة المطبقة من قبل الصناعة فيما يتعلق بمبادئ الظواهر الفيزيائية والاجتماعية، بالإضافة إلى المعرفة المتعلقة بتطبيق هذه المبادئ في الإنتاج (Thierer, 2024).

ومن هذا المنطلق، يشمل التغيير التكنولوجي أشكالاً جديدة من أساليب الإنتاج، وتصاميم جديدة، وكذلك "تقنيات تنظيم وتسويق وإدارة جديدة" (Thierer, 2024)، وهذا التأكيد على الجانب التنظيمي يضع الأساس للتحول الرقمي، مؤكداً أن أي تحليل للمفاهيم اللاحقة يجب أن يأخذ في الاعتبار الجوانب الثقافية

والتشغيلية، وليس فقط الجوانب الحاسوبية.

2.1. المفهوم الثاني: تكنولوجيا المعلومات (Information Technology - IT)

تُمثل تكنولوجيا المعلومات (IT) البنية التحتية الأساسية التي تعالج البيانات والمعلومات، وقد ظهر المصطلح بمعناه الحديث في مقال رائد نُشر في مجلة هارڤارد بزنس ريڤيو عام 1958، حيث عرفه المؤلفان، هارولد ليفيت وتوماس ويسلر، بأنه مجموعة من التقنيات التي تشمل المعالجة، وتطبيق الأساليب الإحصائية والرياضية في اتخاذ القرار، ومحاكاة التفكير عالي المستوى عبر برامج الحاسوب (Leavitt & Whisler, 1958).

وعليه يمكن اعتبار أن الوظيفة الجوهرية لـ IT هي دراسة أو استخدام أنظمة الحاسوب، وشبكات الحاسوب، وأجهزة الاتصال الأخرى، مع التركيز على خمسة محاور رئيسية هي: "إنشاء، ومعالجة، وتخزين، واسترجاع، ونقل المعلومات" (Leavitt & Whisler, 1958)، وتلعب أنظمة IT دوراً حيوياً في تسهيل إدارة البيانات بكفاءة، وتعزيز شبكات الاتصال، ودعم العمليات التنظيمية في مختلف الصناعات (Leavitt & Whisler, 1958).

1.3. المفهوم الثالث: تكنولوجيا الاتصال عن بعد (Telecommunication Technology - CT)

تختص تكنولوجيا الاتصال عن بعد (Telecommunication Technology - CT)، أو الاتصالات السلكية واللاسلكية، بنقل المعلومات عبر مسافات جغرافية، ويُعرّف الاتصال عن بعد بأنه "نقل الإشارات أو العلامات أو الكتابات أو الصور أو الأصوات أو أي معلومات من أي طبيعة بواسطة الأسلاك، أو الراديو، أو الأنظمة البصرية، أو الكهرومغناطيسية الأخرى" (Wikipedia, n.d.).

وتتمثل الغاية الأساسية لتقنيات CT في "النقل، بين أو من بين النقاط التي يحددها المستخدم، للمعلومات التي يختارها، دون تغيير في شكل أو محتوى المعلومات كما تم إرسالها واستقبالها" (47 U.S.C. § 153 ;NIST, n.d.). وهذا التعريف المستمد من الأطر التنظيمية يشدد على دور CT كقناة نقل محايدة.

أما تاريخياً، فقد تطورت شبكات الاتصالات بشكل كبير منذ ستينيات القرن الماضي مع انتشار التقنيات الرقمية، مما أدى إلى استبدال الاتصالات الصوتية بشكل تدريجي بالبيانات (Wikipedia, n.d.).

1.4. المفهوم الرابع: تكنولوجيا الإعلام والاتصال (Information and Communication Technology - ICT)

تُمثل تكنولوجيا الإعلام والاتصال (ICT) المظلة الأشمل التي تنتج عن تقارب تكنولوجيا المعلومات (IT) وتكنولوجيا الاتصال عن بعد (CT)، وهذا التقارب ليس مجرد مجموع للمفهومين، بل هو مرحلة جديدة من التكامل حيث يصبح النقل متداخلاً جوهرياً مع المعالجة (Kretschmer et al., 2018)، وقد نشأت هذه العلاقة التكاملية كنتيجة حتمية للعمليات العالمية؛ فبينما كانت IT تركز تقليدياً على الكفاءة الداخلية (تخزين ومعالجة البيانات) (Leavitt & Whisler, 1958) ، أصبح نقل هذه المعلومات بكفاءة وفعالية عبر المسافات (CT) أمراً ضرورياً لدفع الأعمال.

وتعتبر ICT عاملاً تمكينياً قوياً للابتكار في الأعمال، إذ تلعب دوراً حاسماً في تسهيل تطوير نماذج أعمال، ومنتجات، وخدمات جديدة تلبي احتياجات المستهلكين (Stanmore UK Blog, n.d.; Fabritz, 2015). كما أن المؤسسات التي تسخّر قوة ICT تكون في وضع أفضل لدفع عجلة النمو والحصول على ميزة تنافسية من خلال الاستفادة من تحليلات البيانات والحوسبة السحابية وتقنيات إنترنت الأشياء (Stanmore UK Blog, n.d.).

ولفهم العلاقة التكاملية بين هذه المفاهيم، يوضح الجدول التالي المقارنة المفاهيمية بين المكونات الثلاثة:

الجدول رقم 01: مقارنة مفاهيمية بين تكنولوجيا المعلومات والاتصال عن بعد وتكنولوجيا الإعلام والاتصال

تكنولوجيا المعلومات (IT)	تكنولوجيا الإعلام والاتصال (ICT)	تكنولوجيا الاتصال عن بعد (CT)
التركيز: المعالجة والتخزين والاسترجاع للبيانات	التركيز: الابتكار، والعمليات المؤسسية، ونماذج الأعمال	التركيز: الإرسال والنقل عبر المسافات
العناصر: أنظمة الحاسوب، قواعد البيانات، تطبيقات البرمجيات	العناصر: الإنترنت، الحوسبة السحابية، شبكات البيانات الموحدة	العناصر: شبكات الهاتف، الأقمار الصناعية، والألياف البصرية
الأهداف: إدارة البيانات الداخلية، تحسين كفاءة اتخاذ القرار(Leavitt &	الأهداف: خلق ميزة تنافسية، تسريع النمو، وتحقيق التحول الرقمي	الأهداف: نقل الإشارات (صوت، بيانات، صور) دون تغيير في المحتوى

1.5. التناقض الجوهري في التطور التكنولوجي

يواجه التحول الرقمي تحدياً بنيوياً ينبع من تناقض في كيفية تعريف واستخدام التكنولوجيا، في حين أن

التعريف الأصلي للتكنولوجيا شمل الجوانب الاستراتيجية وغير المادية، مثل "تقنيات تنظيم وتسويق وإدارة جديدة" (Thierer, 2024)، فإن هناك ميلاً متزايداً في المؤسسات إلى اختزال IT إلى مجرد "خدمة داعمة تقليدية فقط" (Salloum et al., 2020).

ويشير هذا التناقض إلى أن فشل المؤسسات في التحول لا يتعلق غالباً بنقص الأدوات التقنية (IT/CT)، بل بعدم تطبيق الجانب "المنظم" و"التنظيمي" من التكنولوجيا نفسها على المستوى الاستراتيجي، فالتحول الرقمي يتطلب بطبيعته دمج التكنولوجيا في صميم استراتيجية العمل، وليس معاملتها كقسم دعم خلفي، حيث يتطلب النجاح تجاوز التركيز على تخصص كل قسم والتحول نحو بناء "القدرات الديناميكية" اللازمة لإنشاء محتوى مبتكر مدعوم بـ ICT (Kretschmer et al., 2018).

2. بيئة المحتوى الجديدة: الرقمنة وتقارب الوسائط

مع تطور البنية التحتية لـ ICT، تغيرت طبيعة المحتوى الإعلامي ذاته، بدءاً من دمج العناصر المتنوعة وصولاً إلى تحويلها إلى شكل رقمي قابل للنشر والتوزيع العالمي.

1.2. المفهوم الخامس: إعلام الوسائط المتعددة (Multimedia)

تُعرّف الوسائط المتعددة بأنها شكل من أشكال الاتصال يستخدم "مجموعة من أشكال المحتوى المختلفة، مثل الكتابة، الصوت، الصور، الرسوم المتحركة، أو الفيديو، في عرض تقديمي واحد" (Wikipedia, n.d.)، ويمثل هذا المفهوم نقلة نوعية عن وسائل الإعلام التقليدية التي كانت تتميز بشكل واحد فقط من المحتوى.

وتكمن أهمية الوسائط المتعددة في أنها تدمج هذه اللبنات الخمسة الرئيسية (النص، الصورة الساكنة، الصوت، الفيديو المتحرك، والرسوم المتحركة) لتحسين تجربة المستخدم وتعزيز التفاعل (Interactivity) (Wikipedia, n.d.)، وقد ساهمت التطورات التكنولوجية الحديثة مثل الصوت المكاني (Spatial Audio) وتقنيات الفيديو عالية الدقة (HD, 4K)، في زيادة تفاعل الجمهور وإشراكه، وتعد المدونات المرئية وعروض الشرائح الصوتية أمثلة شائعة للتطبيقات الناجحة للوسائط المتعددة في مجال الاتصال (Wikipedia, n.d.).

2.2. المفهوم السادس: الإعلام الرقمي (Digital Media)

الإعلام الرقمي هو البيئة الشاملة التي يتم فيها إنتاج ونشر واستهلاك محتوى الوسائط المتعددة الحديث، حيث

يشير الإعلام الرقمي إلى الوسائط التي يتم تحويلها إلى معلومات مرقمنة (Digitized Information) تُبث عبر شاشة أو مكبر صوت، وتنتقل عبر الإنترنت لاستهلاكها على الأجهزة الرقمية (Wikipedia, n.d.).

ويرتبط هذا المفهوم بشكل أساسي بعملية "الرقمنة" (Digitization)، وهي عملية تحويل البيانات التناظرية (مثل النصوص المطبوعة أو الفيديو التناظري) إلى تنسيق رقمي يعتمد على النظام الثنائي (Binary Form) (Wikipedia, n.d.) وتكمن القوة الكامنة وراء الرقمنة في أنها تسمح بنقل المعلومات وتخزينها بكفاءة عالية، بغض النظر عن نوع المحتوى الأصلي، ومع ذلك، فإن هذه العملية، رغم تسهيلها للانتشار، تتسبب بطبيعتها في فقدان جزء من الجودة الأصلية مقارنة بالبيانات التناظرية غير المضغوطة.

وقد أدى ظهور الإعلام الرقمي إلى تغيير عميق في سلوك المستهلكين، الذين أصبحوا يفضلون "الاستهلاك عند الطلب" (On-Demand Consumption) بدلاً من الأوقات المحددة، مما يفرض على المؤسسات تبني نماذج أعمال جديدة تتماشى مع متطلبات العصر الرقمي (Flynn, 2018).

2.3. ظاهرة تقارب الإعلام (Media Convergence)

يظهر الأثر الأعمق للإعلام الرقمي في ظاهرة "تقارب الإعلام" (Media Convergence)، وهي العملية التي تندمج بموجبها التقنيات التي كانت متميزة سابقاً لتتشارك المهام والموارد (TAMU System, n.d.)، وقد أدى هذا التقارب إلى دمج الصحف والتلفزيون والراديو والفيلم تحت مظلة رقمية واحدة بفضل شعبية الإنترنت (EBSCO, n.d.).

وكانت الوسائط التقليدية تتميز بالتخصص (مثل الراديو للصوت أو الصحيفة للنص)، لكن الإعلام الرقمي فرض نموذج التكامل، وخير مثال على ذلك هو الهواتف الذكية، التي تجمع وظائف الكاميرا والفيديو والاتصالات الهاتفية والوصول إلى المحتوى الإعلامي بالكامل (TAMU System, n.d.)، وعليه فإن هذا التكامل يمحو الحدود التقليدية بين الصناعات الإعلامية، ويجعل المنافسة تتركز حول قدرة المؤسسة على إنتاج محتوى متعدد الوسائط ومتكامل عبر منصات موحدة.

3. التحول الرقمي الشامل (DT): الاستراتيجية، الثقافة، والقيادة

يُمثل التحول الرقمي النتيجة الاستراتيجية اللازمة لدمج تكنولوجيا الإعلام والاتصال (ICT) في الهيكل

المؤسسي، مما يتجاوز مجرد تحديث البنية التحتية، بحيث يصبح تحولا جذريا يتطلب قيادة وتغييراً ثقافياً عميقاً.

1.3. المفهوم السابع: التحول الرقمي (Digital Transformation - DT)

التحول الرقمي هو مفهوم استراتيجي شامل، يُعرّف بأنه "دمج التكنولوجيا الرقمية في جميع مجالات الأعمال، مما يغير بشكل أساسي كيفية عمل المؤسسة وتقديمها للقيمة للعملاء" (The Enterprisers Project, n.d.)، غير أن الأهم من ذلك، لا يتعلق التحول الرقمي فقط بالرقمنة (Digitization - تحويل البيانات التناظرية إلى رقمية) أو حتى المكننة (Digitalization - استخدام التقنية لتحسين العمليات)، بل هو "إعادة تصور كاملة" لكيفية عمل المؤسسة وتقديمها للقيمة (Hess et al., 2016; IBM, n.d.).

كما يتطلب التحول الرقمي "تغييراً ثقافياً" (The Enterprisers Project, n.d.)، وهذا التغيير الثقافي يستوجب أن تتحدى المنظمات باستمرار الوضع الراهن، وتتبنى التجريب، وتصبح مرتاحة لتقبل الفشل كجزء من عملية الابتكار والتجديد (The Enterprisers Project, n.d.; Imaginary Cloud, n.d.)، ويعتبر هذا التحول مسعى حاسماً لجميع الشركات لتبقى قادرة على المنافسة وذات صلة في عالم يزداد رقمنة (The Enterprisers Project, n.d.).

2.3 الأبعاد الاستراتيجية ودور تكنولوجيا المعلومات

تتطلب استراتيجية التحول الرقمي وضع "مخطط" (Blueprint) يدعم الشركات في إدارة التحولات الناشئة عن دمج التقنيات الرقمية (Hess et al., 2016)، ويجب أن يكون هذا المخطط مصمماً لضمان التوافق الوثيق بين استراتيجيات DT، واستراتيجيات IT، وجميع الاستراتيجيات التنظيمية والوظيفية الأخرى (Hess et al., 2016)، إلا أنه غالباً ما تتطلب هذه المشاريع رؤية طويلة المدى تتراوح بين خمسة إلى خمسة عشر عاماً نظراً للتكاليف الهائلة والحاجة إلى استرداد الفوائد المرجوة (OAPEN Library, n.d.).

وتخلق هذه الطبيعة الطويلة الأجل معضلة استثمارية؛ فقياس نجاح DT لا يمكن أن يتم بعوائد ربع سنوية تقليدية بل يتطلب هذا استدامة في القيادة والتزاماً يتحدى الضغوط قصيرة المدى من أصحاب المصالح، وإلا فإن المشاريع محفوفة بالفشل قبل أن تبدأ في تحقيق العائد التحويلي المرجو (IBM, n.d.).

1.2.3 دور أقسام تكنولوجيا المعلومات في التحول

إن دور أقسام IT في التحول الرقمي معقد ومثير للجدل، حيث تمتلك هذه الأقسام المعرفة المطلوبة للمشاريع التقنية، وتلعب دوراً مهماً واستباقياً في المراحل المبكرة من التحول لتطوير "قدرات ICT الأساسية" (Kretschmer et al., 2018)، ومع ذلك تواجه تحدياً يتمثل في الميل المتزايد لصناع القرار التجاري إلى إهمالهم أو استخدامهم كـ"خدمة داعمة تقليدية فقط" (كأمن تكنولوجيا المعلومات أو تكامل البنية التحتية) (Salloum et al., 2020).

ويواجه قسم IT تحدياً مزدوجاً ومتناقضاً: فعليه إدارة وصيانة الأنظمة القديمة (Legacy Systems) بفعالية وكفاءة (وهو الدور الداعم التقليدي)، وفي الوقت نفسه، يجب أن يكون شريكاً استراتيجياً في الابتكار والتجريب وبناء "القدرات الديناميكية" (Kretschmer et al., 2018)، وعليه فإن فشل المؤسسة في تمويل أو دعم هذين الدورين بوضوح يؤدي إلى إجهاد قسم IT وتحويله إلى عنق زجاجة يعيق عملية التحول الشاملة.

3.3. إدارة التغيير والثقافة (نموذج ADKAR)

يتطلب التحول الرقمي الناجح قيادة التغيير على المستويين التنظيمي والفردي (Stanford GSB, n.d.)، ولتمكين الأفراد من تبني التغيير، تُستخدم أطر عمل مثل نموذج ADKAR (الذي يركز على الوعي، والرغبة، والمعرفة، والقدرة، والتعزيز) (Prosci, n.d.)، ويضمن هذا النموذج تلبية الاحتياجات المحددة للأفراد خلال مسار التحول، مؤكداً أن التحول الرقمي يعتمد على ركائز ثلاث مترابطة: الاستراتيجية، والتقنية (ICT)، والثقافة المؤسسية، ويوضح الجدول التالي إطار العمل الاستراتيجي والثقافي للتحول الرقمي:

الجدول رقم 02:إطار عمل التحول الرقمي (النهج الاستراتيجي والثقافي)

المحور	الأهداف الرئيسية	العوامل الدافعة والأدوات الأكاديمية
الاستراتيجية ونموذج العمل	إعادة تعريف القيمة، تبني نماذج أعمال رقمية جديدة تتجاوز الأتمتة	المواءمة الاستراتيجية الوثيقة، خارطة عمل التحول الشاملة
العمليات والقدرات	تحسين الكفاءة التشغيلية، تطوير قدرات ICT الأساسية	تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، وتطوير قدرات
الثقافة وإدارة التغيير	تحدي الوضع الراهن، تشجيع التجريب وقبول الفشل كجزء من التعلم	نماذج التغيير الفردي (مثل ADKAR) لضمان الوعي والقبول المؤسسي

4. قمة الابتكار: الذكاء الاصطناعي التوليدي والأخلاقيات

يمثل الذكاء الاصطناعي التوليدي (GAI) أقصى أشكال الابتكار الناتج عن التحول الرقمي في مجال الاتصال والإعلام، حيث يغير جوهر عملية إنشاء المحتوى والتحرير.

1.4. **المفهوم الثامن: الذكاء الاصطناعي التوليدي** (Generative AI - GAI)

الذكاء الاصطناعي التوليدي هو فئة من أدوات الذكاء الاصطناعي التي تستخدم نماذج التعلم الآلي المدربة على كميات ضخمة من المعلومات لتعلم الأنماط، ثم تقوم بـ "إنشاء محتوى جديد وأصيل" استجابة لموجه (Prompt) من المستخدم (UCTL, n.d)، ويشمل هذا المحتوى النصوص، والصور، والصوت، والفيديو، والرموز البرمجية (Coursera, n.d.).

ويكمن الفرق الجوهري بين GAI وأدوات الذكاء الاصطناعي التقليدية أو محركات البحث في أن الأدوات التوليدية "لا تحدد أو تنسق المصادر الموجودة" (UCTL, n.d.)، وبدلاً من ذلك، تقوم هذه النماذج بإنشاء محتوى جديد عن طريق "التنبؤ" بما ستكون عليه الكلمة أو الصوت أو البكسل التالي في نمط معين، بناءً على التدريب الذي تلقته (UCTL, n.d.).

وتعتمد آليات عمل GAI على تقنيات متقدمة، أبرزها "نماذج الانتشار" (Diffusion Models)، التي تستخدم لإنشاء مخرجات ذات جودة عالية جداً، مثل الصور الواقعية (SuperAnnotate, n.d.).

2.4. **المفهوم التاسع: الذكاء الاصطناعي التوليدي في الإعلام** (GAI in Media)

أحدث الذكاء الاصطناعي التوليدي ثورة في مجالات التسويق الرقمي وإنشاء المحتوى الإعلامي، حيث أدى إلى "خفض الحواجز" التي كانت تقيد التصميم عالي الجودة على المحترفين المدربين على برمجيات معقدة (AccScience Publishing, n.d.)، وبالتالي مكنت أدوات GAI أي شخص من توليد محتوى الوسائط المتعددة بسرعة وكفاءة (AccScience Publishing, n.d.).

أما بالنسبة للمؤسسات الإعلامية، يتيح GAI فرصة لأتمتة العديد من المراحل، بدءاً من تجزئة الجمهور وصولاً

إلى إنشاء المحتوى المخصص وتوزيعه عبر المنصات (AccScience Publishing, n.d.)، وهذا ما يفتح آفاقاً جديدة من الإبداع والإنتاجية، ولكنه يثير في الوقت نفسه تساؤلات حول تعريف "الفن" وظهور فئة جديدة من المبدعين الذين يمزجون بين المهارات التقنية والقدرة التوليدية للذكاء الاصطناعي (AccScience Publishing, n.d.).

3.4. التحديات الأخلاقية والمخاطر التشغيلية في الإعلام

على الرغم من الإمكانات الهائلة، يثير دمج GAI في الإعلام تحديات أخلاقية خطيرة تتطلب أطراً تنظيمية صارمة، وتنبع هذه التحديات من حقيقة أن النماذج تعتمد على الأنماط بدلاً من الحكم البشري أو المعتقدات (MIT Sloan, n.d.).

1.3.4. التحيز والتحيز الثقافي (Bias)

تُدرب نماذج GAI على كميات هائلة من النصوص المتاحة للجمهور عبر الإنترنت، ونتيجة لذلك، فإنها تحمل "نفس التحيزات الموجودة في تلك المصادر وفي المجتمع الذي أنتجها" (University of Kansas CTE, n.d.)، وغالباً ما تكون هذه البيانات مهيمنة ، ومتأثرة بشكل كبير بالثقافة الأمريكية واللغة الإنجليزية University of Kansas (CTE, n.d.)، ويؤدي تضخيم هذه التحيزات إلى نتائج غير منصفة، وقد يؤدي إلى إقصاء أو تمييز.

2.3.4. الهلوسة واختلاق الحقائق (Hallucination)

تشير "الهلوسة" إلى ميل الذكاء الاصطناعي إلى "اختلاق مصادر، أو أشخاص، أو أحداث" غير موجودة (University of Kansas CTE, n.d.)، ويحدث هذا لأن تصميم النماذج يركز على توليد محتوى قائم على الأنماط والتنبؤ بالكلمة التالية الأكثر ترجيحاً، حتى لو كانت غير صحيحة من الناحية الواقعية (MIT Sloan, n.d.) في مجال الإعلام، حيث الموثوقية هي القيمة العليا، وهذا ما يشكل تحدياً كبيراً للثقة والشفافية.

ويخلق إن دمج GAI في عمليات الإنتاج إشكالية مفاهيمية عميقة، خاصة عند النظر إلى وظيفة CT (المفهوم الثالث)، فبينما صُممت CT لتكون ناقلاً محايداً يضمن النقل "دون تغيير المحتوى" (NIST, n.d.)، فإن GAI، كمنتج للمحتوى، يركز على التوليد والتغيير، ويعني هذا أن الناقل (CT) يصبح الأداة الرئيسية لنشر المعلومات المُختلقة (الهلوسة) بسرعة وكفاءة، مما يوسع وظيفة الناقل من مجرد نقل إلى مسؤولية أخلاقية جزئية عن

نوعية المحتوى المنقول.

ولمواجهة هذه التحديات، يجب تبني أطر أخلاقية عالمية، فتوصي اليونسكو بالتركيز على أربع قيم أساسية هي: حقوق الإنسان والكرامة الإنسانية، العيش في مجتمعات مسالمة وعادلة ومترابطة، ضمان التنوع والشمول، وازدهار البيئة والنظام البيئي (UNESCO, n.d.)

بالإضافة إلى ذلك يجب الالتزام بالمبادئ التطبيقية مثل العدالة، والمساءلة، والشفافية (Microsoft AI, n.d.)، ويوضح الجدول التالي الإطار الأخلاقي الضروري للذكاء الاصطناعي في الإعلام:

جدول رقم 03: الإطار الأخلاقي للذكاء الاصطناعي التوليدي في الإعلام (مبادئ وتحديات)

المحور الأخلاقي والقيمي	المبادئ المنهجية (**UNESCO/Microsoft**)	التحديات ذات الصلة في الإعلام
الأخلاقيات العالمية	الكرامة الإنسانية، حقوق الإنسان، ضمان التنوع والشمول.	تضخيم التحيز الثقافي والاجتماعي، التأثير على تعريف "الإبداع".
التطبيق والمساءلة	العدالة، المساءلة، الشفافية، الاعتمادية والسلامة.	الهلوسة واختلاق المعلومات، ضعف الثقة في المحتوى المولّد.
استراتيجيات التخفيف	التقييم النقدي المستمر للمخرجات، تنويع مصادر البيانات، استخدام أدوات الاسترجاع المعزز (**RAG**).	الحاجة الماسة إلى الحكم البشري للتحقق من الحقائق، والتدريب على هندسة الموجهات.

وفي ظل تحديات GAI، يتغير التركيز من مشكلة "نقص المعلومات" (التي سعت IT لحلها بالتخزين والمعالجة) إلى تحدي "تضخم المحتوى القابل للتوليد والهلوسة الموثقة المظهر"، الأمر الذي يرفع قيمة الحكم البشري والتحقق من الحقائق إلى وظيفة استراتيجية عليا، ويحول التركيز من كفاءة الإنتاج إلى شفافية المصدر.

لهذا السبب، يجب على المستخدمين "تقييم مخرجات الذكاء الاصطناعي بشكل نقدي" (MIT Sloan, n.d.)، وتفضيل الأدوات التي تستخدم هندسة الاسترجاع المعزز للتوليد (RAG)، التي تربط الإخراج بقواعد بيانات مرجعية محددة لزيادة الدقة (MIT Sloan, n.d.).

خلاصة المحاضرة الأولى

أظهر التحليل المفاهيمي أن التطور من التكنولوجيا الأساسية إلى الذكاء الاصطناعي التوليدي في الإعلام يتبع مساراً منطقياً مترابطاً:

1. القاعدة التكنولوجية: التكنولوجيا (المعرفة المنظمة) أسست لتكنولوجيا المعلومات (IT) (المعالجة والتخزين).
2. التقارب والتمكين: دمج IT مع تكنولوجيا الاتصال (CT) (النقل عن بعد) أدى إلى ظهور تكنولوجيا الإعلام والاتصال (ICT)، التي أصبحت الأداة الرئيسية للابتكار ونماذج الأعمال الجديدة.
3. بيئة المحتوى: سهلت ICT الرقمنة (Digitization)، مما أدى إلى ظهور بيئة الإعلام الرقمي التي تتبنى محتوى الوسائط المتعددة (دمج العناصر) عبر ظاهرة التقارب الإعلامي.
4. الاستراتيجية الثقافية: التحول الرقمي (DT) هو الاستراتيجية الشاملة التي تستخدم ICT كرافعة لإعادة تعريف القيمة ونماذج الأعمال بشكل جذري، مما يتطلب تغييراً ثقافياً عميقاً.
5. الابتكار المتقدم: يمثل الذكاء الاصطناعي التوليدي (GAI) أحدث خطوات هذا التحول، حيث يتيح أتمتة جوهر القيمة الإعلامية (إنشاء المحتوى)، ولكنه يطرح تحديات أخلاقية كبرى تتعلق بالتحيز والهلوسة، تتطلب حكماً بشرياً حاسماً وإدارة للتغيير.

المراجع

1- AccScience Publishing. (n.d.). *From concept to creation: The role of generative artificial intelligence in the new age of digital marketing*. AccScience Publishing. (https://accscience.com/journal/DP/1/1/10.36922/dp.4776)

2- Britannica. (n.d.). *Technology | Definition, Examples, Types, & Facts*. (https://www.britannica.com/technology/technology)

3- Coursera. (n.d.). *What Is Generative AI? How It Works, Examples, Benefits, and Limitations*. [Coursera, n.d.] (https://www.coursera.org/articles/what-is-generative-ai)

4- EBSCO. (n.d.). *Media convergence | Research Starters*. (https://www.ebsco.com/research-starters/social-sciences-and-humanities/media-convergence)

5- Fabritz, N. (2015). ICT as an Enabler of Innovation: Evidence from German Microdata. *ifo Working Paper Series*, 195. [Fabritz, 2015] (https://www.ifo.de/DocDL/IfoWorkingPaper-195.pdf)

6- Flynn, E. (2018). Discovering Audience Motivations Behind Movie Theater Attendance. *Elon Journal of Undergraduate Research in Communications*, 9(2). [Flynn, 2018] (https://eloncdn.blob.core.windows.net/eu3/sites/153/2018/12/09-Flynn.pdf)

7- Galbraith, J. K. (1967). *The New Industrial State*. Houghton Mifflin Company. [Galbraith, 1967] (https://en.wikipedia.org/wiki/The_New_Industrial_State)

8- Hess, T., Matt, C., & Wiesböck, F. (2016). *Digital Transformation Strategies*. Project Report. [Hess et al., 2016] (https://www.researchgate.net/publication/281965523_Digital_Transformation_Strategies

9- IBM. (n.d.). *The ultimate guide to digital transformation*. (https://www.ibm.com/think/topics/digital-transformation)

10- Imaginary Cloud. (n.d.). *What is digital transformation?* [Imaginary Cloud, n.d.] (https://www.imaginarycloud.com/blog/what-is-digital-transformation)

11- Kretschmer, T. (2018). The Evolving Role of IT Departments in Digital Transformation. *Sustainability*, 10(10), 3706. [Kretschmer, 2018] (https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3706)

12- Leavitt, H. J., & Whisler, T. L. (1958). Management in the 1980s. *Harvard Business Review*, 36(6), 41–48. (https://rua.ua.es/bitstream/10045/1655/4/The_performance_of_information_systems.pdf

13- Microsoft AI. (n.d.). *Responsible AI Principles and Approach*. [Microsoft AI, n.d.] (https://www.microsoft.com/en-us/ai/principles-and-approach)

14- MIT Sloan. (n.d.). *When AI Gets It Wrong: Addressing AI Hallucinations and Bias*. (https://mitsloanedtech.mit.edu/ai/basics/addressing-ai-hallucinations-and-bias/)

15- NIST. (n.d.). *telecommunications - Glossary | CSRC*. (https://csrc.nist.gov/glossary/term/telecommunications)

16- OAPEN Library. (n.d.). *Digital Transformation: Understanding Business Goals, Risks, Processes, and Decisions*. [OAPEN Library, n.d.] (https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/75336/9781805110620.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

17- Prosci. (n.d.). *Digital Transformation Change Management*. [Prosci, n.d.] (https://www.prosci.com/digital-transformation-change-management)

18- Salloum, M. A., D'Souza, H. B., & Hassan, S. Z. (2020). Information and Technology's role and digital transformation challenges: a systematic literature review. *ResearchGate*. (https://www.researchgate.net/publication/338885693_Information_and_Technology'_s_role_and_digital_transformation_challenges_a_systematic_literature_review_Recommended_Citation_Information_and_Technology's_role_and_digital_transformation_challenges_a_s)

19- Stanmore UK Blog. (n.d.). *The Role of ICT in Driving Business Innovation*. (https://blog.stanmoreuk.org/the-role-of-ict-in-driving-business-innovation/)

20- Stanford GSB. (n.d.). *Digital Transformation: Leading Organizational Change in the Age of AI*. (https://www.gsb.stanford.edu/exec-ed/programs/digital-transformation)

21- SuperAnnotate. (n.d.). *Introduction to Diffusion Models for Machine Learning*. (https://www.superannotate.com/blog/diffusion-models)

22- TAMU System. (n.d.). *Convergence – Media Communication, Convergence and Literacy, Second Edition*. (https://odp.library.tamu.edu/mediacommunication2e/chapter/convergence/)

23- The Enterprisers Project. (n.d.). *What is digital transformation?* (https://enterprisersproject.com/what-is-digital-transformation)

24- Thierer, A. (2024, October 12). *Defining "Technology"*. Medium. (https://medium.com/@AdamThierer/defining-technology-0c5c95c8360d)

25- Thurman Hux. (1979, March-April). Technological /Managerial Obsolescence. *American Technical Education Journal*, 6(5), 9-10. (https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED214555.pdf)

26- UCTL. (n.d.). *What is Generative AI?* University Center for Teaching and Learning. (https://teaching.pitt.edu/resources/what-is-generative-ai/)

27- UNESCO. (n.d.). *Ethics of Artificial Intelligence*. (https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/recommendation-ethics)

28- University of Kansas CTE. (n.d.). *Addressing bias in AI | Center for Teaching Excellence*. (https://cte.ku.edu/addressing-bias-ai)

29- Wikipedia. (n.d.). *Digital media*. (https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_media)

30- Wikipedia. (n.d.). *Multimedia*. (https://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia)

31- Wikipedia. (n.d.). *Telecommunications*. (https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunications)

32- Yusuf, A., & Faqih, M. (2024). Navigating Digital Transformation and Technology Adoption: A Literature Review from Small and Medium-Sized Enterprises in Developing Countries. *MDPI*, 16(14), 5946. (https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/5946)

المحاضرة الثانية: المفاهيم الأولية للتكنولوجيا والإعلام في عصر التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي

المقدمة:

يمثل العصر الحالي ذروة الثورة الرقمية، حيث تحولت البيانات من مجرد سجلات إلى أهم أصل اقتصادي واستراتيجي يمكن للمؤسسات والأفراد امتلاكه، ولكي تتمكن الأجهزة الإلكترونية والأنظمة الحاسوبية من معالجة هذا الكم الهائل من البيانات ونقله وحمايته على نطاق عالمي، فإنها تعتمد على مجموعة متجانسة من المبادئ التقنية الأساسية.

وهذه المبادئ ليست مجرد آليات فيزيائية أو برمجية منعزلة، بل هي اتفاقات عالمية ومعادلات معقدة تحكم دورة حياة البيانات بأكملها، من لحظة إنشائها حتى استهلاكها أو أرشفتها.

سنقوم في هذه المحاضرة بتقديم تحليل معمق لسبعة من هذه الركائز الأساسية التي تشكل عماد تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الحديثة، والتي تشمل الترميز، والتخزين، والإرسال، والاستقبال، وضغط البيانات، وأمن المعلومات، والبنية السحابية الأساسية، مع التركيز على الكيفية التي تتكامل بها هذه المبادئ لضمان كفاءة النظام، وجودته، وسلامة أصوله الرقمية.

القسم الأول: الترميز والتخزين

المبدأ الأول: الترميز الرقمي (Encoding): لغة الآلة الموحدة

يُعد الترميز هو العملية المفاهيمية الأولى والأساسية في دورة حياة البيانات (Adelphi University, n.d.)، إذ أنها العملية التي تحول المعلومات البشرية، مثل النصوص والأرقام والصور، إلى شكل يمكن للأجهزة الإلكترونية فهمه ومعالجته (Adelphi University, n.d.).

وفي جوهره، ينطوي الترميز على تحويل البيانات إلى تنسيق محدد، وعادة ما يكون ثنائياً، لضمان التوافق وقابلية التشغيل البيني عبر الأنظمة الحاسوبية المتنوعة (Lenovo, n.d.b)، حيث تستخدم الأجهزة الرقمية النظام الثنائي (قاعدة 2)، الذي يعتمد حصراً على الرقمين الصفر (0) والواحد (1)، لتمثيل أي كمية أو مفهوم (Lenovo, n.d.a). يُشار إلى كل من هذين الرقمين بـ"البت" (Bit)، وهو الوحدة الأساسية التي تُبنى عليها جميع أشكال التمثيل الرقمي (Adelphi University, n.d.).

ويُعتبر البت الوحدة الذرية الأصغر للتخزين، حيث يمكن تمثيله في الرقاقة الإلكترونية بشحنة كهربائية (0 أو 1)، أو في القرص الصلب بالاتجاه المغناطيسي (شمال/جنوب) (Stanford University, n.d.).

ولتمثيل المعلومات المعقدة، يتم تجميع هذه البتات في تسلسلات (Adelphi University, n.d.)، حيث أن إضافة بت واحد يضاعف عدد الأنماط الممكنة، فمن البتات يمكن أن يمثل نمطاً مختلفاً (Stanford University, n.d.)، وعلى سبيل المثال، 8 بتات (بايت واحد) يمكن أن تمثل 256 نمطاً مختلفاً (Stanford University, n.d.).

ولكي يتم التواصل الرقمي العالمي الفعال، يجب أن يتفق المجتمع التقني على خرائط ترميز موحدة، مثل ترميز Unicode أو ASCII، لربط رمز معين (مثل حرف أو علامة ترقيم) بتسلسل ثنائي محدد (Khan Academy, n.d.b؛ Adelphi University, n.d.)، وهذا حتى يتحول الترميز من مجرد عملية تقنية إلى شرط أساسي للتشغيل البيني العالمي (Adelphi University, n.d.).

1.1. التخزين الرقمي (Storage):

يرتبط التخزين الرقمي بالترميز ارتباطاً مباشراً، حيث لا يمكن حفظ البيانات إلا بعد تحويلها إلى شكلها الثنائي المرمَّز (Wikipedia, n.d.c)، وعليه فإن التخزين هو آلية حفظ هذه التسلسلات الثنائية، والتي يشار إليها عادةً بالملفات، على وسائط تخزين دائمة (Adelphi University, n.d.).

إن الوحدة الأكثر شيوعاً للتخزين والقياس هي البايت (Byte)، والذي يساوي 8 بتات (Wikipedia, n.d.d؛ Adelphi University, n.d.)، ومن الناحية الوظيفية البيانات المخزنة ليست معلومات خام (مثل اسم أو رقم) فحسب، بل يمكن أن تكون أيضاً عبارة عن تعليمات يمكن للمعالج تنفيذها، وهي المعروفة بالملفات التنفيذية (Executable Files) (Lenovo, n.d.a).

وعندما يقوم المستخدم بتنفيذ ملف ثنائي، يتم تحويل التعليمات الموجودة داخله إلى لغة الآلة التي يستطيع المعالج التعامل معها، مما يجعل التخزين الفعال أمراً ضرورياً لتشغيل البرامج (Lenovo, n.d.a).

بمعنى أن أساس التكنولوجيا الرقمية يعتمد على تحويل الحقائق الفيزيائية، مثل الشحنة الكهربائية أو المغناطيسية، إلى مفهوم مجرد وهو البت (Stanford University, n.d.)، ثم الاتفاق عالمياً على كيفية تجميع هذه البتات وترميزها (مثل ASCII و Unicode).

وهذا يضمن أن الأنظمة المختلفة يمكنها تبادل المعلومات وفهمها بشكل موحد، مما يرفع الترميز إلى مرتبة شرط أساسي للتواصل العالمي الموحد والتشغيل البيني (Adelphi University, n.d) وبالإضافة إلى البت والبايت، يستخدم في قياس سعة التخزين وحدات أكبر، مثل النيبل (Nibble) الذي يساوي 4 بتات، والـ "Word" وهو حجم متغير حسب سياق الأجهزة، مع استخدام بادئات IEC الثنائية (قوى 2) لوصف الأحجام الكبيرة (Wikipedia, n.d.d).

القسم الثاني: ديناميكية تدفق المعلومات (الإرسال والاستقبال)

2. إرسال البيانات (Transmission): عناصر التدفق المنظم

يعرف إرسال البيانات على أنه عملية ديناميكية لنقل البيانات بين جهازين أو أكثر يتواصلان عبر شبكة (Gcore, n.d.)، ولضمان نجاح هذه العملية لا بد من توافر مجموعة من العناصر الأساسية التي تحدد مسار البيانات وقواعد تدفقها (Gcore, n.d.).

حيث تعتمد العملية على وجود خمسة مكونات رئيسية: الجهاز المرسل (Sender) الذي يبدأ العملية، والجهاز المستقبل (Receiver) وهو الجهاز المستهدف، بالإضافة إلى الرسالة أو البيانات نفسها في شكلها الثنائي المرمَّز (Gcore, n.d.)، وهناك أيضا العامل الحاسم وهو الوسيط (Medium)، الذي يشكل المسار المادي أو اللاسلكي الذي تنتقل عبره البيانات، مثل كابل الألياف الضوئية أو الإشارات اللاسلكية (Gcore, n.d.).

ولعل العنصر الأكثر أهمية من الناحية التنظيمية هو البروتوكول (Protocol)، والذي يمثل مجموعة القواعد والاتفاقيات التي تحكم تنسيق البيانات، وتوقيت الإرسال، وتسلسل حزم البيانات (Gcore, n.d.)، حيث البروتوكولات هي التي تضمن أن النقل ليس مجرد تدفق عشوائي للإشارات، بل عملية منظمة يمكن لكلا الطرفين فهمها والتعامل معها، مما يضمن وجود الشبكة الرقمية كوحدة عمل متكاملة (Gcore, n.d.)، كما يوضح الجدول التالي الأدوار المفاهيمية للمكونات الأساسية في عملية الإرسال:

الجدول رقم 04:المكونات الأساسية لإرسال البيانات

المكون	الدور المفاهيمي
المرسل (Sender)	الجهاز الذي يبدأ عملية إرسال البيانات عبر الشبكة.

المستقبل (Receiver)	الجهاز الذي يتلقى البيانات المرسلة ويعمل على معالجتها.
الرسالة/البيانات (Message/Data)	المعلومات الفعلية المنقولة (نص، صورة، صوت، إلخ) في شكلها الثنائي المرمَّز.
الوسيط (Medium)	المسار المادي أو اللاسلكي الذي يشكل القناة الفيزيائية للنقل.
البروتوكول (Protocol)	مجموعة القواعد التي تحدد التنسيق والتوقيت والتسلسل لضمان الاتصال المنظم (Gcore, n.d.).

2. استقبال البيانات (Reception):

تعرف عملية استقبال البيانات على أنها المرحلة التي تلي الإرسال، حيث يتولى الجهاز المستقبل معالجة الإشارات الواردة لإعادة بناء الرسالة الأصلية (Gcore, n.d.)، إذ أنه من النادر أن يكون الاستقبال مثالياً بسبب التحديات الجوهرية المرتبطة بالوسيط الناقل، حيث تتعرض البيانات للتشويه، والضوضاء، أثناء النقل (Minkowycz & Sparrow, 2018).

ولضمان موثوقية الاتصال وسلامة البيانات، يجب أن يكون جهاز الاستقبال مجهزاً بتقنيات متقدمة لإدارة ومعالجة الأخطاء (Minkowycz & Sparrow, 2018)،حيث تُعرف هذه الآليات باسم آليات ضبط الأخطاء (Error Control) ويمكن تصنيفها إلى أنماط رئيسية (GeeksforGeeks, n.d.a؛ ResearchGate, n.d.).

1- **تصحيح الأخطاء الأمامي (FEC - Forward Error Correction):** في هذا السيناريو، يتم إضافة بتات تكرارية (Parity bits) إلى الرسالة، مما يمكّن جهاز الاستقبال من تصحيح الأخطاء مباشرة دون طلب إعادة الإرسال من المرسل (GeeksforGeeks, n.d.a ؛ ResearchGate, n.d.).
2- **طلب الإعادة التلقائي (ARQ - Automatic Repeat Request):** يعتمد على رموز كشف الأخطاء وإشارات الإقرار (Acknowledgment) أو عدم الإقرار (Negative Acknowledgment) ومهلات زمنية (Timeouts) لتحقيق تسليم موثوق (Wikipedia, n.d.e). إذا كشف المستقبل عن خطأ، فإنه يطلب من المرسل إعادة إرسال البيانات (Wikipedia, n.d.e). يُستخدم هذا النمط في الشبكات ذات السعة المتغيرة أو غير المعروفة، مثل الإنترنت، وله أنواع متعددة منها Stop-and-wait ARQ و Go-Back-N ARQ

(Wikipedia, n.d.e)).

3- تصحيح الأخطاء الهجين (Hybrid ARQ): يجمع بين FEC و ARQ، حيث يتم استخدام بتات FEC لتصحيح الأخطاء الطفيفة، ولا يُطلب إعادة الإرسال (ARQ) إلا في حال فشل FEC في التعافي من الخطأ (Wikipedia, n.d.e).

إن اختيار آلية ضبط الأخطاء (FEC مقابل ARQ) يمثل مفاضلة هندسية حاسمة بين زمن الانتقال (Latency) والنطاق الترددي (Bandwidth) (Gcore, n.d.)، فـ FEC يستهلك نطاقاً ترددياً أعلى بسبب الإضافات الدائمة للبتات التكرارية ولكنه يقلل زمن الانتقال، مما يجعله خياراً مطروحاً في الأنظمة عالية الأداء (HPC) التي يكون فيها التأخير غير مقبول (ResearchGate ؛Pepper & Lombardo, 2000, 2023).

في المقابل يُعد ARQ أكثر كفاءة في النطاق الترددي ولكنه يزيد من زمن الانتقال بسبب ضرورة الانتظار وإعادة الإرسال. البروتوكول هو الآلية التي تحكم هذا التوازن لضمان الموثوقية التشغيلية في سياقات شبكية مختلفة (Gcore, n.d.)، ويوضح الجدول التالي المقارنة بين آليات ضبط الأخطاء:

الجدول رقم (05): مقارنة آليات ضبط الأخطاء في إرسال البيانات

الآلية	المبدأ الأساسي	ميزة الأداء الرئيسية	متى يُستخدم؟
تصحيح الأخطاء الأمامي (FEC)	إضافة بتات تكرارية لتصحيح الأخطاء في جهاز الاستقبال دون إعادة إرسال.	تقليل زمن الانتقال (Latency).	القنوات عالية التأخير أو غير الموثوقة (مثل الأقمار الصناعية).
طلب الإعادة التلقائي (ARQ)	استخدام رموز كشف الأخطاء وإشارات الإقرار لطلب إعادة إرسال البيانات المفقودة.	ضمان التسليم الموثوق وتقليل استهلاك النطاق الترددي غير الضروري.	الشبكات ذات السعة المتغيرة (مثل الإنترنت).
الهجين (Hybrid ARQ)	الجمع بين FEC (للتصحيح الطفيف) و ARQ (للأخطاء الجسيمة).	الموازنة بين موثوقية FEC وكفاءة ARQ في استغلال النطاق.	أنظمة الاتصالات المتقدمة (مثل الجيل الخامس).

القسم الثالث: ضغط البيانات

الأساس النظري لضغط البيانات والآليات الجوهرية

يُعد ضغط البيانات (Data Compression) عملية حيوية لزيادة كفاءة الأنظمة الرقمية (Adelphi University, n.d.)، ويُعرّف في نظرية المعلومات بأنه عملية ترميز للمعلومات باستخدام عدد بتات أقل من التمثيل الأصلي (Wikipedia, n.d.a؛ GeeksforGeeks, n.d.b).

وتكمن القيمة الاستراتيجية للضغط في قدرته على تقليل حجم الملفات بشكل كبير، مما يقلل النطاق الترددي المطلوب لنقلها، ويقلل سعة التخزين اللازمة لحفظها، وبالتالي يخفض التكاليف التشغيلية المرتبطة بالبنية التحتية (Pure Storage, n.d.؛ Adelphi University, n.d.).

حيث يعتمد المبدأ الأساسي الذي يقوم عليه الضغط على مفهوم إزالة التكرار (Redundancy Removal Wikipedia, n.d.a)، وتحتوي معظم البيانات الحقيقية على تكرار إحصائي أو معلومات غير ضرورية تزيد من حجم البيانات بشكل غير مفيد (Wikipedia, n.d.b؛ Adelphi University, n.d.).

ومن خلال تحديد هذا التكرار والقضاء عليه، يمكن تخزين المعلومات في شكل مضغوط (Pure Storage, n.d.). تتم هذه العملية باستخدام خوارزميتين: واحدة للضغط (Encoder) والأخرى لإعادة بناء البيانات (Decoder) عند الحاجة إليها (Wikipedia, n.d.a؛ Pure Storage, n.d.).

1.3 تحليل الفئات: الضغط الفاقد مقابل غير الفاقد

تُصنف خوارزميات الضغط بشكل أساسي إلى فئتين، يحددهما الهدف من العملية:

- **الضغط غير الفاقد (Lossless Compression):** يضمن هذا النوع إمكانية إعادة بناء البيانات الأصلية بشكل مثالي وكامل من البيانات المضغوطة دون فقدان أي معلومة على الإطلاق (Adelphi University, n.d.).

  وتعتمد آليته الأكاديمية على تحديد وإزالة التكرار الإحصائي فقط (Wikipedia, n.d.b)، فالهدف هو إيجاد أقصر كود ممكن يمكن استرداده بشكل لا لبس فيه (Drmota & Szpankowski, 2017)، حيث يُستخدم الضغط غير الفاقد في الحالات التي يكون فيها التطابق التام بين البيانات الأصلية والمستعادة

أمراً بالغ الأهمية، مثل البرامج التنفيذية، والمستندات النصية، وكود المصدر، وصيغ مثل ZIP و PNG (Adelphi University, n.d).

- **الضغط الفاقد (Lossy Compression):** يسمح هذا النوع بإعادة بناء تقريبية فقط للبيانات الأصلية، ولكنه يحقق معدلات ضغط أعلى بكثير وأحجام ملفات أصغر (Adelphi University, n.d.)، ويتم ذلك عن طريق الإزالة الدائمة للمعلومات التي تُعتبر أقل أهمية أو غير ضرورية للإدراك البشري (Wikipedia, n.d.a؛ Adelphi University, n.d.).

فعلى سبيل المثال، في تنسيقات مثل JPEG، يتم استخدام نماذج الإدراك البصري للتخلص من البيانات التي لا يمكن للعين البشرية تمييزها بسهولة (Setec Investigations, n.d.)، وعلى الرغم من أن الضغط الفاقد يؤدي إلى ملفات أصغر، فإنه قد ينتج عنه عيوب مرئية تُعرف باسم "التحف" (Adobe, n.d) (artifacts)، وبالرغم من ذلك يُعد هذا النوع هو الخيار الأفضل للوسائط المتعددة (مثل الصور الفوتوغرافية، وصيغ 3MP، و4-MPEG) التي يمكن فيها التسامح مع فقدان جزء من الجودة (Adelphi University, n.d.).

جدول رقم (06): مقارنة بين الضغط الفاقد والضغط غير الفاقد

الميزة	الضغط غير الفاقد (**Lossless Compression**)	الضغط الفاقد (**Lossy Compression**)
مبدأ العمل	إزالة التكرار الإحصائي دون فقدان للمعلومات، السعي لأقصر كود ممكن.	إزالة المعلومات الأقل أهمية إدراكياً أو غير الضرورية إحصائياً.
الجودة بعد فك الضغط	إعادة بناء مثالية ومطابقة تامة للبيانات الأصلية.	إعادة بناء تقريبية (قد تظهر عيوب مرئية/artifacts).
الهدف الأساسي	الحفاظ على سلامة البيانات (Integrity) والتوثوقية (Reliability).	تقليل حجم الملف (Lower file size) وسرعة النقل.
أمثلة الملفات/الاستخدام	ZIP, PNG, GIF, المستندات النصية، كود المصدر.	JPEG, MP3, MPEG-4, الصور الفوتوغرافية المعقدة.

2.3. ضغط البيانات كمحرك للاستدامة الاقتصادية والبيئية

إن التحدي المستمر المتمثل في محدودية سعة التخزين وارتفاع التكاليف المرتبطة بالحفاظ على كميات هائلة من البيانات، لا سيما في مراكز البيانات الكبيرة، هو ما يحدد ضرورة اللجوء إلى ضغط البيانات (Adelphi University, n.d.).

حيث إدارة النمو الهائل للبيانات تتطلب استهلاكاً كبيراً للطاقة (Pure Storage, n.d.)؛ فمراكز البيانات تستهلك ما يقرب من 1-2% من إجمالي الطاقة العالمية، مما يساهم في انبعاثات الغازات الدفيئة (Virmani, 2024). ولهذا السبب، لا يُنظر إلى ضغط البيانات على أنه مجرد تحسين فني، بل هو شرط للاستدامة البيئية والاقتصادية (Pure Storage, n.d)، من خلال تقليل متطلبات النطاق الترددي والتخزين، يساهم الضغط مباشرة في تقليل استهلاك الطاقة اللازمة لعمليات النقل والحفظ (Pure Storage, n.d.).

وهذه الكفاءة التشغيلية المترتبة على الضغط تمكّن الشركات من تحقيق قابلية التوسع (Scalability) عن طريق تخزين المزيد من البيانات على البنية التحتية الموجودة، مما يؤجل الحاجة إلى الاستثمار في أجهزة تخزين إضافية (Pure Storage, n.d.).

وبالتالي يترجم ضغط البيانات الحاجة الاقتصادية لخفض التكاليف (Adelphi University, n.d.) إلى فائدة بيئية ملموسة، وهو ما يتوافق مع الأهداف البيئية الكبرى مثل "الصفقة الخضراء الأوروبية" التي تسعى لتحقيق الحياد الكربوني (MDPI, 2023)، وكنتيجة حتمية فالتوسع الرقمي لا يمكن أن يكون مستداماً اقتصادياً وبيئياً دون تقنيات كفاءة متقدمة مثل الضغط.

القسم الرابع: أمن المعلومات:

1.4. المفهوم والتحليل المفاهيمي

يشكل أمن المعلومات إطاراً مفاهيمياً ثلاثياً يعرف بـ ثالوث CIA، الذي يمثل الركائز الأساسية لضمان أمان أي نظام أو بيانات (NIST, 2020)، حيث أن الفشل في تحقيق أي من هذه الركائز الثلاثة يُعتبر خرقاً أمنياً خطيراً يؤثر على قيمة الأصول الرقمية (Washington University in St. Louis, n.d.).

- **السرية (Confidentiality):** تشير إلى الحفاظ على القيود المصرح بها على وصول المعلومات والكشف عنها،

وحماية الخصوصية والمعلومات الخاصة بالملكية (NIST, 2020)، ويتم تحقيق السرية من خلال آليات مثل التشفير المتقدم والتحكم في الوصول (Washington University in St. Louis, n.d.).

- **السلامة (Integrity):** تعني الحماية ضد التعديل أو التدمير غير المصرح به للمعلومات، وضمان أصالة البيانات (Authenticity) وعدم التنكر (NIST, 2020)، وهذا يضمن أن البيانات موثوقة وكاملة ولم يتم التلاعب بها عن طريق الخطأ أو من قبل مستخدم غير مصرح له (Washington University in St. Louis, n.d.)، وأيضا يمنع استهدافها بالهجمات السيبرانية تشمل التلاعب بالسجلات المالية أو بيانات العملاء، والإخفاق في السلامة يمكن أن يؤثر بشدة على سمعة المنظمة وإيراداتها (Washington University in St. Louis, n.d.).

- **التوفر (Availability):** يتعلق بضمان إمكانية الوصول إلى المعلومات واستخدامها بشكل موثوق وفي الوقت المناسب من قبل المستخدمين المخولين (NIST, 2020)، حيث تعتبر هجمات الحرمان من الخدمة (Denial of Service) أو برامج الفدية (Ransomware) أمثلة واضحة على تهديدات تقوض التوفر (Washington University in St. Louis, n.d.).

2.4. الأمن كعملية دورية لإدارة المخاطر

لا ينظر إلى الأمن في السياقات الأكاديمية والمهنية المتقدمة على أنه مجرد حاجز واقٍ ثابت، بل كعملية مستمرة لإدارة المخاطر (NIST, 2020)، حيث أنه وفقاً لإطار عمل المعهد الوطني للمعايير والتقنية (NIST)، تتضمن استراتيجية الأمن الفعالة خمس وظائف أساسية مترابطة تهدف إلى ضمان المرونة والتعافي (NIST, 2020):

- **التحديد (Identify):** لفهم المخاطر المحتملة للأنظمة والبيانات (NIST, 2020).
- **الحماية (Protect):** بتطبيق الضمانات اللازمة لضمان تقديم الخدمات الحيوية (NIST, 2020).
- **الكشف (Detect):** لتحديد وقوع حدث سيبراني (NIST, 2020).
- **الاستجابة (Respond):** لاتخاذ الإجراءات اللازمة بعد الكشف (NIST, 2020).
- **التعافي (Recover):** لتطبيق خطط استعادة القدرات والخدمات المتضررة (NIST, 2020).

1.2.4. تكامل إطار NIST مع سلامة البيانات (Integrity)

يمثل إطار عمل NIST تحولاً استراتيجياً من التركيز الحصري على "الحماية" إلى إعطاء الأولوية لـ المرونة

التشغيلية (NIST) (Resilience, 2020)، وتركز إرشادات NIST المتقدمة على سلامة البيانات كخاصية لم يتم بموجبها تغيير البيانات بطريقة غير مصرح بها (NIST, 2020).

ومن خلال تطبيق وظيفتي الاكتشاف (Detect) والاستجابة (Respond)، يصبح التعافي (Recover) ممكناً، مما يضمن استمرارية الأعمال وحماية السلامة والتوفر في وجه التهديدات المتطورة (NIST, 2020).

القسم الخامس: البنية السحابية الأساسية

1.5. الأساس التقني: المحاكاة الافتراضية وتمكين السحابة

تمثل الحوسبة السحابية (Cloud Computing) منهجية لتقديم موارد تكنولوجيا المعلومات، مثل قوة الحوسبة، وقواعد البيانات، والتخزين، والشبكات، عند الطلب وعبر الإنترنت، وغالباً ما تكون بنموذج الدفع مقابل الاستخدام (Cloud Zero, n.d.)، وقد أحدثت هذه المنهجية تحولاً جذرياً عن تقنية المعلومات التقليدية التي تتطلب من الشركات شراء وتركيب وصيانة الأصول في مراكز البيانات الخاصة بها (IBM, n.d.).

بشكل عام تتألف البنية السحابية الأساسية من مجموعة معقدة من الأجهزة والبرامج (Synopsys, n.d.)، يتم تقسيم بنيتها التحتية إلى الواجهة الأمامية (Frontend)، التي تشمل التطبيقات وواجهات المستخدم، والواجهة الخلفية (Backend)، التي تشمل جميع الأجهزة المادية، وأجهزة التخزين، والمعالجات، ومنطق الشبكات، وآليات الأمان (Synopsys, n.d.).

تُعد المحاكاة الافتراضية **(Virtualization)** هي التكنولوجيا المحورية التي مكنت ظهور الحوسبة السحابية (Synopsys, n.d.)، حيث تسمح هذه التقنية بإنشاء بيئات محاكاة متعددة أو موارد مخصصة (الأجهزة الافتراضية - VMs) من نظام أجهزة مادي واحد (Red Hat, n.d.).

وتعمل المحاكاة الافتراضية على تجريد موارد الخادم المادي، مثل الحوسبة والتخزين، وتوزيعها على أجهزة افتراضية منفصلة تشترك في البنية التحتية، مما يوفر كفاءة ومرونة عالية ويسمح بتقديم موارد قابلة للتوسع بتكلفة فعالة (Red Hat, n.d.).

2.5. نماذج تقديم الخدمة:

تُعرف نماذج تقديم الخدمة السحابية الثلاثة الرئيسية (IaaS, PaaS, SaaS) بالطرق التي يمكن للمنظمات من خلالها استهلاك الأصول التقنية عبر الإنترنت، وتختلف هذه النماذج في مستوى الإدارة والمسؤولية الملقاة على عاتق العميل مقابل مزود الخدمة (IBM, n.d.).

- **البنية التحتية كخدمة (IaaS - Infrastructure as a Service):** يقدم هذا النموذج موارد البنية التحتية الأساسية عند الطلب، مثل الحوسبة والتخزين والشبكات، حيث يمنح IaaS المستخدمين أكبر قدر من التحكم، إذ يكون العميل مسؤولاً عن إدارة نظام التشغيل، والتطبيقات، والبيانات الخاصة به، أما المزود فيتولى التعامل مع البنية التحتية المادية فقط (LeanIX, n.d.).

- **المنصة كخدمة (PaaS - Platform as a Service):** يقدم بيئة تطوير كاملة، بما في ذلك الأجهزة والبرامج وأدوات التطوير (Google Cloud, n.d.). وتدير هذه المنصة باعتبارها المزود البنية التحتية الأساسية وبيئة التشغيل (مثل أنظمة التشغيل والبرامج الوسيطة)، مما يسمح للمطورين بالتركيز حصراً على كتابة الكود ونشر التطبيق (DataCamp, n.d.).

- **البرمجيات كخدمة (SaaS - Software as a Service):** يقدم تطبيقاً برمجياً كاملاً وجاهزاً للاستخدام النهائي (LeanIX, n.d.)، ويمثل ذلك أعلى درجة من إدارة المزود؛ فالمزود يدير جميع طبقات الحوسبة، بما في ذلك البنية التحتية والتطبيق وتحديثاته، ولا يحتاج المستخدم سوى الوصول إلى البرنامج واستخدامه كمستخدم نهائي (DataCamp, n.d.).

3.5. نموذج المسؤولية المشتركة وتوازن التحكم والتعقيد

يعد الانتقال إلى السحابة قرارا استراتيجيا يهدف لتحويل النفقات الرأسمالية (Capex) إلى تكاليف تشغيلية متغيرة (Opex)، حيث أن اختيار النموذج (IaaS/PaaS/SaaS) يعكس توازناً بين الميزانية، والتحكم المؤسسي في الأمان، ومرونة التطوير.

إذ يوفر SaaS أقل تحكم ولكنه يلغي تقريباً جميع التعقيدات التشغيلية عن العميل، بينما يوفر IaaS أقصى قدر من التحكم ولكنه يضع عبء الإدارة الكاملة لنظام التشغيل والأمان على عاتق العميل (IBM, n.d.)، ويوضح الجدول التالي توزيع المسؤوليات بين العميل ومزود الخدمة:

جدول رقم (07):نماذج الخدمات السحابية وتوزيع المسؤوليات

نموذج الخدمة	وصف الخدمة	مستوى تحكم المستخدم	المسؤوليات الرئيسية للمزود	المسؤوليات الرئيسية للعميل
IaaS	البنية التحتية الحاسوبية والافتراضية.	الأعلى	الأجهزة، التخزين، الشبكات، المحاكاة الافتراضية.	نظام التشغيل، البرامج الوسيطة، البيانات، التطبيقات، أمن التطبيقات. (LeanIX, n.d.)
PaaS	بيئة تطوير كاملة جاهزة للنشر.	متوسط	نظام التشغيل، أدوات التشغيل، الخوادم الوسيطة، البنية التحتية.	التطبيقات، البيانات، أمن البيانات. (DataCamp, n.d.)
SaaS	تطبيق برمجي جاهز للاستخدام النهائي.	الأدنى (مستخدم نهائي).	البنية التحتية بالكامل، التطبيق، والصيانة والتحديثات.	استخدام التطبيق، إدارة بيانات المستخدم. (DataCamp, n.d.)

خلاصة المحاضرة:

تشكل المبادئ السبعة التي تم تناولها أساس دورة الحياة الكاملة للبيانات في أي نظام رقمي حديث، حيث تبدأ هذه الدورة بالتمثيل المنهجي (الترميز) والتوطين الفعال (التخزين)، وتنتقل إلى التوزيع الكفء (الضغط)، والتوصيل الموثوق (الإرسال والاستقبال)، وتحتكم جميعها لإطار الحماية (أمن المعلومات)، وتقدم في النهاية عبر نماذج تشغيل مرنة (الحوسبة السحابية) (Adelphi University, n.d.).

وتؤكد النتائج المستخلصة على النقاط الاستراتيجية التالية:

1- **الكفاءة:** ضغط البيانات ليس مجرد تحسين فني اختياري، بل هو شرط للجدوى الاقتصادية والبيئية لمواجهة تحدي النمو الهائل في البيانات (Pure Storage, n.d.؛ Adelphi University, n.d.)، حيث أن تقليل التكرار يقلل مباشرة من البصمة الكربونية لمراكز البيانات ومتطلباتها من الطاقة (Pure Storage, n.d.).

2- **المرونة:** تحول أمن المعلومات الحديث، المتمثل في إطار عمل NIST، من التركيز المطلق على الحماية إلى إعطاء الأولوية لـ المرونة التشغيلية، وتكمن أهمية هذا التحول في ضمان سلامة البيانات وتوفرها عبر

القدرة الفعالة على الكشف عن الهجمات والاستجابة لها والتعافي منها، بدلاً من الافتراض بأن الحماية الأولية ستكون كافية ضد التهديدات المتقدمة (NIST, 2020).

3- **التجريد**: سمحت تقنية المحاكاة الافتراضية بالتجريد التقني لموارد الحوسبة، وهو ما يعد حجر الزاوية لنموذج اقتصادي جديد (الحوسبة السحابية) قائم على المرونة التشغيلية والدفع مقابل الاستخدام (Synopsys, n.d.).

4- **التكامل:** يجب على صناع القرار النظر إلى هذه الركائز على أنها نظام متكامل ومتشابك (Adelphi University, n.d.). فالإخفاق في ركيزة واحدة، مثل ضعف آليات تصحيح الأخطاء في الإرسال، أو عدم كفاية ضغط البيانات، أو ضعف وظيفة الكشف في الأمن، يعرض كفاءة وسلامة النظام الرقمي بأكمله للخطر (Adelphi University, n.d.). إن فهم هذه التفاعلات المعقدة أمر بالغ الأهمية لأي قرار استراتيجي في العصر الرقمي.

قائمة المراجع:

1. **Adobe.** (n.d.). *Lossy vs lossless: What's the difference?* مُسترجع من https://www.adobe.com/uk/creativecloud/photography/discover/lossy-vs-lossless.html
2. **Adelphi University.** (n.d.). *Data representation* مُسترجع من https://home.adelphi.edu/~siegfried/cs170/170l1.pdf.
3. **Cloud Zero.** (n.d.). *The 4 Types Of Cloud Computing: Choosing The Best Model* مُسترجع من https://www.cloudzero.com/blog/types-of-cloud-computing/ .
4. **DataCamp.** (n.d.). *Cloud Service Models Explained: IaaS, PaaS, and SaaS* مُسترجع من https://www.datacamp.com/blog/cloud-service-models .
5. **Drmota, M., & Szpankowski, W.** (2017). Redundancy of Lossless Data Compression for Known Sources by Analytic Methods. *Foundations and Trends in Communications and Information Theory, XX*(XX), 1–140.
6. **Gcore.** (n.d.). *What is data transmission Guide: Everything you need to know about it* مُسترجع من https://gcore.com/learning/data-transmission-guide-everything-you-need-to-know .
7. **GeeksforGeeks.** (n.d.a). *Error Correction in Computer Networks* مُسترجع من https://www.geeksforgoeks.org/computer-networks/error-correction-in-computer-networks/.
8. **GeeksforGeeks.** (n.d.b). *Introduction to Data Compression* مُسترجع من https://www.geeksforgoeks.org/computer-networks/introduction-to-data-compression/.
9. **Google Cloud.** (n.d.). *PaaS vs IaaS vs SaaS: What's the difference?* مُسترجع من https://cloud.google.com/learn/paas-vs-iaas-vs-saas
10. **IBM.** (n.d.). *IaaS, PaaS, SaaS: What's the difference?* مُسترجع من https://www.ibm.com/think/topics/iaas-paas-saas

11. **Khan Academy.** (n.d.a). *Lossy compression* مُسترجع من .https://www.khanacademy.org/computing/computers-and-internet/xcae6f4a7ff015e7d:digital-information/xcae6f4a7ff015e7d:data-compression/a/lossy-compression
12. **Khan Academy.** (n.d.b). *Storing text in binary* مُسترجع من .https://www.khanacademy.org/computing/computers-and-internet/xcae6f4a7ff015e7d:digital-information/xcae6f4a7ff015e7d:storing-text-in-binary/a/storing-text-in-binary
13. **LeanIX.** (n.d.). *IaaS vs. PaaS vs. SaaS - Differences, Examples and Diagram* مُسترجع من . https://www.leanix.net/en/wiki/apm/iaas-vs-paas-vs-saas
14. **Lenovo.** (n.d.a). *What is binary?* مُسترجع من https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-binary/
15. **Lenovo.** (n.d.b). *What is encode?* مُسترجع من https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-encode/
16. **MDPI.** (2023). *Energies, 16* مُسترجع من .5764 ,(15)https://www.mdpi.com/1996-1073/16/15/5764
17. **Minkowycz, W. J., & Sparrow, E. M.** (2018). High-Performance Computing for Fluid Flow and Heat Transfer. In *Advances in Numerical Heat Transfer*. Taylor and Francis.
18. **National Institute of Standards and Technology (NIST).** (2020). *Data integrity: Detecting and responding to ransomware and other destructive events* (NIST Special Publication 1800-26 Vol. A مُسترجع من .(https://www.nccoe.nist.gov/publication/1800-26/VolA/index.html
19. **Pepper, D. W., & Lombardo, J. M.** (2000). High-Performance Computing for Fluid Flow and Heat Transfer. In *Advances in Numerical Heat Transfer, Volume 2*. CRC Press.
20. **Pure Storage.** (n.d.). *What Is Data Compression?* مُسترجع من https://www.purestorage.com/uk/knowledge/what-is-data-compression.html
21. **Red Hat.** (n.d.). *What's the difference between cloud and virtualization?* مُسترجع من https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/cloud-vs-virtualization
22. **ResearchGate.** (n.d.). *Error-control schemes for networks: an overview* مُسترجع من .https://scispace.com/pdf/error-control-schemes-for-networks-an-overview-5dnt6nqqj9.pdf
23. **ResearchGate.** (2023). *Computational Fluid Flow and Heat Transfer Advances Design Control and Applications* مُسترجع . من https://www.researchgate.net/publication/375768688_Computational_Fluid_Flow_and_Heat_Transfer_Advances_Design_Control_and_Applications
24. **Setec Investigations.** (n.d.). *Comparing graphical formats* مُسترجع من . http://www.setecinvestigations.com/resources/techhints/Comparing_Graphical_Formats.pdf
25. **Stanford University.** (n.d.). *Bits and Bytes* مُسترجع من .http://web.stanford.edu/class/cs101/bits-bytes.html
26. **Synopsys.** (n.d.). *Cloud Computing Infrastructure: Structure, Components, and Functionality* مُسترجع من . https://www.synopsys.com/blogs/chip-design/cloud-computing-infrastructure.html
27. **Virmani, S.** (2024). Investigating the Environmental Sustainability of Data Centers. *American Journal of Student Research, 3* مُسترجع من .(1)https://ajosr.org/wp-content/uploads/journal/published_paper/volume-3/issue-

1/ajsr2024_Zrj3RTFV.pdf

28. **Washington University in St. Louis.** (n.d.). *Confidentiality, Integrity, and Availability: The CIA Triad* مُسترجع من . https://informationsecurity.wustl.edu/guidance/confidentiality-integrity-and-availability-the-cia-triad/
29. **Wikipedia.** (n.d.a). *Data compression* مُسترجع من .https://en.wikipedia.org/wiki/Data_compression
30. **Wikipedia.** (n.d.b). *Lossless compression* مُسترجع من .https://en.wikipedia.org/wiki/Lossless_compression
31. **Wikipedia.** (n.d.c). *Computer data storage* مُسترجع من .https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_data_storage
32. **Wikipedia.** (n.d.d). *Units of information* مُسترجع من .https://en.wikipedia.org/wiki/Units_of_information
33. **Wikipedia.** (n.d.e). *Error detection and correction* مُسترجع من . https://en.wikipedia.org/wiki/Error_detection_and_correction

المحاضرة الثالثة: التطورات المتقدمة في تكنولوجيا الاتصال اللاسلكي

مقدمة:

يمر قطاع الاتصالات اللاسلكية بتحول جوهري يتجاوز مجرد زيادة سرعات نقل البيانات، فبينما ركزت الأجيال السابقة، مثل الجيل الثالث (3G) والجيل الرابع (4G)، بشكل أساسي على توفير النطاق الترددي للمستخدمين المتنقلين، فإن الأجيال الحالية والمستقبلية، بدءاً من الجيل الخامس (5G)، تتبنى نموذجاً قائماً على "الخدمات" المحددة و"التطبيقات" المتنوعة، وهذا ما سنتناوله في هذه المحاضرة بالتفصيل

القسم الأول: المدخل إلى عصر الاتصال اللاسلكي المتقدم

1.1. الإطار النظري والتحول في الأجيال اللاسلكية

تشير الدراسات الأكاديمية إلى أن الأجيال القديمة كانت تعاني من قصور في تلبية متطلبات الموثوقية الشاملة وجودة الخدمة (Quality of Service - QoS)، بالإضافة إلى مشكلات في التغطية المرنة (Fagbohun, n.d.)، وقد أدى هذا القصور إلى الحاجة الملحة لتبني G5 نموذجاً جديداً يعالج هذه القيود من خلال تخصيص موارد الشبكة وفقاً لنوع الخدمة المطلوبة (Fagbohun, n.d.).

فلم يعد التطور اللاسلكي مجرد سباق سرعة؛ بل أصبح تحدياً لتمكين تطبيقات ذات متطلبات زمنية وموثوقية صارمة (Fagbohun, n.d.)، وهذا يعني أن الانتقال من G4 إلى G5 لم يكن مدفوعاً فقط بمطالب السرعة العالية، بل كان سبباً مباشراً في ظهور متطلبات حيوية مثل الاتصال فائق الموثوقية ومنخفض الكمون (uRLLC)، وهو ما يمثل نقلة هيكلية في تصميم الشبكات بدلاً من مجرد تحسين في الأداء (Fagbohun, n.d.). حيث سنركز في هذه المحاضرة على تحليل الميزات والآثار المترتبة على هذا التحول التكنولوجي، من الشبكات الخلوية واسعة النطاق (G5 و G6) إلى الشبكات المحلية (Wi-Fi 7)، وكيف تتضافر هذه التكنولوجيات لتشكيل منصة إنترنت الأشياء (Fagbohun, n.d).

2.1. أهمية التقارب التكنولوجي بين الشبكات الخلوية وشبكات الواي فاي

تُظهر التطورات الراهنة أن مشهد الاتصال اللاسلكي يتجه نحو التعايش والتكامل، بدلاً من التنافس التقليدي بين الشبكات الخلوية (5G/6G) وشبكات الواي فاي (Murad et al., n.d)،ويعتبر هذا التقارب ضرورياً لإنشاء

نظام بيئي هجين قادر على تلبية متطلبات جميع أنواع التطبيقات (Murad et al., n.d.).

ومن منظور تحليلي لا تتنافس تكنولوجيا الجيل الخامس والسادس مع معيار الواي فاي المتقدم (Wi-Fi 7)، بل تكملها استراتيجياً (Murad et al., n.d.)، ففي حين أن شبكات G5 و G6 مصممة لدعم التنقل الواسع وتوفير خدمات الاتصال الخلوي الموثوقة على نطاق جغرافي واسع، فإن Wi-Fi 7 تركز على حل مشاكل الاتصال اللاسلكي في البيئات الداخلية ذات الكثافة العالية (Murad et al., n.d.).

فعلى سبيل المثال يمكن للمؤسسات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء الصناعي أن تستخدم شبكات G5 الخاصة لضمان موثوقية الاتصال والأمان خارج المبنى، وتكمّلها بشبكات Wi-Fi 7 داخل المرافق لتمكين تطبيقات النطاق الترددي العالي جداً مثل الواقع الافتراضي أو تدفق البيانات الهائل (Murad et al., n.d.)، وهذا النهج المدمج هو ما يشكل الأساس للبنية التحتية المستقبلية للمدن والمصانع الذكية، مما يضمن أقصى قدر من الكفاءة والموثوقية التشغيلية (Murad et al., n.d.).

القسم الثاني: تكنولوجيا الجيل الخامس (G5)

1.2. الخصائص الجوهرية والقفزة من الجيل الرابع

يمثل الجيل الخامس قفزة نوعية في الأداء من حيث السرعة والقدرة التشغيلية، مستخدماً نطاقات تردد منخفضة ومتوسطة وعالية (موجات مليمترية - Pardeshi & Vinchurkar) (mmWave, 2024)، حيث تتميز هذه الشبكات بثلاثة خصائص محورية تعمل على تغيير شكل التطبيقات الرقمية حول العالم (Pardeshi & Vinchurkar, 2024):

- **السرعة والنطاق الترددي:** يوفر G5 معدلات بيانات أسرع بكثير مقارنة بـ G4، مما يدعم تطبيقات تحتاج إلى تدفق هائل للمعلومات مثل البث الحي فائق الدقة أو خدمات الواقع الافتراضي المعزز (Pardeshi & Vinchurkar, 2024).
- **زمن الكمون المنخفض جداً (Ultra-Low Latency):** الكمون هو الوقت المستغرق لرحلة ذهاب وعودة للبيانات، حيث يقلل G5 هذا الزمن إلى مستوى المللي ثانية، وهو أمر بالغ الأهمية للتطبيقات التي تتطلب استجابة فورية، ومن الأمثلة الحاسمة على ذلك المركبات الذاتية التي تحتاج إلى اتخاذ قرارات في جزء من الثانية، أو إجراء الجراحة عن بعد حيث تتطلب موثوقية عالية وتأخيراً صفرياً تقريباً (Pardeshi &

.(2024 ,Vinchurkar

- **كثافة الاتصال الضخمة (Massive Device Connectivity):** يمتلك G5 القدرة على التعامل مع عدد هائل من الأجهزة المتصلة في منطقة محدودة (ما يعرف بكثافة الاتصال)، وهذه الخاصية ضرورية لتمكين النمو غير المسبوق لشبكات إنترنت الأشياء (IoT)، حيث يتم توصيل المليارات من المستشعرات والأجهزة منخفضة الطاقة بالشبكة (Pardeshi & Vinchurkar, 2024).

2.2. فئات الخدمات الثلاث لشبكة G5

تم تصميم شبكة G5 لدعم ثلاث فئات رئيسية للخدمات، والمعروفة باسم "مثلث G5"، والتي تتيح تخصيص الشبكة لتلبية متطلبات محددة، مما يفسر سبب قدرة G5 على دعم مجموعة واسعة من الصناعات (Wi-Fi .(Alliance, n.d:

- **النطاق العريض المتنقل المعزز (Enhanced Mobile Broadband):** تركز هذه الفئة على توفير معدلات بيانات عالية وسعة كبيرة، وهي مصممة لتحسين تجربة المستخدم النهائي في استهلاك المحتوى، مثل بث الفيديو بجودة 8K، أو تطبيقات الواقع الافتراضي والواقع المعزز (VR/AR) التي تتطلب نقل كميات ضخمة من البيانات (Wi-Fi Alliance, n.d.).
- **الاتصال واسع النطاق للآلة (Massive Machine Type Communication):** يهدف هذا التصنيف إلى ربط عدد كبير جداً من الأجهزة، وعادة ما تكون مستشعرات أو عدادات ذكية، والتي لا تحتاج إلى معدلات بيانات عالية ولكن تتطلب كفاءة فائقة في استخدام الطاقة للعمل لسنوات دون شحن، مع تغطية شاملة، وهو المحرك الرئيسي لإنترنت الأشياء على نطاق واسع (Wi-Fi Alliance, n.d.).
- **الاتصال فائق الموثوقية ومنخفض الكمون (Ultra-Reliable Low Latency Communication):** هذه الفئة مخصصة للتطبيقات الحرجة التي تتطلب موثوقية قصوى وأداءً في الوقت الفعلي، وهي حاسمة للتحكم في الأنظمة الصناعية، والروبوتات في المصانع الذكية، وخدمات النقل الذكي، حيث قد تؤدي أي تأخيرات أو انقطاعات إلى عواقب وخيمة (Wi-Fi Alliance, n.d.).

إن دعم G5 لهذه الخدمات يثبت أن شبكة G5 هي الأساس الأصيل لإنترنت الأشياء (Sohrabi & Aliberti, 2024)، بمعنى أنه لم يكن إنترنت الأشياء مجرد تطبيق إضافي لـ G5، بل كان متطلباً أساسياً في صياغة مواصفات الشبكة، وهذا ما يميز الجيل الخامس عن أسلافه (Sohrabi & Aliberti, 2024).

القسم الثالث: شبكات الواي فاي المتقدمة (Wi-Fi 7):

التطور من Wi-Fi 6 إلى Wi-Fi 7

تُعرف تكنولوجيا Wi-Fi 7 رسمياً باسم معيار IEEE 802.11be، وتُطلق عليه تسمية الإنتاجية العالية جداً حيث يمثل هذا المعيار قفزة نوعية وليست مجرد زيادة تدريجية في السرعة مقارنة بـ Wi-Fi 6، ويمكن أن تتجاوز معدلات السرعة النظرية الإجمالية في أجهزة توجيه Wi-Fi 7 النموذجية 30 جيجابت في الثانية، وهو ما يمثل زيادة تبلغ 2.4 ضعف عن السرعة القصوى لشبكات Wi-Fi 6 و Wi-Fi 6E (التي تصل إلى 9.6 جيجابت في الثانية) (PCMag, n.d.).

هذه الزيادة الهائلة في الإنتاجية تحول Wi-Fi 7 إلى حل حاسم لتمكين التطبيقات التي تحتاج إلى نطاق ترددي ضخم جداً داخل المباني، مثل العمل من المنزل القائم على السحابة، والخدمات التفاعلية المتقدمة، وخدمات الألعاب السحابية المعقدة (Murad et al., n.d.).

المزايا التقنية الرئيسية لـ Wi-Fi 7

لتحقيق هذه القفزة في الأداء، اعتمد Wi-Fi 7 على العديد من التحسينات الهيكلية مقارنة بالجيل السابق (IEEE 802.11be Task Group, n.d.):

- **زيادة عرض القناة:** تم توسيع الحد الأقصى لعرض قنوات الإرسال ليصبح 320 ميجاهرتز في Wi-Fi 7 ، وهو ضعف الحد الأقصى لعرض القنوات المتاح في Wi-Fi 6 و Wi-Fi 6E (160 ميجاهرتز) (IEEE 802.11be Task Group, n.d.).

-**كثافة البيانات المعززة:** يستخدم Wi-Fi 7 نوعاً متقدماً من التعديل يسمى تعديل السعة المتدرج الرباعي (4K QAM)، مقارنة بـ 1024 QAM المستخدمة في Wi-Fi 6، ويمكن تفسير ذلك بتبسيط حيث يسمح هذا التحسين برفع كفاءة تشفير البيانات؛ فكل "رمز" يتم إرساله عبر الإشارة اللاسلكية يمكنه الآن حمل 12 بت بدلاً من 10 بتات كما كان الحال في Wi-Fi 6 ، مما يزيد من معدلات الإرسال النظرية بنسبة 20% تقريباً دون الحاجة إلى زيادة النطاق الترددي بشكل هائل (IEEE 802.11be Task Group, n.d.).

- **التشغيل متعدد الروابط (Multi-Link Operation):** تمثل هذه الميزة تحولاً كبيراً في إدارة الازدحام تسمح للجهاز النهائي (مثل الحاسوب المحمول أو الهاتف الذكي) بالاتصال بالموجه عبر نطاقين ترددين في وقت واحد

(مثلاً 5 جيجاهرتز و 6 جيجاهرتز) (IEEE 802.11be Task Group, n.d.)،وهذا التعدد في الروابط يقلل بشكل كبير من زمن الكمون ويحسن الموثوقية في البيئات المزدحمة أو حيث تتداخل الشبكات اللاسلكية، وهو أمر حاسم لتطبيقات إنترنت الأشياء التي تتطلب استجابة مضمونة (Siddiqui & Ahmad, 2024).

إن Wi-Fi 7 مصمم ليس فقط لزيادة السرعة، ولكن لمعالجة تحديات الازدحام والتداخل في البيئات الكثيفة (Siddiqui & Ahmad, 2024)، وهذا التطور حاسم لتطبيقات إنترنت الأشياء الداخلية التي تعتمد على مستشعرات متعددة تتطلب موثوقية عالية وثباتاً في الاتصال (Siddiqui & Ahmad, 2024).

القسم الرابع: رؤية الجيل السادس (6G)

1.4. أهداف شبكة الجيل السادس6G والخصائص الكمية المتوقعة

بينما لا يزال الجيل السادس (G6) في مرحلة البحث والتطوير المتقدمة، حيث من المتوقع أن تبدأ عملية التسويق التجاري بين سنتي 2029-2030 (Säily et al., 2025)، فإنه يحمل أهدافاً طموحة تتجاوز حدود G5 الحالية. من أبرز هذه الأهداف (Rai et al., 2022):

- **نطاق التردد:** من المتوقع أن يعمل G6 في نطاقات تردد أعلى بكثير، تحديداً في نطاق التيراهيرتز (THz)، والذي يمتد من 95 جيجاهرتز إلى 3 تيراهيرتز (Rai et al., 2022).

- **السرعة والكمون:** تهدف شبكات G6 إلى توفير معدل بيانات يصل إلى 1000 جيجابت في الثانية (أو 1 تيرابت في الثانية)، مما يجعلها أسرع بنحو 100 مرة من G5. ومن المتوقع أن ينخفض زمن الكمون ليصبح أقل من 100 ميكروثانية، مما يمثل تحسناً كبيراً عن مستوى الملي ثانية.

- **الاتصال الشامل والموثوقية المطلقة:** يتوقع أن يحقق G6 اتصالاً منتشراً وموثوقية فائقة، مما يتيح تجارب تحويلية مثل التوائم الرقمية وواجهات العرض والحاسوب (Murad et al., n.d) .

الجدول رقم (08): مقارنة الخصائص الرئيسية لشبكات الجيل الخامس والسادس

الخاصية	الجيل الخامس (G5)	الجيل السادس المتوقع (6G)
نطاق التردد الرئيسي	أقل من 6 جيجاهرتز وموجات مليمترية	تيراهيرتز (THz) (95 جيجاهرتز إلى 3 تيراهيرتز)

سرعة البيانات القصوى	تصل إلى 10 جيجابت في الثانية	تصل إلى 1000 جيجابت في الثانية (1 تيرابت/ث)
زمن الكمون (Latency)	حوالي 1 مللي ثانية	أقل من 100 ميكروثانية
المفهوم المحوري	ربط الأشياء والأفراد بإنترنت موثوق	الشبكة الذكية للكل / الذكاء الشبكي الشامل
الذكاء الاصطناعي	أداة إضافية لإدارة الشبكة	مدمج ومتغلغل في كل جانب Pervasive AI

2.4. مفهوم الذكاء الشبكي الشامل

يمثل تكامل الذكاء الاصطناعي (AI) في صميم بنية G6 التغيير الأهم في هذا الجيل (Shi et al., 2024)، إذ لن يكون الذكاء الاصطناعي مجرد أداة إضافية لإدارة الشبكة، بل سيصبح جزءاً متغلغلاً في كل جانب من جوانبها، وصولاً إلى الأجهزة الطرفية والسحابة، مما ينتج عنه ما يُعرف بـ"الذكاء الشبكي الشامل" (Saad et al., 2024).

ويُفهم دور الذكاء الاصطناعي في G6 من منظور مزدوج (Saad et al., 2024):

- **الذكاء الاصطناعي من أجل الشبكات:** حيث يتم استخدام تقنيات التعلم الآلي لتسهيل إدارة شبكة G6 بالغة التعقيد، وضبطها وتحسين أدائها بشكل تلقائي، وضمان تلبية متطلبات جودة الخدمة الصارمة (QoS) (Saad et al., 2024).

- **الشبكات من أجل الذكاء الاصطناعي:** حيث يتم تصميم شبكة G6 نفسها لتكون منصة مثالية لدعم وتسهيل تطبيقات الذكاء الاصطناعي الموجهة نحو الخدمة (Saad et al., 2024).

وبهذا، يمثل G6 تحولاً جذرياً من كونه شبكة "اتصال" إلى كونه شبكة "ذكاء" (Säily et al., 2025)، فالهدف هو إنشاء "الشبكة الذكية للكل" (Intelligent Network of Everything)، حيث يكون كل شيء متصلاً وذكياً وواعياً ببيئته (Säily et al., 2025).

3.4 توسيع إطار الأهداف والمتطلبات

في ضوء هذه الأهداف الطموحة، يتوسع نموذج "مثلث G5" ليشمل متطلبات جديدة تُعرف باسم سداسي 6G بالإضافة إلى تعزيز فئات G5 الثلاث يضيف G6 محاور جديدة تمثل جوهر رؤيته (Sohrabi & Aliberti, 2024):

- **الاستشعاروالاتصال المتكامل**: ستكون الشبكة قادرة ليس فقط على نقل البيانات، بل أيضاً على استشعار وتحديد موقع الأجهزة والبيئة المحيطة بها (Sohrabi & Aliberti, 2024).

- **الذكاء الاصطناعي المتكامل**

- **الاتصال الشامل والمُنتشر**

ويثير هذا الدمج العميق للذكاء الاصطناعي تحديات تنظيمية وأخلاقية، خاصة فيما يتعلق بـ "الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير" (Interpretable AI)، فلبناء الثقة بين المستخدمين والأنظمة المعقدة، يجب أن تكون آليات صنع القرار في الشبكة شفافة ومفهومة، وهو ما يفرض متطلبات غير تقنية على مطوري الجيل السادس (Shi et al, 2024).

القسم الخامس: إنترنت الأشياء (IoT) كمنصة تطبيقية للشبكات اللاسلكية

1.5. البنية المعمارية لإنترنت الأشياء (نموذج الطبقات الأربعة)

يعتمد إنترنت الأشياء (IoT) على بنية طبقية لتنظيم العمليات المعقدة لجمع البيانات ومعالجتها وتطبيقها (Rahmani et al., 2024)، ويساعد نموذج الطبقات الأربعة على فهم كيفية تكامل تكنولوجيات الاتصال اللاسلكي المتقدمة (G5 و Wi-Fi 7) مع التطبيقات النهائية (Rahmani et al., 2024):

- **طبقة الإدراك (Perception Layer)**: تُعرف هذه الطبقة بأنها "حواس" نظام إنترنت الأشياء (Rahmani et al., 2024)، وهي الطبقة السفلية التي تتعامل مع العالم المادي مباشرة. وتشمل المستشعرات (Sensors) التي تجمع البيانات (مثل درجة الحرارة أو الحركة) والمشغلات (Actuators) التي تسمح للنظام بالتفاعل مع البيئة (مثل تشغيل ضوء أو فتح صمام) (Rahmani et al., 2024)، وتتمثل وظيفتها الأساسية هي تحويل البيانات الخام إلى شكل رقمي يمكن للطبقات العليا فهمه (Rahmani et al., 2024).

- **طبقة الشبكة (Network Layer)**: هي "قنوات الاتصال" أو الجسر الذي يربط أجهزة الإدراك بوحدة المعالجة المركزية، ووظيفتها هي نقل البيانات بكفاءة وموثوقية، وتستخدم مجموعة متنوعة من تقنيات الاتصال، بما في ذلك شبكات 5G وشبكات الواي فاي المتقدمة (Rahmani et al., 2024)

- **طبقة البرمجيات الوسيطة (Middleware Layer)**: تقع هذه الطبقة في المنتصف وتعمل "كمترجم ومدير"،

وظيفتها معالجة وتصفية وتوحيد البيانات القادمة من طبقة الشبكة. وهي مسؤولة عن إدارة الأجهزة والوساطة في الرسائل، مما يبسط كيفية تفاعل الأجهزة المتنوعة مع التطبيقات النهائية في الطبقة العليا (Rahmani et al., 2024).

- **طبقة التطبيقات (Application Layer):** وهي الطبقة العليا التي يواجهها المستخدمون، وهي المكان الذي يتم فيه تطوير تطبيقات إنترنت الأشياء (مثل أنظمة المدن الذكية أو تطبيقات المنازل الذكية) وتظهر فيه النتائج النهائية للبيانات بعد تحليلها، مما يسمح للمستخدم بالتحكم في النظام (Rahmani et al., 2024).

2.5. أمثلة تطبيقية متقدمة لإنترنت الأشياء في سياق الشبكات الجديدة

تعتمد فعالية تطبيقات إنترنت الأشياء بشكل مباشر على موثوقية طبقة الشبكة وقدرتها على التعامل مع الكثافة الهائلة والكمون المنخفض (Rahmani et al., 2024).

- **المدن الذكية (Smart Cities):** يمثل إنترنت الأشياء البنية التحتية لتمكين مبادرات المدن الذكية، من خلال الإدارة الفعالة لحركة المرور، وتحسين جمع النفايات، وترشيد استهلاك الموارد (Rahmani etmani et al., 2024).

وعلى سبيل المثال، في تطبيقات التحكم المروري الآني، لا يمكن لمهندسي المدينة الاعتماد على شبكات تقليدية؛ بل تتطلب هذه التطبيقات موثوقية لضمان وصول أوامر التحكم في الإشارات المرورية في الوقت الفعلي، كما يمكن لشبكات 5G أن تدعم آلاف أجهزة الاستشعار البيئية وعدادات المياه الذكية التي تتطلب اتصالات منخفضة الطاقة على نطاق واسع (Rahmani et al., 2024).

- **المنازل الذكية (Smart Homes):** يمثل هذا المجال أحد أسرع تطبيقات إنترنت الأشياء تبنياً ويستفيد بشكل خاص من التطورات في Wi-Fi 7 (PCMag, n.d)، حيث تصبح المنازل أكثر أماناً وكفاءة عبر أجهزة مثل منظمات الحرارة الذكية (Smart Thermostats) التي تتعلم تفضيلات المستخدم وتعدل درجة الحرارة تلقائياً لتقليل استهلاك الطاقة (Rahmani et al., 2024).

وتتطلب أجهزة الترفيه المنزلي المتقدمة، مثل تدفق الفيديو بدقة عالية جداً أو أنظمة الواقع الافتراضي، النطاق الترددي الهائل وزمن الكمون المنخفض الذي توفره تقنية Wi-Fi 7 (PCMag, n.d).

القسم السادس: التكامل والتحديات والآفاق المستقبلية

1.5. التكامل بين التكنولوجيات اللاسلكية: النظام البيئي الهجين

يُظهر التحليل الشامل للتقنيات اللاسلكية المتقدمة أن المستقبل لا يكمن في تفوق تقنية على أخرى، بل في تكاملها الاستراتيجي، حيث يجب النظر إلى شبكات 5G/6G و7 Wi-Fi كجزء من نظام بيئي هجين موحد (Murad et al., n.d.) يتطلب كل مما يلي:

- **التعايش الاستراتيجي:** حيث تعمل شبكات 5G/6G على توفير التغطية الواسعة والوصول المتنقل، مع ضمان الموثوقية الشاملة لخدمات النطاق الحرج (مثل الجراحة عن بعد)، وفي المقابل، توفر7 Wi-Fi الحل الأمثل للنطاق الترددي العالي داخل المباني المزدحمة والبيئات الداخلية، مما يحل مشاكل الازدحام المحلي (Murad et al., n.d.).

- **تطبيقات التكامل العملي:** تستكشف المؤسسات بشكل متزايد استخدام شبكات 5G الخاصة (Private 5G) لتغطية الأماكن الصناعية الكبيرة لضمان الأمان، وإكمالها بـ7 Wi-Fi لتوفير وصول عالي الإنتاجية للموظفين وأجهزة الحوسبة داخل المكاتب والمرافق (Murad et al., n.d.)، وهذا التكامل يضمن أقصى كفاءة للموارد اللاسلكية المتاحة (Murad et al., n.d.).

2.5. التحديات المعرفية والبحثية

على الرغم من الآفاق الهائلة التي تحملها الأجيال اللاسلكية الجديدة، لا تزال هناك تحديات بحثية وتشغيلية كبيرة (Rai et al., 2022):

- **التحديات الطيفية في الجيل السادس:** يتطلب الانتقال إلى نطاق التيراهيرتز (THz) في 6G معالجة تحديات هندسية تتعلق بانتشار الموجات اللاسلكية، ففي هذه الترددات العالية، يكون الانتشار محدوداً ويزداد فقدان المسار بشكل كبير، مما يتطلب تقنيات جديدة لتغطية المناطق الشاسعة وضمان الاتصال الشامل (Rai et al., 2022).

- **تحديات الذكاء الاصطناعي والثقة:** إن دمج الذكاء الاصطناعي بشكل جذري في شبكات 6G يثير قضايا معقدة تتعلق بالشفافية والتحيز والعدالة، ويجب هنا على الباحثين تطوير أنظمة ذكاء اصطناعي "قابلة للتفسير" (Interpretable AI) لتمكين المستخدمين من فهم عملية اتخاذ القرار المعقدة في الشبكة، مما يضمن

بناء الثقة في هذه الآليات الجديدة المعقدة، وهذا يمثل تحدياً أبعد من الهندسة اللاسلكية، حيث يتقاطع مع علوم الحوسبة والأخلاق (Shi et al., 2024).

خلاصة المحاضرة

- يمثل المشهد اللاسلكي المتقدم (5G، 6G، Wi-Fi 7، IoT) تحولاً استراتيجياً بعيد المدى، حيث لم يعد الهدف مجرد نقل البيانات بسرعة، بل توفير منصة ذكاء شاملة وقابلة للتخصيص لدعم أي تطبيق

-أثبتت شبكة 5G أنها الأساس الأصيل لإنترنت الأشياء، مدعمة بفئات خدماتها الثلاث، وفي الوقت ذاته توفر Wi-Fi 7 حلاً فورياً للتعامل مع التحديات في البيئة الإنتاجية الداخلية، بينما يظل 6G مجالاً استكشافياً يهدف إلى دمج الذكاء الاصطناعي بشكل كلي مع الاتصال.

قائمة المراجع

1- Fagbohun, O. E. (n.d.). Comparative studies on 3-G, 4-G and 5-G wireless communication systems. Semantic Scholar. https://www.semanticscholar.org/paper/Comparative-studies-on-3-G-%2C-4-G-and-5-G-wireless-Fagbohun/92cf1e3eb16a2f18db2766897164e084c995e36e

2- IEEE 802.11be Task Group. (2024). Telecommunications and Information Exchange Between Systems—LAN/MAN—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Amendment: Extremely High Throughput (EHT). IEEE. https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/

3- Murad, S. S., Badeel, R., & Abdal, B. (n.d.). Research and Development Trends in Wi-Fi 7: Comparative Analysis with 5G/6G and Other Emerging Wireless Standards. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/395664725_Research_and_Development_Trends_in_Wi-Fi_7_Comparative_Analysis_with_5G6G_and_Other_Emerging_Wireless_Standards

4- PCMag. (n.d.). Wi-Fi 7 Explained: Finally, Speed That's Worth a Router Upgrade. PCMag. https://www.pcmag.com/explainers/wi-fi-7-explained-finally-speed-thats-worth-a-router-upgrade

5- Pardeshi, T., & Vinchurkar, A. (2024). 5G TECHNOLOGY AND ITS FUTURE PROSPECTS: A REVIEW. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/385167309_5G_TECHNOLOGY_AND_ITS_FUTURE_PROSPECTS_A_REVIEW

6- Rahmani, H., Khaleghi, M., & Vafaee, M. (2024). Layered Architecture of IoT. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/380781966_Layered_Architecture_of_IoT

7- Rai, S., Das, A., & Gupta, A. (2022). Comparison of 5G and 6G Wireless Systems and Proposing of 7G: A New Era. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT),

11(6). https://www.ijert.org/research/comparison-of-5g-and-6g-wireless-systems-and-proposing-of-7g-a-new-era-IJERTV11IS060137.pdf

8- Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2024, May 20). Pervasive Network Intelligence for 6G Networks. 3rd IEEE INFOCOM Workshop, PerAI-6G. https://infocom2024.ieee-infocom.org/workshop-pervasive-network-intelligence-6g-networks-perai-6g-program

9- Säily, J., Ylimaula, M., Ahola, J., & Juntti, M. (2025). Global 6G vision: From IMT-2030 framework to Intelligent Network of Everything. OuluRepo. https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/53587/nbnfioulu-202501081074.pdf?sequence=1&isAllowed=y

10- Shi, X., Ning, S., He, W., & Liu, S. (2024). 6G: Integrated AI, Sensing, and Communication for the Next Era of Wireless. arXiv. https://arxiv.org/html/2412.14538v1

11- Siddiqui, S. A., & Ahmad, S. (2024). The Evolution of Wi-Fi Technology and Standards. IEEE. https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/

12- Sohrabi, F., & Aliberti, V. (2024). 6G: The Evolution of Massive Communication. arXiv. https://arxiv.org/html/2401.01127v2

13- Wi-Fi Alliance. (n.d.). eMBB, mMTC, and uRLLC: The three 5G service categories explained simply. https://www.verizon.com/about/news/5g-understanding-embb-urllc-mmtc

المحاضرة الرابعة: تكنولوجيا الاتصال السلكي

مقدمة:

يُعدّ العصر الرقمي الذي نعيشه اليوم مدفوعاً بشكل كبير بالاتصالات اللاسلكية، مثل الهواتف الذكية وتقنيات الجيل الخامس (5G)، ومع ذلك تشير التحليلات الأكاديمية إلى أن العمود الفقري لهذه الثورة لا يزال يعتمد بشكل كامل على تكنولوجيا الاتصالات السلكية (الموجهة)، ويعد فهم طبيعة هذه التكنولوجيا ودورها الحاسم هو المفتاح لفهم كيفية عمل الإنترنت العالمي فعلياً.

حيث أن هذه الشبكات الصامتة، المدفونة في عمق المحيطات والأرض، هي التي تحدد السرعة، والموثوقية، والأمن للتبادلات التجارية والشخصية التي يعتمد عليها الاقتصاد العالمي (My-Communication, n.d).

لذلك سنستعرض في هذه المقالة التطور الملحمي للاتصالات السلكية، من الأسلاك النحاسية المبكرة إلى ثورة الألياف الضوئية، مع التركيز على المبادئ الفيزيائية التي منحتها تفوقاً حاسماً، وأهميتها الجيواستراتيجية كركيزة للأمن القومي والشمول الرقمي العالمي (خواني، n.d).

القسم الأول: الأساس المفاهيمي:

1.1 تعريف الاتصالات السلكية في السياق الأكاديمي الحديث

تُعرَّف تكنولوجيا الاتصالات السلكية في الأدبيات الأكاديمية والتقنية بأنها منظومة لنقل البيانات والمعلومات عبر وسائط فيزيائية صلبة وموجهة، وتشمل هذه الوسائط الكابلات النحاسية التقليدية أو الألياف الضوئية المتقدمة.

ويكمن التميز الأساسي لهذه التكنولوجيا عن الاتصالات اللاسلكية في اعتمادها على مسار مادي ومحدد لتوجيه الإشارة، في حين تستخدم الاتصالات اللاسلكية الموجات الكهرومغناطيسية للإرسال عبر الهواء (My-Communication, n.d)، حيث يوفر هذا الاعتماد على الوسيط المادي خصائص جوهرية جعلت الشبكات السلكية ركيزة لا غنى عنها للشبكة العالمية.

وعلى الرغم من التقدم الهائل في التقنيات اللاسلكية، تظل الشبكات السلكية حاسمة للعديد من التطبيقات

الحديثة التي تتطلب كفاءة قصوى، وتبرز أهميتها في توفير معدلات نقل بيانات أسرع بكثير مقارنة بالبدائل اللاسلكية، إلى جانب تحقيق زمن وصول (Latency) أقل. زمن الوصول هو الوقت المستغرق لوصول البيانات من نقطة إلى أخرى، وانخفاضه أمر حيوي للمهام التي تتطلب استجابة فورية، مثل الألعاب متعددة اللاعبين، والوصول إلى التطبيقات المستندة إلى السحابة، والبث المباشر عالي الدقة (Global YO, n.d)، إذ أن هذه المزايا تؤكد أن الأداء الأكثر استجابة وموثوقية يجعل الاتصالات السلكية الخيار المفضل للبيئات الرقمية الحرجة.

2.1. العلاقة التكافلية: الشبكة السلكية كمُمكِّن للثورة اللاسلكية

يُظهر تحليل نمو استخدام الإنترنت عالمياً أن الازدياد الهائل في استخدام الأجهزة المتنقلة (اللاسلكية) لا يقلل من أهمية الاتصالات السلكية، بل يزيد منها بطريقة طردية، حيث تشير إحصائيات الاتحاد الدولي للاتصالات إلى أن 68% من سكان العالم يستخدمون الإنترنت في عام 2024، وهذا يمثل حوالي 5.5 مليار شخص، وعليه فإن هذا النمو السكاني والرقمي الهائل يفرض طلباً غير مسبوق على البنية التحتية الأساسية الكامنة.

وتعتمد جميع شبكات الاتصالات اللاسلكية الحديثة، مثل الجيل الخامس (5G) بشكل جوهري على شبكات سلكية ذات سعة عالية جداً، تُعرف باسم الشبكات الخلفية (Backhaul)، وهي محطة البث اللاسلكي التي توفر إشارة الهاتف المحمول تحتاج إلى ربطها بشبكة الإنترنت العالمية؛ وهذا الربط يتم بشكل حصري تقريباً عبر شبكات الألياف الضوئية السلكية، وبالتالي، فإن كفاءة وقدرة الألياف الضوئية هي التي تحدد السعة القصوى التي يمكن لشبكة لاسلكية توفيرها.

إن هذا الارتباط يوضح أن مفهوم "الثورة اللاسلكية" (5G، الأجهزة المحمولة) هو في جوهره انعكاس لـ "ثورة السعة السلكية" الكامنة، أو بمعنى آخر إذا كانت شبكة الألياف الضوئية الخلفية ضعيفة أو مشبعة، فإن سرعة الـ 5G للمستخدم تنخفض بشكل مباشر. هذه الحقيقة تعني أن المنافسة العالمية في تقنيات الاتصال من الجيل القادم هي في الواقع منافسة في جودة ومتانة البنية التحتية السلكية الموجهة.

القسم الثاني: تطور الاتصالات اللاسلكية من التلغراف النحاسي إلى الثورة الضوئية

لقد مر تطور الاتصالات السلكية بمراحل حاسمة، كان كل منها مدفوعاً بضرورة تلبية متطلبات سعة بيانات متزايدة، مما أدى في النهاية إلى تحول جوهري تمليه الفيزياء.

1.2. التأسيس المبكر: عصر النحاس والربط الدولي

بدأ تطور الاتصالات السلكية مع ظهور التلغراف في منتصف القرن التاسع عشر، حيث استخدمت الأسلاك النحاسية المعزولة لتمديد خطوط الاتصال عبر المسافات الطويلة، وهو ما مكّن من الربط الدولي المباشر لأول مرة في التاريخ، وقد شهد منتصف القرن العشرين تحولاً كبيراً مع مد أول كابل هاتفي عبر الأطلسي (TAT-1) في عام 1956، مما سمح بتحقيق الاتصال الصوتي بين القارات.

ومع ذلك، أظهرت هذه المراحل بوضوح أن تلبية متطلبات النمو الرقمي المستقبلي تتطلب تكنولوجيا جديدة كلياً تتجاوز قيود النحاس، فقد كانت سعة الشبكات النحاسية محدودة للغاية بسبب الخصائص الفيزيائية للأسلاك النحاسية، التي كانت تعاني من توهين عالٍ وفقدان كبير للإشارة عبر المسافات الطويلة، إلا أن القيود المفروضة على الفيزياء الكهربائية تجعل بناء شبكة عالمية ذات سعة كبيرة وموثوقية أمراً مستحيلاً اقتصادياً وهندسياً.

2.2 الثورة النوعية: إدخال الألياف الضوئية (TAT-8)

حدثت الثورة النوعية الحاسمة مع إدخال تكنولوجيا الألياف الضوئية. في عام 1988، حيث تم تشغيل أول كابل ألياف ضوئية عبر الأطلسي (TAT-8)، مما مثل "قفزة" حقيقية في سعة الاتصالات وسرعتها، فتحولت تكنولوجيا النقل بشكل جذري من الاعتماد على الإشارات الكهربائية إلى الاعتماد على الإشارات الضوئية.

أما اليوم فتُعد كابلات الألياف الضوئية البحرية أعاجيب هندسية، حيث يتم تصميمها كأنظمة مركبة ومتعددة الطبقات لتحمل البيئات القاسية، وتتضمن هذه البنية الدقيقة مواد عازلة للماء وشريطاً مانعاً للتسرب، مما يضمن موثوقية استثنائية ويمنع تسرب المياه طولياً في حال تعرض الكابل للتلف تحت ضغط أعماق البحار.

إن الانتقال إلى الألياف لم يكن مجرد رغبة في التحسين، بل كان هروباً حتمياً من حدود التوهين والتداخل الكهربائي التي فرضها النحاس، مما سمح بسعات هائلة لم يكن من الممكن تصورها في السابق.

القسم الثالث: المبادئ العلمية لعمل الألياف الضوئية

تقف تكنولوجيا الألياف الضوئية في قلب الاتصالات السلكية الحديثة، وتفوقها يعود إلى مبادئ فيزيائية

بسيطة ولكنها قوية أتاحت نقل البيانات بكفاءة غير مسبوقة.

1.3. الأساس الفيزيائي لعمل الألياف الضوئية

تعتمد الألياف الضوئية على نقل البيانات عبر إشارات ضوئية (تولّدها أشعة الليزر أو الصمامات الثنائية الباعثة للضوء LED) من خلال خيوط رفيعة لا يتعدى سمكها سمك شعرة الإنسان، مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك النقي. يضمن انتقال هذه الإشارات لمسافات طويلة دون فقدان كبير مبدأ فيزيائياً يُعرف باسم "الانعكاس الداخلي الكلي".

تتكون الألياف من جزأين رئيسيين: النواة (Core) وهي القلب الذي يحمل الإشارة، والكسوة (Cladding) وهي المادة التي تحيط بالنواة. يحدث الانعكاس الداخلي الكلي عندما يتلامس الضوء المحصور داخل النواة مع الحد الفاصل بين النواة والكسوة بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة للمادة.

نتيجة لذلك، بدلاً من أن ينكسر الضوء ويخرج من الألياف، ينعكس بالكامل مرة أخرى إلى الداخل، وبحيث يضمن هذا التأثير بقاء الضوء محصوراً داخل القلب، مما يسمح له بالسفر لمسافات شاسعة، حتى مئات الكيلومترات، دون الحاجة إلى تجديد الإشارة بشكل متكرر (FiberMall, n.d).

2.3. التفوق التقني والمز ايا الجوهرية

لقد أثبتت الألياف الضوئية تفوقاً تقنياً حاسماً على الأسلاك النحاسية التقليدية، وهو ما أحدث ثورة في البنية التحتية للاتصالات، ويرجع ذلك للأسباب التالية:

1- سعة النطاق الترددي الفائقة: تُعد القدرة على توفير نطاق ترددي أوسع بكثير مقارنة بالأسلاك النحاسية هي الميزة الأبرز، حيث تتيح هذه السعة المتزايدة نقل كميات أكبر من البيانات بسرعة فائقة جداً، تصل إلى ملايين البتات في الثانية الواحدة (الجزيرة نت، 2024).

وهذا التفوق في السعة ضروري لتلبية متطلبات الإنترنت عالية السرعة وتدفق البيانات العالمية المتزايد، خاصة مع ظهور خدمات الفيديو والمحتوى عالي الدقة.

2- المناعة ضد التداخل الكهرومغناطيسي والموثوقية: على عكس الأسلاك النحاسية التي تتأثر بالتداخل الكهرومغناطيسي (EMI) والضوضاء الكهربائية الخارجية، فإن الألياف الضوئية تستخدم إشارات ضوئية

تتمتع بحصانة كاملة ضد هذا التداخل (FiberMall, n.d).

ويضمن ذلك نقل بيانات "أنظف وأكثر موثوقية"، وهو أمر حاسم في البيئات الصاخبة كهربائيًا أو البيئات البحرية الطويلة حيث يصعب صيانة أجهزة التكرار.

3- تقليل التوهين وخفض التكلفة الإجمالية: تتمتع الألياف الضوئية بتوهين أقل بكثير (فقدان الإشارة) مقارنة بالنحاس، حيث يسمح هذا النطاق الأقل بفقدان الإشارة بنقل المعلومات عبر مسافات أكبر بكثير دون الحاجة إلى أجهزة تكرار (Repeaters) لتجديد الإشارة (FiberMall, n.d).

3.3 انعكاس المزايا التقنية على الاقتصاديات التشغيلية

أحدثت المزايا الفيزيائية للألياف الضوئية ثورة في اقتصاديات التشغيل للشبكات العالمية، إذ أن انخفاض التوهين والمناعة ضد التداخل الكهرومغناطيسي يعني أن المشغلين يمكنهم بناء شبكات موثوقة لمسافات أطول بكثير بأقل متطلبات للطاقة والصيانة.

ويشير هذا التحول إلى نموذج اقتصادي جديد قائم على الاستدامة التشغيلية، ففي الشبكات النحاسية كان كل جهاز تكرار يمثل نقطة فشل محتملة ويتطلب طاقة وصيانة دورية، بينما يقلل استخدام الألياف الضوئية عدد أجهزة التكرار المطلوبة بشكل كبير، مما يؤدي إلى خفض جذري في التكلفة الإجمالية للملكية (TCO)، خاصة في مشاريع الكابلات البحرية العملاقة.

وقد دفع هذا التفوق العديد من الدول المتقدمة، مثل الولايات المتحدة واليابان، للإعلان عن التزامها بتطوير اتصالات الألياف الضوئية، والتوقف عن بناء خطوط كبلية نحاسية جديدة (Xiamen Kabasi Electric Co., n.d).

ويحتوي الجدول الموالي على مقارنة مفاهيمية بين: الأثر الجوهري للانتقال التكنولوجي على اقتصاديات التشغيل للشبكات العالمية:

الجدول رقم (9): مقارنة مفاهيمية بين تكنولوجيا الألياف الضوئية والأسلاك النحاسية

المعيار	الألياف الضوئية (الضوء)	الأسلاك النحاسية (الكهرباء)	الأهمية المترتبة للشبكات العالمية
آلية النقل	إشارات ضوئية (الانعكاس الداخلي الكلي)	إشارات كهربائية (تدفق الإلكترونات)	توفير سعات هائلة تتجاوز حدود الفيزياء الكهربائية.
عرض النطاق الترددي	واسع جداً (قدرة نقل هائلة)	محدود نسبياً	حاسم لدعم خدمات الجيل الخامس (5G) وتدفق الفيديو عالي الدقة.
الموثوقية وتأثير التداخل	حصانة كاملة ضد التداخل الكهرومغناطيسي	عرضة للتأثر بالضوضاء الكهربائية	ضمان موثوقية عالية في البيئات البحرية والمدنية الصاخبة كهربائياً.
التوهين ومسافة النقل	منخفض جداً (نقل لمسافات طويلة دون تجديد)	عالٍ (يتطلب أجهزة تكرار كثيرة)	خفض كبير في تكاليف البنية التحتية والصيانة على المدى الطويل.

القسم الرابع: الكابلات البحرية

تُعد شبكة الكابلات البحرية المغمورة تحت المحيطات أهم بنية تحتية جيوسياسية في العالم، حيث تحمل الغالبية العظمى من حركة البيانات التي تشغل الاقتصاد الرقمي.

1.4. الأهمية المحورية والدور الجيواستراتيجي للكابلات

تُشكل الكابلات البحرية العمود الفقري الحقيقي للإنترنت العالمي، حيث تؤكد التقديرات أن نسبة تتراوح بين 97% و 99% من حركة البيانات الدولية، بما في ذلك الاتصالات التجارية والمالية والشخصية، تُنقل عبر هذه الكابلات المغمورة وليست عبر الأقمار الصناعية (OWCable, n.d)، ويجعلها هذا الدور المحوري عنصراً حيوياً في ربط القارات والدول، وضرورياً لاستمرار الاقتصاد العالمي المعاصر.

بشكل عام تكتسب هذه المسارات أهمية جيوسياسية فائقة، كما يظهر في أنظمة الشبكات الإقليمية الكبرى مثل نظام SEA-ME-WE (جنوب شرق آسيا - الشرق الأوسط - أوروبا) (Wikipedia, n.d)، كما أن موقع نقاط

الإنزال (Landing Points) للكابلات البحرية يعتبر موقعاً استراتيجياً وحيوياً، فعلى سبيل المثال تُعتبر دول معينة مثل مصر حلقة وصل محورية لربط الشرق بالغرب رقمياً، ولذلك فإن أمن هذه النقاط ومرونة الشبكة المارة بها له تداعيات مباشرة على التجارة العالمية والسيادة الرقمية للدول.

2.4. الأمن القومي وتحدي "حروب قاع البحر"

يرتبط أمن كابلات الألياف الضوئية البحرية ارتباطاً وثيقاً بالأمن الجيوستراتيجي، واستهدفها أو تعطيلها يمكن أن يشل التجارة العالمية والاقتصاد، مما يجعل حمايتها أولوية قصوى (مركز سمت للدراسات، n.d)، إذ أن الأهمية الجيواستراتيجية للكابلات تحولها من مجرد "شرايين صامتة" إلى أصول حربية واقتصادية في ميزان القوى العالمي.

ومن التحديات الهيكلية في هذا المجال أن غالبية هذه الكابلات مملوكة لشركات خاصة وليست حكومية، وهذا ما يفرض تحديات تنظيمية وأمنية فريدة تتطلب تعاوناً دولياً بين القطاعين العام والخاص لحماية البنية التحتية التي تعتمد عليها اقتصادات العالم.

وقد تزايدت المخاوف الأمنية من استهداف الكابلات ضمن استراتيجية "حروب قاع البحر"، التي يمكن أن تكون بديلاً منخفض التكلفة للنزاعات الكبرى لتحقيق التفوق الجيوستراتيجي، ولا يمكن حل هذه التحديات إلا من خلال تطوير استراتيجية "مرونة رقمية" تضمن تعدد المسارات وتأمين المسارات المتنوعة، مثل نظام SEA-ME-WE، لضمان استمرارية الاتصالات العالمية.

3.4. الكابلات كنظام استشعار بيئي

بالإضافة إلى وظيفتها الأساسية لنقل البيانات، قد تتجاوز كابلات الألياف الضوئية الحديثة وظيفتها لتصبح أجهزة استشعار بيئية وجيولوجية متقدمة، إذ يتمتع النقل الضوئي النشط داخل هذه الكابلات بحساسية عالية تجاه التغيرات الفيزيائية في محيطها.

وهذا يعني أنه يمكن استخدام تقنية كابلات الألياف الضوئية النشطة في اكتشاف الأحداث الزلزالية، حيث يتم ذلك من خلال تحليل التغيرات الدقيقة في استقطاب الضوء داخل الألياف الناتجة عن الحركة الأرضية أو الضغط، مما يفتح آفاقاً جديدة لاستخدام البنية التحتية الرقمية الحالية كأداة للمراقبة البيئية والإنذار

المبكر للأمن المدني.

القسم الخامس: قياس تطورسرعة الإنترنت وتحديات الوصول الرقمي

إن كفاءة وموثوقية الشبكة السلكية الأساسية تؤثر بشكل مباشر على جودة تجربة المستخدم النهائية، حيث تحدد الكفاءة الفائقة للكابلات البحرية والأرضية المصنوعة من الألياف الضوئية السعة القصوى المتاحة لأي دولة متصلة بالشبكة العالمية.

1.5. العلاقة السببية بين البنية التحتية السلكية وأداء الإنترنت

تُعد القدرة على توفير زمن وصول منخفض وموثوقية عالية سمة مميزة للشبكات السلكية، وهي أمر بالغ الأهمية لتطبيقات العصر الحديث مثل مؤتمرات الفيديو عالية الدقة والعمليات المالية الحرجة، وبما أن جميع الشبكات اللاسلكية تعتمد على الألياف الضوئية كشبكة خلفية، فإن قدرة الأمة على تحقيق سرعات إنترنت عالية تتحدد حصراً بجودة شبكتها السلكية (Global YO, n.d).

2.5. التحليل الكمي لسرعة الإنترنت والطلب على البيانات

يعكس التطور في سرعة الإنترنت العالمية الاستثمار المباشر في تكنولوجيا الاتصال السلكي المتقدمة، حيث يوضح التحليل الكمي أن هناك قفزة هائلة في متوسط سرعات الإنترنت الثابت في جميع أنحاء العالم.

فعلى سبيل المثال تم تحقيق متوسطات سرعة تنزيل تتجاوز 691.96 ميغابت في الثانية في بعض العينات العالمية حيث يمثل دليلاً إحصائياً مباشراً وواضحاً على نجاح ثورة الألياف الضوئية وقدرتها على دعم متطلبات النطاق الترددي الهائلة (سبيد تست، n.d).

ولم يكن بالإمكان تصور هذه الأرقام في عصر النحاس، وتُعزى هذه السرعات المرتفعة مباشرة إلى قدرة الألياف الضوئية على دعم تقنيات التعدد الجديدة التي تزيد من كفاءة نقل البيانات بشكل كبير، كما يظهر متوسط حركة النطاق العريض الثابت العالمي في عام 2024 (2,703.1 جيجابايت لكل اشتراك شهري) النمو الهائل في الاستهلاك، مما يؤكد الضغط المستمر والمتزايد على سعة الألياف (الاتحاد الدولي للاتصالات، 2024).

الجدول رقم 10: مؤشرات أداء مختارة للوصول وسرعة الإنترنت العالمية

المتغير الإحصائي	القيمة الكمية	سياق الأداء والتوثيق
نسبة سكان العالم المتصلين بالإنترنت (2024)	68% (5.5 مليار شخص)	نمو كبير يزيد الضغط على سعة الكابلات البحرية والأرضية.
عدد الأفراد غير المتصلين بالإنترنت (2024)	2.6 مليار شخص	تحدٍ أساسي يعكس الفجوة في البنية التحتية السلكية.
الحد الأعلى لمتوسط سرعة التنزيل الثابت عالمياً (عينة معيارية)	691.96 ميغابت/ثانية (Mbps)	دليل إحصائي على قدرات النطاق العريض المدعوم بالألياف الضوئية.
متوسط حركة النطاق العريض الثابت (2024)	2,703.1 جيجابايت/اشتراك شهري	يعكس النمو الهائل في الاستهلاك الشهري للبيانات عبر الشبكات الثابتة.

3.5. تباين الوصول

على الرغم من التقدم الهائل في السرعات، لا يزال هناك تباين كبير في مستويات الوصول، إذ تشير بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات إلى أن 2.6 مليار شخص لا يزالون غير متصلين بالإنترنت في عام 2024 (الاتحاد الدولي للاتصالات، 2024)، ويمثل هذا التحدي دليلاً على أن الفجوة الرقمية اليوم هي في الأساس فجوة في البنية التحتية السلكية وليست فجوة في العمود الفقري الشبكي.

فالمناطق التي تسجل سرعات إنترنت منخفضة وتواجه تحديات في الوصول إلى النطاق الترددي العالي هي في الغالب تلك التي لم تصل إليها استثمارات واسعة النطاق في شبكات الألياف الضوئية إلى المنازل (FTTx)، أو التي لا تزال تعتمد على البنية التحتية النحاسية القديمة لشبكات الوصول.

وبالتالي فإن الفجوة الرقمية لم تعد فجوة "وصول" عامة، بل هي فجوة "جودة بنية تحتية" تحددها مدى وصول الألياف الضوئية إلى المستخدم النهائي. ولضمان استمرارية تطور سرعة الإنترنت العالمية وتحقيق الشمول الرقمي، يجب أن تتركز الجهود على توسيع نطاق وصول الألياف الضوئية إلى " المناطق الريفية والنائية.

خلاصة المحاضرة

تمثل تكنولوجيا الاتصالات السلكية، التي تتخذ الألياف الضوئية والكابلات البحرية ركيزة لها، أهم بنية تحتية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية والثقافية للدول (خواني، n.d)، فقد أدت هذه التقنية إلى تحول هيكلي في كيفية إدارة هذا القطاع؛ فبعد أن كان يدار في كثير من الأحيان من قبل الدولة، أصبحت هناك حاجة ملحة لوجود جهة تحكيم مستقلة وموثوقة مهمتها رفع القيود وتنظيم هذا القطاع الحيوي بمرونة وكفاءة عالية (خواني، n.d).

وبالتالي إن مستقبل الحوكمة الرقمية يرتكز على معادلة ثلاثية: الأمن الجيواستراتيجي (تأمين الكابلات)، والشمول الاقتصادي (FTTx)، والمرونة التنظيمية (الحوكمة المستقلة)، حيث لا يمكن حل تحديات السرعة والوصول والأمن بمعزل عن بعضها البعض.

ولضمان استمرار تطور سرعة الإنترنت العالمية وتحقيق الشمول، يجب تحويل التركيز الاستثماري من مجرد تعزيز العمود الفقري الدولي (البحري) إلى توسيع شبكات الألياف الضوئية كما ينبغي توجيه الدعم المالي والتقني لتوصيل الألياف الضوئية مباشرة إلى المنازل والشركات (FTTx) في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة والمناطق النائية.

إن هذا الاستثمار ضروري لتمكين وصول 2.6 مليار شخص غير متصل بالإنترنت إلى النطاق الترددي الفائق والخدمات الرقمية، مما يضمن تقليص الفجوة الرقمية التي تمثل نقطة ضعف اقتصادية واجتماعية (الاتحاد الدولي للاتصالات، 2024).

مراجع المحاضرة

1- **الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).** (2024). *إحصائيات الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات العالمية*. تم الاسترداد من(https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/pages/stat/default.aspx)

2- **الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).** (2024). *مؤشرات أداء مختارة لتطور تكنولوجيا المعلومات والاتصالات*. تم الاسترداد من https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2024-3-pdf-e.pdf

3- **الجزيرة نت.** (2024 ، يناير). *كابلات الألياف الضوئية البحرية.. القوة الخفية وراء الإنترنت*. تم الاسترداد من(https://www.aljazeera.net/tech/2024/1/3/%D9%83%D8%A7%D8%A8%D9%84%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%84%D9%8A%D8%A7%D9%81-%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A6%D9%8A%D8%A9-

%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%B1%D9%8A%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%82%D9%88%D8%A9)

4- **الجمال، أ.** (2021). المبادئ الأساسية للألياف البصرية مع الاعتمادية. *المجلة الأكاديمية للدراسات الهندسية*. تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Al-Jamal/publication/357062515_almbady_alasasyt_llalyaf_albsryt_m_alatmadyt/links/61ba30a5fd2cbd7200a183b6/almbady-alasasyt-llalyaf-albsryt-m-alatmadyt.pdf

5- **خو اني، ل.** (n.d.). *شبكة الاتصالات السلكية واللاسلكية وتحديات المستقبل*. تم الاسترداد من(https://revues.imist.ma/index.php/REMSES/article/download/13019/10324/48681)

6- **سبيد تست (Speedtest).** (n.d.). *المؤشر العالمي لسرعة الإنترنت*. تم الاسترداد منhttps://www.speedtest.net/global-index

7- **مركز سمت للدراسات.** (n.d.). *الأمن الاستراتيجي لقاع البحار*. تم الاسترداد من(https://smtcenter.net/archives/slider/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%85%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D8%AC%D9%8A-%D9%84%D9%82%D8%A7%D8%B9-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%A7%D8%B1)

8- **ويكيبيديا.** (n.d.). *كبل اتصالات بحري*. تم الاسترداد من(https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D9%84_%D8%A7%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AA_%D8%A8%D8%AD%D8%B1%D9%8A)

9- **Xiamen Kabasi Electric Co.** (n.d.). *مبادئ اتصالات الألياف الضوئية*. تم الاسترداد منhttps://ar.kbs-connector.com/info/principles-of-optical-fiber-communication-65329995.html

10- **FiberMall.** (n.d.). *كيف تعمل كابلات الألياف الضوئية على نقل البيانات بكفاءة؟*. تم الاسترداد من https://www.fibermall.com/ar/blog/how-optical-cable-works.htm

11- **Global YO.** (n.d.). *تطور الشبكات السلكية : المزايا في العصر الرقمي*. تم الاسترداد منhttps://www.globalyo.com/ar/blog/the-evolution-and-advantages-of-wired-networks-in-the-digital-age/

12- **My-Communication.** (n.d.). *اتصالات لاسلكية / أنواعها وأهم مصادر تعلمها*. تم الاسترداد منhttps://my-communication.com/wireless-5/

13- **OWCable.** (n.d.). *الكابلات البحرية: الشريان الصامت الذي يحمل الحضارة الرقمية العالمية*. تم الاسترداد من https://ar.owcable.com/technology/submarine-cables-the-silent-artery-carrying-global-digital-civilization/

14- **Wikipedia.** (n.d.). *SEA-ME-WE 4*. تم الاسترداد من(https://en.wikipedia.org/wiki/SEA-ME-WE_4)

المحاضرة الخامسة: تكنولوجيا الحاسبات في عصر البيانات الضخمة

مقدمة:

شهدت العقود الأخيرة تحولاً جذرياً في نموذج الحوسبة، إذ انتقلت المؤسسات من الاعتماد الكلي على الأجهزة المحلية (On-Premises) إلى بيئات تستغل الشبكات الواسعة والقوة الحسابية الموزعة (Azure, 2024)، حيث يمثل هذا التطور استجابة حتمية للزيادة الهائلة في حجم البيانات المولدة يومياً، والتي تتطلب نماذج حوسبة قادرة على معالجة وتحليل هذه البيانات بكفاءة وسرعة فائقة (Lee, 2024).

ويهدف ظهور النماذج المتكاملة – التي تشمل الحوسبة السحابية، والحوسبة الطرفية (Edge Computing)، والذكاء الاصطناعي المدمج (Embedded AI) –إلى تلبية ثلاثة متطلبات رئيسية:

-الحاجة إلى معالجة كميات بيانات ضخمة.
-الضرورة المطلقة لتقليل زمن الاستجابة (Latency) إلى أدنى حد.
-وتعزيز متطلبات الخصوصية والأمن التشغيلي (Macrometa, 2024).

وتُعد متطلبات السرعة الفائقة هي القوة الدافعة التي فرضت تتابع وتكامل هذه النماذج؛ حيث لم يعد نموذج الحوسبة المركزي قادراً بمفرده على تلبية احتياجات التطبيقات الحديثة التي تتطلب اتخاذ قرارات آنية في جزء من الثانية (Coursera, 2024)، وهذا الاعتماد المتبادل بين النماذج يُمثل سلسلة حوسبة متصلة (The Compute Continuum)، والتي يتم فيها تنسيق الموارد الحسابية بذكاء لضمان استمرارية وكفاءة الخدمات الرقمية (Yao et al., 2023).

القسم الأول: الإطار المفاهيمي

2.1. التعريفات الأساسية للحوسبة السحابية ونماذج التشغيل

1.2.1. التعريفات

تُعرف الحوسبة السحابية أكاديمياً بأنها عملية تقديم مجموعة من الخدمات الحاسوبية – بما في ذلك الخوادم، والتخزين، وقواعد البيانات، والشبكات، والبرمجيات، وأدوات التحليل والذكاء – عبر الإنترنت، والتي غالباً ما يشار إليها بـ"السحابة".

ويتمثل الهدف الأساسي من هذا النموذج في تقديم الابتكار بشكل أسرع، وتوفير موارد مرنة وقابلة للتوسع، وتحقيق اقتصاديات الحجم، حيث يدفع المستخدمون عادةً فقط مقابل الخدمات التي يستهلكونها (Azure, 2024).

ويعتمد جوهر البنية السحابية على مفهوم تجريد الموارد (Resource Abstraction)، والذي يتم تحقيقه بشكل أساسي من خلال تقنية الافتراضية (Virtualization)، حيث تُنشئ الافتراضية طبقة تجريد تفصل بين الموارد الحاسوبية والمادية الفعلية (كالتخزين والمعالجات)، وتخلق تمثيلاً افتراضياً لهذه الموارد (Google Cloud, 2024).

وهذا يتيح لتطبيقات وعملاء متعددين استخدام نفس البنية التحتية الفيزيائية بكفاءة عالية، مما يضمن الاستغلال الأمثل للموارد (Google Cloud, 2024)، حيث يمكن تنفيذ البنية السحابية في إطار السحابة العامة (Public Cloud)، أو في إطار السحابة الخاصة (Private Cloud)، والتي تكون مخصصة ومدارة بالكامل من قبل مؤسسة واحدة، وتوفر درجة أعلى من التحكم في البيانات والأمن (Google Cloud, 2024).

2.2.1. تحول دور السحابة إلى محرك تدريب للذكاء الاصطناعي

تُعد السحابة المكان الأمثل لعمليات تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي المعقدة (AI Training)، إذ تتطلب هذه العمليات قوة حسابية هائلة وموارد تخزين غير محدودة تقريباً (Scalability) لمعالجة مجموعات البيانات الضخمة وتعديل أوزان النماذج العصبية (Kanerika Editorial Team, 2025)، وبالتالي تعمل السحابة كمركز قوة للمعالجة المركزية التي لا يمكن استيعابها على النظم المحلية أو الطرفية الموزعة (Kanerika Editorial Team, 2025).

ويشير هذا التطور إلى تحول عميق في دور السحابة. فبينما كان التركيز التقليدي على التوفير والتخزين وتقديم البنية التحتية الخام (IaaS/PaaS)، أصبح الدور الحيوي حالياً هو توفير البيئة الحاسوبية المتخصصة (غالباً مزارع وحدات معالجة الرسوميات) التي تخدم نماذج الذكاء الاصطناعي العملاقة.

هذا التحول يعني أن الاستثمار السحابي لم يعد يركز فقط على البنية التحتية القياسية، بل أصبح استثماراً استراتيجياً في بيئات المعالجة المتخصصة التي تُمكّن القدرات المتقدمة للذكاء الاصطناعي، مما يؤدي إلى تغيير نماذج الإيرادات التقليدية لمزودي الخدمات السحابية.

3.1. نماذج الخدمات السحابية (XaaS) وتوزيع المسؤولية

تقدم الحوسبة السحابية نماذج متعددة للخدمات، تختلف باختلاف مستوى التحكم والمسؤولية الملقاة على عاتق مزود الخدمة (Vendor) والعميل (Google Cloud, 2024). ويمكن تلخيص النماذج الثلاثة الأكثر شيوعاً كالتالي:

1- **البنية التحتية كخدمة (IaaS - Infrastructure as a Service):** يوفر هذا النموذج الموارد الحاسوبية الأساسية عند الطلب، مثل وحدات المعالجة والتخزين والشبكات والافتراضية، ويمنح IaaS العميل أعلى درجة من المرونة والتحكم، حيث يكون مسؤولاً عن إدارة نظام التشغيل، ووقت التشغيل، والتطبيقات، والبيانات (Google Cloud, 2024).

2- **المنصة كخدمة (PaaS - Platform as a Service):** يوفر هذا النموذج بيئة تطوير كاملة تشمل الأجهزة والبرمجيات اللازمة لبناء وتشغيل التطبيقات، وفي هذا السيناريو يدير المزود طبقات نظام التشغيل والبنية التحتية ووقت التشغيل، بينما يركز العميل فقط على تطوير وتطبيق برمجياته (Google Cloud, 2024).

3- **البرمجيات كخدمة (SaaS - Software as a Service):** يوفر هذا النموذج حلاً برمجياً متكاملاً وجاهزاً للاستخدام، يتم الوصول إليه عادةً من خلال متصفح الويب، ويدير المزود كامل مجموعة التطبيقات والبنية التحتية، مما يوفر للعميل أعلى درجة من التفويض (Google Cloud, 2024).

نموذج المسؤولية المشتركة (SRM)

يُعد نموذج المسؤولية المشتركة (Shared Responsibility Model – SRM) مفهوماً حاسماً في حوكمة السحابة (Tenable/CSA, 2023)، ويوضح هذا النموذج أن الأمن والامتثال هما مسؤولية مزدوجة، حيث يتحمل مزود السحابة (CSP) مسؤولية أمن "السحابة" (Security of the Cloud)، بما في ذلك البنية التحتية الأساسية مثل الأجهزة والشبكات والمنشآت (AWS, 2024).

في المقابل، يتحمل العميل مسؤولية أمن "في السحابة" (Security *in* the Cloud)، ويشمل ذلك تكوين نظام التشغيل الضيف، وتطبيق التحديثات الأمنية، وإدارة التطبيقات والبيانات الخاصة به (Tenable/CSA, 2023)، فكلما زادت درجة الخدمة (من IaaS إلى SaaS)، زادت مسؤولية المزود وقلت مسؤولية العميل فيما يتعلق بالطبقات التكنولوجية (Tenable/CSA, 2023)، وهذا التمييز ضروري لتجنب الثغرات الأمنية في البيئات المعقدة وضمان الامتثال التنظيمي.

جدول رقم (11): نموذج المسؤولية المشتركة في الخدمات السحابية: مقارنة بين نماذج XaaS

عنصر المعمارية	الخدمات المحلية (On-Premises)	البنية التحتية كخدمة (IaaS)	المنصة كخدمة (PaaS)	البرمجيات كخدمة (SaaS)
التطبيقات والبيانات	مسؤولية العميل	مسؤولية العميل	مسؤولية العميل	مسؤولية المزود (استخداماً)
وقت التشغيل ونظام التشغيل	مسؤولية العميل	مسؤولية العميل	مسؤولية المزود	مسؤولية المزود
الافتراضية والتخزين والشبكات	مسؤولية العميل	مسؤولية المزود	مسؤولية المزود	مسؤولية المزود

وعلى الرغم من أهمية نموذج SRM، فإن الإدارة المعقدة للبنية التحتية كرمز (IaC) في بيئات السحابة الخاصة أو الهجينة تُدخل نقاط ضعف جديدة تتعلق بالتكوين، فعندما يكون التكوين غير آمن، وهو ما يقع ضمن نطاق مسؤولية العميل في معظم النماذج، فإن نموذج المسؤولية المشتركة التقليدي لا يحمي بالضرورة من فشل النظام.

وتتطلب بيئات الحوسبة الحديثة إجراءات حوكمة جديدة تُطبّق فوق نموذج SRM لضمان أن الممارسات التشغيلية تتوافق مع متطلبات الأمن، مما يحتم على المؤسسات التركيز على الأتمتة الأمنية (Security Automation) ضمن IaC لضمان الامتثال التلقائي، بدلاً من الاعتماد الكلي على الحدود النظرية للمسؤولية التي يحددها المزود.

4.1. المنهجيات التمكينية: البنية التحتية كرمز (Infrastructure as Code - IaC)

تُعد ممارسة البنية التحتية كرمز (IaC) عنصراً أساسياً في إدارة البيئات السحابية الحديثة، حيث تعتمد هذه المنهجية على استخدام الأكواد الوصفية، غالباً في شكل ملفات تكوين، لتعريف ونشر وإدارة البنية التحتية الحاسوبية بدلاً من الاعتماد على العمليات اليدوية أو النصوص البرمجية العشوائية (Red Hat, 2024)، وتشمل هذه البنية التحتية الشبكات، والآلات الافتراضية، وموازنات التحميل، وطوبولوجيا الاتصال (Red Hat, 2024).

تكمن الأهمية الأكاديمية والعملية لـ IaC في أنها تضمن أن البيئة يتم توفيرها بشكل متطابق في كل عملية نشر، مما يعزز الموثوقية ويقلل بشكل كبير من الأخطاء البشرية، ومن خلال ترميز وتوثيق مواصفات التكوين، تساعد IaC في إدارة التكوين وتتبع التغييرات (Version Control)، مثلما يحدث مع التعليمات البرمجية التقليدية (Red

Hat, 2024)، وهذا يسرّع من عملية تسليم التطبيقات والبنية التحتية الداعمة لها بشكل موثوق وعلى نطاق واسع.

القسم الثاني: الحوسبة الطرفية واللامركزية: تقليل زمن الانتقال وضمان السيادة

1.2. تعريف الحوسبة الطرفية ومنطق ظهورها

ظهرت الحوسبة الطرفية (Edge Computing) كنموذج حوسبة موزع يهدف إلى معالجة التحديات التي يفرضها النقل المركزي للبيانات، وبشكل عام تُعرف الحوسبة الطرفية بأنها عملية معالجة البيانات وتحليلها في الموقع الذي يتم فيه إنشاء تلك البيانات، أي "عند طرف الشبكة"، بدلاً من إرسال جميع المعلومات غير المهيكلة إلى مراكز البيانات السحابية البعيدة (Azure, 2024).

إن الدافع الأساسي لاعتماد هذا النموذج هو الحاجة إلى تحسين أوقات الاستجابة بشكل جذري، حيث تتطلب التطبيقات الحساسة للوقت، مثل المركبات الذاتية والعمليات الصناعية، اتخاذ قرارات فورية. الاعتماد على السحابة المركزية ينطوي على زمن انتقال (Latency) مرتفع نسبياً بسبب المسافة الجغرافية وتعدد عقد الشبكة (Macrometa, 2024)، ومن خلال المعالجة المحلية يتم تقليل زمن الانتقال إلى أدنى حد ممكن، مما يتيح الاستجابة الآلية والآنية (Macrometa, 2024).

بالإضافة إلى ذلك، تساهم الحوسبة الطرفية في تقليل تكاليف النطاق الترددي بشكل كبير عبر عدم نقل البيانات الخام بالكامل، واقتصار الإرسال إلى السحابة على النتائج المجمعة أو الملخصة فقط (Coursera, 2024).

إن ظهور هذا النموذج الموزع يمثل نتيجة حتمية للتوزيع الجغرافي لمصادر البيانات، فلم يعد الطرف مجرد جهاز، بل هو موقع فعلي خارج البنية التحتية المركزية للمؤسسة، مثل أرضيات المصانع، أو متاجر التجزئة، أو المركبات المتحركة (Coursera, 2024).

2.2. مكونات بنية الطرف وأهميتها

تتكون البنية التحتية للطرف عادةً من عدة مكونات تعمل بشكل متكامل لتمكين المعالجة المحلية. وتشمل هذه المكونات:

1- **أجهزة الطرف (Edge Devices):** وهي الأجهزة التي تعمل كـ "بوابات" تتحكم في تدفق البيانات بين المستخدمين ومزودي الخدمة، وتشمل أجهزة إنترنت الأشياء (IoT)، والكاميرات الذكية، وموجهات الواي فاي المتقدمة (Coursera, 2024).

2- **أجهزة الحاسوب الطرفية والخوادم المحلية:** وهي مخصصة للتعامل مع المعالجة والتخزين في الموقع، ويتم من خلالها تجميع ومعالجة البيانات قبل إرسال البيانات الأساسية فقط إلى الأنظمة المركزية (Coursera, 2024).

3- **مراكز البيانات الطرفية الصغيرة (Micro Data Centers):** وهي نسخ مصغرة من مراكز البيانات، يتم وضعها جغرافياً بالقرب من المستخدمين أو نقاط التوليد الرئيسية للبيانات، مما يوفر قدرات تخزين ومعالجة معززة عند الطرف (Coursera, 2024).

2.3. العلاقة التكاملية بين السحابة والطرف:

على الرغم من الاختلافات المعمارية والوظيفية، فإن الحوسبة السحابية والحوسبة الطرفية هما تقنيتان متكاملتان وليستا متنافستين (Shah et al., 2024)، بحيث يعمل الطرف على معالجة البيانات الحساسة للوقت والكميات الكبيرة من البيانات الأولية محلياً، بينما تظل السحابة هي المسؤولة عن توفير قابلية التوسع اللامحدودة والتخزين المركزي والمعالجة المعقدة التي تحتاج إلى موارد هائلة (Kanerika Editorial Team, 2025).

الأمن والامتثال والسيادة

تساهم الحوسبة الطرفية في تعزيز الأمان بشكل كبير عبر معالجة البيانات الحساسة محلياً دون تعريضها للسحابة، مما يقلل من مساحات الهجوم (Shah et al., 2024)، ولهذا النموذج أهمية خاصة في تلبية متطلبات الامتثال التنظيمي، مثل اللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR) ومتطلبات سيادة البيانات (Data Sovereignty)، من خلال ضمان بقاء البيانات داخل حدود جغرافية محددة ومعالجتها في الموقع (Azure, 2024)، علما أن نقل البيانات المجرّدة أو غير الشخصية فقط خارج الشبكة المحلية يعزز الخصوصية بشكل فعال (Coursera, 2024).

وفي سياق الأمن، يمثل هذا النموذج تحولاً في تركيز الدفاع من حماية النقل (في السحابة) إلى حماية الموقع (في الطرف)، وهذا التوزيع الجغرافي يعني أن المخاطر الأمنية السيبرانية التقليدية تُستبدل أو تُكمّل بمخاطر مادية

أو أمنية فيزيائية للمعدات المنتشرة في البيئات غير الخاضعة للسيطرة المركزية، مثل أرضيات المصانع أو المركبات.

لذلك يتطلب هذا النموذج تكامل حلول إدارة الهوية والوصول (IAM) مع التشفير المادي وتقنيات إخفاء هوية البيانات (De-identification) لضمان الأمان في كل نقطة اتصال قبل إرسال أي نتائج إلى السحابة.

المعادلة الاقتصادية العكسية (CapEx vs. OpEx)

من الناحية الاقتصادية، يقدم النظام البيئي المتكامل نموذجاً مالياً هجيناً. فبينما يتطلب نشر البنية التحتية الطرفية تكلفة رأسمالية أولية (CapEx) لشراء الأجهزة المتخصصة وتجهيز مراكز البيانات الصغيرة، فإن هذا الاستثمار الأولي يؤدي إلى توفير كبير في التكلفة التشغيلية (OpEx) على المدى الطويل (Coursera, 2024).

ويتمثل هذا التوفير في تقليل النفقات المرتبطة بنقل البيانات الضخمة عبر الشبكات وتقليل استهلاك موارد السحابة للعمليات اليومية الروتينية، مما يدفع المؤسسات نحو إعادة تقييم استراتيجيات استثمارها لصالح هذا التوزيع (Coursera, 2024).

جدول رقم (11). مقارنة معمقة بين الحوسبة السحابية والحوسبة الطرفية

معيار المقارنة	الحوسبة السحابية (المركزية)	الحوسبة الطرفية (الموزعة)	الأهمية/السياق
زمن الاستجابة (Latency)	عالٍ نسبياً (أجزاء من الثانية)	منخفض جداً (استجابة فورية بالميلي ثانية)	حرج للتطبيقات الحساسة للوقت (التحكم في الروبوتات)
النطاق الترددي	يتطلب نطاقاً ضخماً لنقل البيانات الخام	يستخدم نطاقاً أقل (لنقل النتائج المجمعة فقط)	تقليل تكاليف النقل وتخفيف ازدحام الشبكة
قابلية التوسع	غير محدودة تقريباً (توسع أفقي واسع)	محدودة محلياً، لكنها قابلة للتوزيع الواسع جغرافياً	السحابة للنمو الشامل، الطرف للعمق المحلي
الخصوصية والامتثال	يتطلب إجراءات معقدة لحماية البيانات المنقولة	معالجة محلية للبيانات الحساسة، تعزز الامتثال وسيادة البيانات	حاسم للصناعات المنظمة (الرعاية الصحية، الدفاع)

وعلى الرغم من التكامل الوظيفي، فإن تحدي "انزلاق النموذج" (Model Drift) يظل قائماً بسبب طبيعة الحوسبة الطرفية التي قد تعمل دون اتصال، فالسحابة توفر تحديثات مركزية سهلة، لكن تحديث الأجهزة

الطرفية المنتشرة جغرافياً يواجه تحديات لوجستية وتقنية في الحفاظ على تناسق إصدارات نماذج الذكاء الاصطناعي المشغلة محلياً ونماذج التدريب الأحدث في السحابة.

وهذه المعضلة تتطلب تطوير آليات تحديث متقدمة وموفرة للنطاق الترددي، مثل التعلم الفيدرالي (Federated Learning)، لضمان أن النماذج الطرفية تعمل دائماً بأقصى كفاءة دون الحاجة لنقل جميع بيانات التدريب الخام إلى السحابة.

القسم الثالث: الذكاء الاصطناعي الموزع

1.3. مفهوم الذكاء الاصطناعي على الطرف (Edge AI)

يمثل الذكاء الاصطناعي على الطرف (Edge AI) مرحلة جديدة في توزيع القوة الحاسوبية، وهو يشير إلى تنفيذ نماذج الذكاء الاصطناعي، وخاصة مرحلة الاستدلال (Inference)، مباشرة على الأجهزة الموجودة في طرف الشبكة (Coursera, 2024)، ويختلف الاستدلال عن التدريب (Training)، حيث يتضمن التدريب بناء النموذج الأولي الذي يتطلب بيانات ضخمة وقوة حسابية هائلة (ويتم غالباً في السحابة)، بينما الاستدلال هو استخدام النموذج المُدرب بالفعل للرد على طلب أو إصدار نتيجة، وهو ما يتم بشكل متزايد على الطرف (Lee, 2024).

يوُعد الذكاء الاصطناعي على الطرف خياراً مناسباً عندما تكون القرارات الآلية في الوقت الحقيقي أمراً ضرورياً، أو عندما تكون هناك حاجة لوظائف دون اتصال بالإنترنت (Offline Functionality)، أو عندما تكون الخصوصية المحسّنة للبيانات هي الأولوية القصوى، ويستفيد هذا النموذج من النهج الهجين بالتكامل مع الذكاء الاصطناعي السحابي (Cloud AI)، حيث تتولى تقنيات الطرف إدارة المهام الآنية، بينما تظل السحابة مخصصة لعمليات التدريب المعقدة والتحديث المستمر للنماذج (Coursera, 2024).

2.3. تخصص الأجهزة (Hardware Specialization):

أدت المتطلبات المتزايدة للذكاء الاصطناعي المدمج إلى ظهور فئة جديدة من الأجهزة المتخصصة تعرف بوحدات المعالجة العصبية (Neural Processing Units – NPUs)، والتي تسمى أيضاً مسرّعات الذكاء الاصطناعي (AI accelerators) (Microchip USA, 2024).

الضرورة المعمارية المتخصصة

إن وحدات المعالجة المركزية التقليدية (CPUs) ووحدات معالجة الرسوميات (GPUs) مصممة لمهام عامة. وعلى الرغم من أن GPUs تتفوق في المعالجة المتوازية، فإن تشغيل مهام الشبكات العصبية عليها يؤدي إلى متطلبات حسابية عالية واستهلاك طاقة غير فعال نسبياً في الأجهزة المدمجة (Deeprender AI, 2024). ولذلك تم تصميم وحدات NPU خصيصاً لحالة الاستخدام المتخصصة هذه: معالجة الشبكات العصبية.

وتعمل وحدات NPU عن طريق محاكاة البنية والكفاءة الموجودة في الشبكات العصبية البيولوجية، وهي مُحسّنة بشكل خاص لعمليات المصفوفات الرياضية والمعالجة المتوازية، وهي العمليات الأساسية التي تعتمد عليها خوارزميات التعلم العميق (Microchip USA, 2024).

إن هذا التخصص يتيح لوحدات NPU معالجة كميات هائلة من البيانات بشكل متزامن، مما يجعلها أكثر كفاءة بكثير في استهلاك الطاقة والأداء لكل واط (Performance per Watt) مقارنة بوحدات CPU/GPU في مهام الاستدلال (Deeprender AI, 2024).

ويعد هذا التحول في تصميم المعالجات مؤشراً واضحاً على الانتقال من التركيز على القوة الحسابية المطلقة (التي كانت سمة عصر GPU) إلى التركيز على الحوسبة الواعية بالطاقة (Energy-Aware Computing)، إذ أن كفاءة الطاقة القصوى التي توفرها NPUs هي الآن العامل المهيمن في تصميم الأجهزة المدمجة (مثل الهواتف الذكية والأجهزة القابلة للارتداء)، حيث أصبح مقياس الأداء لكل واط هو الميزة التنافسية الرئيسية، خاصة أن الأنظمة الطرفية تعمل ببطاريات محدودة.

البنية غير المتجانسة

يتم دمج وحدات NPU غالباً ضمن بنية حوسبة غير متجانسة (Heterogeneous Computing) على شريحة واحدة (System-on-Chip - SoC) مع وحدات CPU و GPU (Microchip USA, 2024)، وهذا المزيج يسمح بتفريغ المهام المحددة للذكاء الاصطناعي على NPU، مما يحرر وحدتي CPU و GPU للقيام بمهامهما العامة، وبالتالي تحقيق أداء أفضل ومرونة أعلى في التعامل مع الأعباء المختلفة (Microchip USA, 2024).

3.3. النماذج الهجينة للذكاء الاصطناعي (Hybrid AI) ومنهجية التنسيق

أصبح التكامل بين الذكاء الاصطناعي السحابي والذكاء الاصطناعي المدمج أمراً إلزامياً للأنظمة الحديثة، إذ أن النموذج الهجين هو الأكثر جاذبية للمؤسسات، حيث يعمل على تقسيم المهام (Coursera, 2024)، حيث يتم استخدام الذكاء الاصطناعي السحابي لتوفير قوة حوسبة وتخزين ضخمة لعمليات تدريب النماذج المعقدة وتوفير التحديثات المستمرة (Kanerika Editorial Team, 2025).

وفي المقابل، يتم استخدام الذكاء الاصطناعي الطرفي والمدمج لإدارة المهام التي تتطلب معالجة آنية (Real-time Processing) معززة بالخصوصية، مثل التعرف على الوجوه أو تحليل الصوت في الأجهزة الشخصية (Coursera, 2024).

عموما تساهم مرونة النظام المتزايدة في هذا التكامل، إذ أن دمج نماذج الذكاء الاصطناعي على المنصات المدمجة يجعل أنظمة إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) أكثر استقلالية ومرونة (MDPI, 2024)، بحيث تصبح هذه الأنظمة قادرة على مواصلة العمل بكفاءة واتخاذ القرارات الأساسية حتى في غياب اتصال الشبكة، وهو عامل حاسم لضمان استمرارية الأعمال والسلامة في البيئات الصناعية (MDPI, 2024).

في هذا الإطار، يظهر توتر جوهري بين الخصوصية والكفاءة في التدريب، فبينما يضمن الذكاء الاصطناعي الطرفي الخصوصية عبر المعالجة المحلية، فإن التدريب الفعال لنماذج الذكاء الاصطناعي يتطلب تجميع كميات هائلة من البيانات في السحابة لتحقيق التعميم والتحسين على نطاق واسع.

ولا يمكن تحسين النماذج العميقة بشكل شامل دون التضحية بالخصوصية الفورية، ما لم يتم اعتماد تقنيات متقدمة مثل التعلم الفيدرالي حيث يتم تبادل أوزان النموذج المُدربة بدلاً من تبادل البيانات الخام. لذلك، يجب على المؤسسات الاستثمار في أدوات متقدمة لإخفاء هوية البيانات لضمان إمكانية استخدام بيانات الطرف لتحسين نماذج الذكاء الاصطناعي السحابية دون انتهاك خصوصية المستخدم.

القسم الرابع: تكامل الحوسبة الطرفية-السحابية المتصلة (The Compute Continuum)

1.4. دمج التقنيات الثلاثة: تصور سلسلة الحوسبة المتصلة

تُعرف سلسلة الحوسبة الطرفية-السحابية المتصلة (Edge-Cloud Continuum) بأنها بنية تحتية حاسوبية متعددة المستويات، مصممة لدمج الموارد الحسابية المركزية في السحابة مع الموارد الموزعة عند الطرف والأجهزة المدمجة (Yao et al., 2023).

وتصف هذه السلسلة تدفق البيانات والمعالجة عبر طبقات معمارية متتالية. تبدأ البيانات الخام من الحساسات والأجهزة المدمجة، حيث تتم المعالجة الأولية باستخدام الذكاء الاصطناعي المدمج المُسرّع بواسطة NPUs، ثم يتم تجميع البيانات المعالجة جزئياً وإجراء المزيد من التحليلات على المستوى الطرفي (Edge)، وأخيراً، يتم نقل النتائج المجمعة والبيانات ذات الأهمية الاستراتيجية إلى السحابة للتخزين المركزي، والتحليل الشامل، وإعادة تدريب النماذج.

وتُعد متطلبات السرعة القصوى هي ما قادت هذا التسلسل المعماري. فبدلاً من رؤية السحابة والطرف والمدمج كتقنيات منفصلة، يتطلب الأداء الأمثل في عصر البيانات الضخمة رؤيتها كنظام واحد يوزع العمل بذكاء بناءً على متطلبات زمن الاستجابة، ونطاق المعالجة، والخصوصية (PhD Leeds, 2024).

2.4. أمثلة تطبيقية متقدمة للتكامل الهجين

إن الفهم العميق للتقارب التكنولوجي يظهر بوضوح في التطبيقات المعقدة التي تعتمد على التنسيق بين المستويات الثلاثة: الذكاء المدمج، والطرف، والسحابة.

1.2.4. المركبات الذاتية القيادة (Autonomous Vehicles)

تمثل المركبات الذاتية القيادة مثالاً نموذجياً على الحاجة إلى سلسلة حوسبة متصلة.

1- **الذكاء المدمج (داخل المركبة):** يجب أن تكون المركبة قادرة على اتخاذ قرارات حاسمة لضمان السلامة في جزء من الثانية، مثل الكبح المفاجئ أو تحديد مسار مناورة لتجنب اصطدام، ويتطلب هذا الاستدلال الفوري معالجة محلية للبيانات الخام الواردة من أجهزة الاستشعار (مثل الكاميرات ورادارات الليزر) باستخدام وحدات NPU المدمجة داخل كمبيوتر السيارة، باختصار فإن هذه المعالجة الفورية هي الضمانة التشغيلية الأساسية (PhD Leeds, 2024).

2- **الحوسبة الطرفية (التعاون المحلي):** تستخدم المركبات في منطقة معينة موارد الحوسبة الطرفية، والتي قد تتمثل في أبراج الاتصالات أو وحدات المعالجة القريبة على جانب الطريق، لتبادل المعلومات المعالجة (مثل الأجسام المكتشفة، أو تحديثات خرائط المرور المحلية)، ويسمح هذا التعاون اللامركزي بتوليد "خرائط محلية في الوقت الحقيقي" (Real-time Local Maps)، مما يحسن السلامة الكلية للنظام (PhD Leeds, 2024).

3- **السحابة (التدريب والتحسين):** تُستخدم السحابة لتلقي كميات هائلة من البيانات المُجمّعة من أساطيل المركبات لأغراض إعادة التدريب وتحسين نماذج الذكاء الاصطناعي، كما تُستخدم السحابة لتنسيق عملية "تفريغ الحمولة الحسابية" (Computational Offloading) ونشر تحديثات البرامج عبر المركبات (PhD Leeds, 2024).

يتطلب هذا التكامل اللوجستي نموذج تحسين مشترك (AI Co-optimization)، حيث يجب على النظام ليس فقط موازنة الأحمال الحسابية بين الطرف والسحابة لتقليل زمن الاستجابة، ولكن يجب عليه أيضاً إدخال تقنيات لإعادة توجيه المركبات في بعض الأحيان لتجنب تحميل البنية التحتية الحاسوبية الطرفية فوق طاقتها، وبالتالي الحفاظ على جودة الخدمة وسلامة الركاب (PhD Leeds, 2024).

ويكشف هذا التطبيق عن تحول التحدي من مجرد معالجة البيانات إلى إدارة الموارد الحاسوبية الموزعة؛ فالنظام يحتاج إلى "جدولة واعية بالحمولة" (Load-Aware Scheduling) لمعرفة حالة الموارد الطرفية المتاحة وضمان استمرارية التشغيل.

2.2.4. نماذج اللغة الكبيرة على الأجهزة المحمولة (Mobile LLMs)

مع تزايد الاهتمام بتمكين نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدية على الأجهزة الشخصية، خاصةً نماذج اللغة الكبيرة (LLMs)، أصبح الذكاء المدمج أمراً بالغ الأهمية للحفاظ على خصوصية المستخدم وتقليل الاعتماد على الاتصال السحابي المستمر (MediaTek, 2024)، ويرجع هذا الدافع إلى أن المستخدمين يفضلون معالجة محادثاتهم وبياناتهم الشخصية محلياً بدلاً من نقلها إلى السحابة، مما يجعل الخصوصية عاملاً دافعاً أساسياً في تصميم الأجهزة.

وفي الهواتف الذكية والأجهزة المحمولة، يتم الاستفادة من وحدات NPU لتسريع مرحلة الاستدلال للـ LLMs، حيث أظهرت الأبحاث أن هذه الوحدات المتخصصة ضرورية للتغلب على زمن الانتقال المرتفع الذي تفرضه هذه النماذج (llm.npu, 2024)، فعلى سبيل المثال يمكن لأنظمة الاستدلال التي تستخدم تفريغ الحمل على NPU أن تحقق سرعات ملحوظة وتوفيراً كبيراً في الطاقة مقارنة بأساليب التشغيل المعتمدة على CPU/GPU فقط (llm.npu, 2024).

وبهدف تحقيق أقصى استفادة من كفاءة NPU، يتطلب الأمر ما يُسمى "الهندسة المعمارية المشتركة" (Co-optimization)، حيث تتم إعادة هيكلة نموذج الذكاء الاصطناعي نفسه على مستويات متعددة، ويشمل ذلك تقسيم الطلبات (Prompts) إلى أجزاء ذات حجم ثابت، وتحديد واستخراج العناصر الشاذة (Outliers) لتشغيلها بالتوازي على CPU/GPU، وجدولة كتل النموذج (Transformer Blocks) بناءً على مدى توافقها وكفاءتها على NPU أو CPU/GPU (llm.npu, 2024)، ويدل هذا على أن الابتكار في الأجهزة يتطلب بالضرورة ابتكاراً معمارياً عميقاً في تصميم البرمجيات لفتح إمكاناتها الكاملة.

3.2.4. دراسة حالة الرعاية الصحية والتعليم: الخصوصية في التطبيقات الحساسة

1- **الرعاية الصحية:** يتيح الذكاء الاصطناعي الطرفي خدمات صحية أسرع مع مستويات خصوصية أكبر، عبر إجراء الاستدلال مباشرة على الأجهزة الطبية، وهذا يقلل من مخاطر خصوصية المريض عبر عدم إرسال البيانات الحساسة إلى السحابة، وقد أظهر بحث منهجي أن هناك تزايداً في استخدام التعلم الآلي والحوسبة الطرفية والأجهزة القابلة للارتداء لتطبيقات رعاية صحية حرجة مثل الكشف عن السقوط ورصد القلب والأوعية الدموية (Pereira et al., 2024).

2- **التعليم (EdTech):** أصبحت المؤسسات التعليمية هدفاً متزايداً للهجمات السيبرانية؛ ففي عام 2022، استُهدف 80% من المدارس بهجمات إلكترونية (AI Accelerator Institute, n.d.)، ولحماية بيانات الطلاب التي تعرضت معلومات أكثر من 2.5 مليون مستخدم للاختراق منذ عام 2016، يقدم Edge AI حلاً للحفاظ على خصوصية بياناتهم من خلال المعالجة المحلية على الأجهزة بدلاً من الأنظمة السحابية المعرضة للهجوم (AI Accelerator Institute, n.d.).

ويتبين من هذه الأمثلة أن الخصوصية لم تعد مجرد متطلب تنظيمي لاحق، بل أصبحت محركاً أساسياً لابتكار الأجهزة، إذ أن الدافع لتشغيل LLMs محلياً في الهواتف الذكية أو معالجة بيانات المريض محلياً هو أن المستخدمين لا يثقون في نقل بياناتهم الحساسة إلى بيئات سحابية مركزية.

وهذا الواقع يرفع الخصوصية لتكون عاملاً دافعاً رئيسياً في تصميم المعالجات (Privacy by Design in Hardware)، مما يضمن استمرار الاستثمار في NPUs وتطوير أساليب حماية البيانات على الشريحة.

القسم الخامس: الحوكمة، التحديات الاستراتيجية، والاتجاهات المستقبلية

1.5. ملخص الرؤية المعمارية المتكاملة

يمثل عصر الحوسبة الحالي تحولاً من نموذج مركزي أحادي إلى نموذج متكامل متعدد المستويات يُعرف بسلسلة الحوسبة المتصلة. فالحوسبة السحابية توفر القوة الحسابية والتخزين المركزي غير المحدود اللازم لتدريب نماذج الذكاء الاصطناعي الضخمة (Kanerika Editorial Team, 2025)، بينما تتيح الحوسبة الطرفية الاستجابة السريعة (زمن انتقال منخفض) وتخفيف الحمل على الشبكات (Macrometa, 2024). وفي القاعدة، تعمل تقنية الذكاء الاصطناعي المدمج، المدعومة بوحدات NPU المتخصصة، على تمكين الاستدلال الفوري والفعال من حيث الطاقة في الأجهزة النهائية (Deeprender AI, 2024)، وهذا التناغم بين المستويات

الثلاثة – السحابة للقوة، والطرف للسرعة، والمدمج للكفاءة – هو ما يحدد مستقبل معالجة البيانات الضخمة.

2.5. تحدي حوكمة الأمن: تمديد نموذج المسؤولية المشتركة (SRM) إلى الطرف

تواجه هذه النماذج المتكاملة تحدياً كبيراً في حوكمة الأمن مع تزايد تعقيد البيئات الموزعة، يصبح من الضروري تطوير نموذج حوكمة أمني متعدد المستويات يتجاوز نموذج SRM التقليدي للسحابة (Tenable/CSA, 2023)، وهذا التوسع ضروري لأن SRM لم يوضع في الاعتبار التوزيع الجغرافي المكثف والعمليات دون اتصال التي تميز الحوسبة الطرفية.

لذلك يجب تحديد كيفية توزيع المسؤولية عن أمان النماذج المشغلة محلياً على NPU (للتأكد من أن النموذج لم يُخترق أو تم التلاعب بأوزانه)، وتكوين الأجهزة الطرفية المنتشرة، وضمان التنسيق بين الحوكمة السحابية المركزية والأنظمة الموزعة للعميل (Tenable/CSA, 2023)، ويتطلب هذا الانتقال نموذجاً جديداً متعدد المستويات للمسؤولية الموزعة (MLDRM) ليشمل مسؤولية العميل عن إدارة تحديثات البرامج الثابتة (Firmware) على وحدات NPU المتخصصة وعن عزل البيانات على الطرف المادي.

3.5. التخصص في الأجهزة والبرمجيات:

يجب أن يستمر التركيز على تحسين تصميمات NPUs لدعم الأجيال الجديدة من نماذج الذكاء الاصطناعي الناشئة، مثل نماذج اللغة الكبيرة، مع الحفاظ على كفاءة استهلاك الطاقة (llm.npu, 2024).

ويتطلب فتح الإمكانات الكاملة لوحدات NPU تعاوناً مستمراً بين مصممي المعالجات ومطوري نماذج الذكاء الاصطناعي لضمان أفضل توافق بين البرمجيات والأجهزة (Co-optimization)، فمجرد إضافة شريحة NPU لا يكفي؛ بل يجب إعادة هيكلة برمجيات النماذج العصبية نفسها للاستفادة القصوى من هندسة المعالج المتخصصة، كما يتضح من متطلبات تشغيل LLMs بكفاءة على الأجهزة المحمولة (llm.npu, 2024).

4.5. الاعتبارات البيئية والاستدامة: البصمة الكربونية للأنظمة الموزعة

تثير قضايا الاستدامة والطاقة تحدياً معمّقاً على الرغم من أن المعالجة الطرفية تقلل من الحاجة إلى نقل البيانات الضخمة إلى مراكز البيانات (مما يوفر الطاقة)، فإن الانتشار الهائل للأجهزة الطرفية والمدمجة يثير تحديات جديدة تتعلق بالاستدامة ودورة حياة الأجهزة (Deeprender AI, 2024).

حيث أن كفاءة الطاقة (Performance per Watt) التي توفرها NPUs ليست مجرد ميزة أداء؛ بل هي عامل حاسم في تقليل البصمة الكربونية الإجمالية للأنظمة الموزعة، فكلما زاد عدد الحسابات التي يمكن إجراؤها محلياً بكفاءة طاقة عالية، قل الاعتماد على مراكز البيانات السحابية العملاقة التي تستهلك كميات هائلة من الطاقة للتبريد. يجب على المهندسين المعماريين النظر في استدامة الأنظمة الموزعة من حيث كفاءة تبريد مراكز البيانات المصغرة وإمكانية تمديد العمر الإنتاجي للرقائق (Amortization) لتقليل النفايات الإلكترونية والبصمة الكربونية الكلية.

خلاصة المحاضرة

يمثل الانتقال إلى سلسلة الحوسبة المتصلة ضرورة استراتيجية وتشغيلية، إذ أن التناغم بين المستويات الثلاثة يوفر القوة اللازمة لتدريب الذكاء الاصطناعي (السحابة)، والسرعة المطلقة المطلوبة للاستجابة (الطرف)، والكفاءة الطاقية للعمليات المدمجة (NPUs).

جدول رقم (12): توزيع المهام الرئيسية والأولويات عبر سلسلة الحوسبة المتصلة

الطبقة المعمارية	أولويات التشغيل	أمثلة على المهام	تحدي الحوكمة الرئيسي
السحابة (Cloud)	قابلية التوسع، التخزين المركزي، التدريب	التدريب المعقد للنماذج العميقة، تخزين البيانات الضخمة	الأمن "للسحابة" (Security *of* the Cloud)
الطرف (Edge)	تقليل زمن الانتقال، تحليل محلي، سيادة البيانات	تحليل الفيديو الأولي، التجميع، خوارزميات التعاون المحلي	أمن تكوين الموارد الطرفية (Configuration Security)
المدمج (Embedded)	كفاءة الطاقة، الاستدلال الفوري، الخصوصية	التعرف على الصور والوجوه، الاستجابة الآلية (كبح السيارة)	أمن النماذج المشغلة محلياً (On-device Model Security)

المراجع :

1- AWS. (2024). *Understanding the AWS Shared Responsibility Model*. Retrieved from https://aws.amazon.com/compliance/shared-responsibility-model/

2- Azure. (2024). *Cloud computing defined* [تعريف الحوسبة السحابية]. Retrieved from https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing

3- Azure. (2024). *What is Edge Computing?* [ما هي الحوسبة الطرفية؟]. Retrieved from https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-edge-computing

4- Coursera. (2024). *Edge AI vs. Cloud AI: Which Is Right for Your Business?* [الذكاء الاصطناعي الطرفي مقابل الذكاء الاصطناعي السحابي: أيهما الأنسب لعملك؟]. Retrieved from https://www.coursera.org/articles/edge-ai-vs-cloud-ai

5- Deeprender AI. (2024). *NPU Landscape* [مشهد وحدات المعالجة العصبية]. Retrieved from https://deeprender.ai/blog/npu-landscape

6- Google Cloud. (2024). *IaaS vs PaaS vs SaaS: Key differences between cloud computing service models*. Retrieved from https://cloud.google.com/learn/paas-vs-iaas-vs-saas

7- Google Cloud. (2024). *What is Cloud Architecture?* [ما هي بنية السحابة؟]. Retrieved from https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-architecture

8- Kanerika Editorial Team. (2025, February 4). *Cloud computing role in edge AI*. Kanerika. Retrieved from https://kanerika.com/blogs/cloud-computing-role-in-edge-ai/

9- Lee, B. C. (2024). *What is an NPU in computing* [ما هي وحدة المعالجة العصبية في الحوسبة]. Penn Today. Retrieved from https://penntoday.upenn.edu/what-is-an-NPU-in-computing

10- llm.npu: Offloading LLM Inference to NPU for Fast and Energy-Efficient On-Device Execution. (2024). *arXiv* [llm.npu: من أجل التنفيذ السريع والموفر للطاقة على الجهاز NPU تفريغ استدلال نماذج اللغة الكبيرة إلى]. Retrieved from https://arxiv.org/html/2407.05858v2

11- Macrometa. (2024). *Edge Computing vs Cloud Computing* [الحوسبة الطرفية مقابل الحوسبة السحابية]. Retrieved from https://www.macrometa.com/topics/edge-computing-vs-cloud-computing

12- MDPI. (2024). Increased system resilience and availability: The integration of artificial intelligence models on embedded platforms makes IIoT systems more resilient and autonomous. *Electronics, 13*(12), 2322.

13- MediaTek. (2024). *Generative AI Phone Industry Whitepaper* [الورقة البيضاء لصناعة الهواتف والذكاء الاصطناعي التوليدي]. Retrieved from https://www.mediatek.com/hubfs/Generative-AI-Phone-Industry-Whitepaper.pdf?hsLang=en

14- Microchip USA. (2024). *Neural Processing Units: Revolutionizing AI Hardware* [وحدات المعالجة العصبية: إحداث ثورة في أجهزة الذكاء الاصطناعي]. Retrieved from https://www.microchipusa.com/electrical-components/neural-processing-units-revolutionizing-ai-hardware

15- Pereira, C. V. F., de Oliveira, E. M., & de Souza, A. D. (2024). Machine Learning Applied to Edge Computing and Wearable Devices for Healthcare: Systematic Mapping of the Literature. *Sensors*, *24*(19), 6322. https://doi.org/10.3390/s24196322

16- PhD Leeds. (2024). *Edge-to-Cloud Smart Mobility: AI Co-optimization for future Autonomous Vehicles* [التنقل الذكي من الطرف إلى السحابة: التحسين المشترك للذكاء الاصطناعي للمركبات الذاتية المستقبلية]. Retrieved from https://phd.leeds.ac.uk/project/1856-edge-to-cloud-smart-mobility:-ai-co-optimization-for-future-autonomous-vehicles

17- Red Hat. (2024). *What is infrastructure as code (IaC)?* [ما هي البنية التحتية كرمز ؟]. Retrieved from https://www.redhat.com/en/topics/automation/what-is-infrastructure-as-code-iac

18- Shah, T., Saini, G., & Kumar, S. (2024). Edge Computing vs Cloud Computing: Complementary or Competitive. *International Journal of Advanced Business Studies*, *1*(2).

19- Tenable/Cloud Security Alliance. (2023). *Understanding the Shared Responsibility Model for Cloud Security: How to Avoid Coverage Gaps and Confusion* [فهم نموذج المسؤولية المشتركة لأمن السحابة: كيفية تجنب الثغرات والارتباك]. Retrieved from https://cloudsecurityalliance.org/blog/2023/09/14/understanding-the-shared-responsibility-model-for-cloud-security-how-to-avoid-coverage-gaps-and-confusion

20- The AI Accelerator Institute. (n.d.). *EdTech Meets Edge AI: Scalable, Privacy-First Ecosystems*. Retrieved from https://www.aiacceleratorinstitute.com/edtech-meets-edge-ai-scalable-privacy-first-ecosystems/

21- Yao, J., Zhang, S., Yao, Y., Wang, F., Ma, J., Zhang, J., Chu, Y., Ji, L., Jia, K., Shen, T., Wu, A., Zhang, F., Tan, Z., Kuang, K., Wu, C., Wu, F., Zhou, J., & Yang, H. (2023). Edge-cloud polarization and collaboration: A comprehensive survey for ai. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *35*(7), 6866–6886.

المحاضرة السادسة: تكنولوجيا الأقمار الصناعية ودورها في ربط العالم الرقمي

مقدمة:

يُعد الاتصال بالأقمار الصناعية عنصراً حيوياً في ربط العالم الرقمي، لا سيما في ظل التطورات المتسارعة التي تقودها كويكبات المدار الأرضي المنخفض (LEO)، وهذه التكنولوجيا التي تتجاوز الحواجز الجغرافية التي تعيق الشبكات الأرضية، أصبحت مكوناً لا غنى عنه في البنية التحتية العالمية للاتصالات.

وتتناول هذه المحاضرة دور تكنولوجيا الأقمار الصناعية، بدءاً من الميكانيكا المدارية الأساسية، ومروراً بثورة النطاق العريض التي يقودها نظام ستارلينك (Starlink)، وصولاً إلى الدور الاستراتيجي لهذه الأنظمة في الملاحة العالمية (GNSS) وإدارة الكوارث، حيث يتطلب فهم المشهد التكنولوجي الحالي تقييماً دقيقاً للمفاضلة بين المدارات المختلفة والتحديات البيئية والتشغيلية الناجمة عن الاكتظاظ المداري.

القسم الأول: الإطار المفاهيمي للاتصالات بالأقمار الصناعية والتطور التاريخي

2.1. تعريف الاتصالات الفضائية وأهميتها الأكاديمية

تُعرّف تكنولوجيا الاتصالات الفضائية (Satellite Communications) بأنها منظومة معقدة تعتمد على الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. تتمثل وظيفة هذه الأقمار في استقبال الإشارات، تضخيمها، وإعادة إرسالها إلى محطات أرضية بعيدة، مما يتيح الاتصال الفوري والموثوق بين أي نقطتين على سطح الكرة الأرضية (Al-Subaie, 2024)، وهذا الدور يجعل الاتصالات بالأقمار الصناعية عنصراً حيوياً في تطوير البنية التحتية العالمية.

شهد هذا القطاع تطوراً ملحوظاً، يتمثل في تقدم الأقمار الصناعية باستمرار نحو تحقيق التعدد الوظيفي وزيادة السعة الكبيرة لنقل البيانات وفي المقابل تتجه المحطات الأرضية نحو التصغير في الحجم ، مما أدى إلى تحسين قدرات السرية ومقاومة التدمير ضمن أنظمة الاتصالات بالأقمار الصناعية، وهو ما يؤكد على استمرار دورها المهم في دعم الاتصالات العالمية (Hytera, n.d).

إن هذا الاتجاه المزدوج نحو زيادة سعة القمر وتصغير حجم المحطة الأرضية (Hytera, n.d) يمثل تحولاً استراتيجياً من نموذج الاتصال المركزي إلى نموذج لا مركزي، فزيادة سعة الأقمار تتيح تقليل قوة الإشارة المطلوبة للوصول إلى الأرض، وهذا بدوره يمكّن المحطات الأرضية من أن تكون أصغر حجماً وأكثر كفاءة وأرخص تكلفة، وهذه النتيجة المباشرة فتحت السوق أمام المستخدمين الأفراد في الأماكن النائية، وشكلت الأساس التكنولوجي لثورة كوكبات المدار الأرضي المنخفض (LEO) التي سنناقشها لاحقاً.

3.1. تصنيف الأقمار الصناعية

يتم تصنيف الأقمار الصناعية بناءً على ارتفاعها المداري عن سطح الأرض، حيث يلعب هذا الارتفاع دوراً حاسماً في تحديد خصائص الخدمة التي يمكن أن يقدمها القمر الصناعي، خاصة فيما يتعلق بزمن الوصول (Latency) والتغطية (Al-Subaie, 2024).

المدار الأرضي الثابت (Geostationary Equatorial Orbit - GEO)

تدور هذه الأقمار على ارتفاع يبلغ حوالي 35,786 كيلومتراً فوق خط الاستواء (Al-Subaie, 2024)، بمعنى أن الميزة الأساسية لهذه الأقمار هي أنها تظل ثابتة بالنسبة إلى نقطة معينة على الأرض، مما يجعلها مثالية لتطبيقات البث التلفزيوني وخدمات مراقبة الطقس، وتوفير تغطية دائمة ومستقرة لمنطقة جغرافية واسعة (Avanti Communications, 2022).

ومع ذلك، فإن ارتفاعها الكبير يترتب عليه زمن وصول مرتفع يتراوح بين 500 إلى 700 مللي ثانية، مما يجعلها أقل مثالية للتطبيقات التي تتطلب تفاعلاً فورياً مثل الألعاب عبر الإنترنت (Telarus, n.d).

المدار الأرضي المتوسط (Medium Earth Orbit - MEO)

تقع هذه الأقمار على ارتفاع يتراوح بين 2,000 و 36,000 كيلومتر، وتُستخدم أقمار MEO عادةً في تطبيقات الملاحة (GNSS) وتوفر زمن وصول أفضل من GEO ولكنه أعلى من MEO (Telarus, n.d).

المدار الأرضي المنخفض (Low Earth Orbit - LEO)

تدور هذه الأقمار بالقرب من سطح الأرض، على ارتفاع يتراوح عادةً بين 500 و 1,500 كيلومتر (Al-Turaifi, 2024)، وهذه المدارات حاسمة لخدمات الإنترنت الحديثة بسبب قربها من المستخدمين.

القسم الثاني: الإنترنت الفضائي (Starlink مثالاً) وتحدي النطاق العريض

1.2. ثورة النطاق العريض عبر مدار الأرض المنخفض (LEO)

أصبح مدار الأرض المنخفض (LEO) هو ساحة المعركة الجديدة للاتصالات بالأقمار الصناعية، حيث تعمل هذه الأقمار على تقليص المسافة بين القمر الصناعي والمستخدم بشكل كبير (Ecome Radio, n.d)، وهذه المسافة الأقصر تؤدي إلى انخفاض دراماتيكي في زمن الوصول (Latency) إلى مستويات تتراوح بين 20 إلى 50 مللي ثانية، وهو ما يقترب من أداء الشبكات الأرضية السلكية (Telarus, n.d).

وقد ساعد هذا التحسن الجذري في تحويل الاتصالات بالأقمار الصناعية من مجرد حل احتياطي إلى حل أساسي يوفر سرعات إنترنت عالية (Gogo Inc., 2024).

هذا ويُسهم الطلب المتزايد على خدمات النطاق العريض، وخاصة في المناطق النائية والمحرومة التي يصعب تزويدها بالبنية التحتية السلكية التقليدية، في دفع سوق حمولات الأقمار الصناعية ذات المدار الأرضي المنخفض (Databricks Market Research, 2024).

وتُعد مجموعات الأقمار الصناعية في مدار LEO، مثل ستارلينك وون ويب، الحل الأمثل لتقديم اتصال الإنترنت عالي السرعة حيث تكون الخيارات التقليدية غير عملية أو غير متوفرة (Expereo Team, n.d).

تاريخياً، كان زمن الوصول المرتفع (500 إلى 700 مللي ثانية) هو العائق الأكبر أمام الاتصالات بالأقمار الصناعية، مما حصر استخدامها في "التراسل الكبير أحادي الاتجاه" مثل البث التلفزيوني، إلا أن نجاح كوكبات LEO في خفض هذا الزمن إلى مستويات 20-50 مللي ثانية (Telarus, n.d) لم يقتصر تأثيره على المنافسة في سوق الإنترنت فحسب، بل أعاد تعريف الأداء المقبول للخدمات بالأقمار الصناعية بشكل عام.

وهذا التحول يعني أن LEO أصبحت قادرة على المنافسة الفعالة في تطبيقات الإنترنت التفاعلية، مثل الألعاب عبر الإنترنت والمكالمات المرئية، مما يضع ضغطاً كبيراً على مشغلي GEO للانتقال إلى تقنيات أعلى أو التركيز بشكل حصري على البث والخدمات الحكومية الثابتة.

2.2. نموذج Starlink: الأهمية التكنولوجية والاستراتيجية

تُعد شبكة ستارلينك (Starlink)، التي تطورها شركة سبيس إكس أبرز مثال على ثورة الاتصال عبر مدار LEO، وتهدف ستارلينك إلى إطلاق آلاف الأقمار الصناعية الصغيرة لتوفير خدمة الإنترنت في كل بقعة على الأرض (الجزيرة, 2020)، ويُقدر أن سبيس إكس قد نشرت ما يقرب من 1,800 قمر صناعي في عام 2021 لتحقيق تغطية عالمية مستمرة (Cakaj, 2021; اليوم السابع, 2021).

تشير التقديرات الحديثة إلى أن سرعات تنزيل ستارلينك تصل إلى حوالي 200 ميغابت في الثانية لأكثر من مليوني عميل نشط في أوقات الذروة، بينما توفر الفئة منخفضة السرعة خدمة تنزيل تصل إلى 100 ميغابت في الثانية في معظم المناطق (SpaceX, 2025).

ويعود هذا الأداء المرتفع بشكل أساسي إلى مبدأ تعدد الأقمار، حيث يضمن وجود عشرات الأقمار الصناعية في مجال رؤية المحطة الطرفية للمستخدم أن النظام يمكنه الانتقال التلقائي بين الأقمار بشكل استباقي وفوري لمعالجة أي عائق أو تدهور في الاتصال، مما يضمن موثوقية عالية (SpaceX, 2025).

ومن الناحية الاستراتيجية، أثر ظهور ستارلينك بشكل كبير على مزودي خدمات الإنترنت التقليديين (ISPs)، مما دفعهم إلى تحسين التغطية وتقديم خدمات أكثر موثوقية لمواكبة المنافسة الجديدة (Shaengchart & Kraiwanit, 2024).

3.2. التحديات البيئية والمدارية لكوكبات LEO

على الرغم من الإمكانيات الهائلة التي توفرها منظومات LEO، إلا أنها تواجه تحديات كبيرة، أبرزها المخاوف من اكتظاظ مدار الأرض المنخفض وزيادة النفايات الفضائية الخطرة (اليوم السابع, 2021)، كما أثارت كثافة هذه الأقمار قلقاً لدى علماء الفلك بسبب انعكاس ضوء الشمس عنها، مما قد يعطل عمل المراصد الأرضية (اليوم السابع, 2021).

إن الكثافة العالية المطلوبة لكوكبات LEO، والتي تتكون من آلاف الأقمار لتحقيق زمن الوصول المنخفض، هي السبب المباشر لهذه التحديات البيئية، حيث تحتاج هذه الأقمار إلى العمل باستمرار واستبدال دورياً بسبب عمرها الافتراضي القصير نسبياً (حوالي 5 سنوات) والحاجة إلى مقاومة السحب الجوي في المدارات المنخفضة (Avanti Communications, 2022).

ويزد ذلك بشكل كبير من حجم النفايات الفضائية في المدارات النشطة، مما يخلق مفاضلة (Trade-off) بين الأداء التكنولوجي المستدام والأمن البيئي للمدار، ويفرض هذا الوضع ضرورة وضع أطر تنظيمية دولية عاجلة لمنع تفاقم متلازمة كيسلر (Kessler Syndrome) التي قد تجعل مدارات LEO غير قابلة للاستخدام، ويُظهر الجدول التالي مقارنة للخصائص الفنية والوظيفية التي تقود استراتيجيات النشر في المدارات الرئيسية.

الجدول رقم (13): مقارنة الخصائص الفنية والوظيفية للمدارات بالأقمار الصناعية

الميزة/المدار	المدار الأرضي الثابت (GEO)	المدار الأرضي المتوسط (MEO)	المدار الأرضي المنخفض (LEO)
الارتفاع التقريبي (كم)	35,786	36,000 – 2,000	1,500 – 500

زمن الوصول (Latency)	مرتفع جداً (500–700 مللي ثانية) (Telarus, n.d) [4]	متوسط (30–120 مللي ثانية) (Telarus, n.d) [4]	منخفض جداً (20–50 مللي ثانية) (Telarus, n.d) [4]
عدد الأقمار المطلوبة	قليل (3-4 تغطي الكوكب)	متوسط (10-20)	كبير جداً (مئات/آلاف) (Avanti Communications, 2022) [3]
الاستخدام الرئيسي	البث التلفزيوني، الشبكات الاحتياطية، مراقبة الطقس	الملاحة (GNSS)، خدمات السعات المتوسطة	الإنترنت عالي السرعة، التطبيقات التفاعلية (Gogo Inc., 2024) [5]
الموثوقية/التعقيد	موثوقية عالية، أنظمة أرضية بسيطة	متوسطة	عالية (بسبب الكثافة)، أنظمة أرضية معقدة (لتتبع الحركة)

القسم الثالث: الأقمار الصناعية والاتصالات العالمية

1.4.دور الأقمار الصناعية GEO في البث والشبكات العابرة للقارات

على النقيض من أقمار LEO التي تركز على النطاق العريض المنخفض زمن الوصول، تظل الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض (GEO) عنصراً حيوياً لا يمكن الاستغناء عنه في الاتصالات العالمية والبث، إذ أن موقعها الثابت بالنسبة لنقطة على الأرض يجعلها مثالية لتطبيقات تتطلب تغطية مستمرة لمنطقة واسعة (Avanti Communications, 2022).

1- **البث التلفزيوني:** تُستخدم أقمار GEO على نطاق واسع في توزيع القنوات التلفزيونية والإذاعية عبر القارات، مما يضمن وصول المحتوى إلى الملايين من المشاهدين في مناطق التغطية المحددة (Al-Subaie, 2024).

2- **الشبكات الاحتياطية (Resilience):** يمكن لأقمار GEO، رغم زمن وصولها العالي، أن تحمل حجماً كبيراً من حركة المرور، مما يجعلها مكوناً أساسياً للشبكات الاحتياطية (Backup Solutions) لضمان استمرارية الأعمال في حال فشل الاتصالات الأرضية (PSION VC, n.d).

2.4. الدور الحاسم في إدارة الكوارث وخدمات الطوارئ

تُظهر الدراسات أن الأقمار الصناعية تلعب دوراً بالغ الأهمية في إدارة الكوارث وتقديم خدمات الطوارئ، خاصة في المناطق التي تتعرض لكوارث طبيعية مثل الزلازل أو الفيضانات، حيث غالباً ما تتعطل البنية التحتية

الأرضية (الشبكات السلكية واللاسلكية) بشكل كامل، وفي هذه الحالات، تصبح الاتصالات بالأقمار الصناعية هي الوسيلة الوحيدة المتاحة للاتصال والمراقبة (مجلة عالم التكنولوجيا, n.d).

ولا يقتصر دور الاتصالات بالأقمار الصناعية في إدارة الكوارث على مجرد نقل البيانات؛ بل يمثل العمود الفقري لسلسلة القيادة الإنسانية التي تنهار في غيابها، وتوضح حالات التعاون الدولي أن فعالية الاستجابة تتناسب طردياً مع قدرة الجهات الفاعلة على العمل بشكل متكامل وعابر للحدود.

1- **الوعي بالموقف وتقييم الضرر:** تتيح بيانات الأقمار الصناعية الجغرافية المكانية، بالتعاون مع أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، رسم خرائط دقيقة لحالة الطرق والجسور والمباني المنهارة بعد وقوع الكارثة (Esri, n.d)، وقد أظهر التعاون الدولي كما في زلزالي تركيا وسوريا في 2023، مدى حيوية الأقمار الصناعية البصرية والرادارية في تحديد أماكن تجمعات النازحين وتوجيه المساعدات الإنسانية (مجلة عالم التكنولوجيا, n.d).

2- **المراقبة في جميع الظروف:** توفر الأقمار الصناعية الرادارية قدرة فريدة على جمع المعلومات البصرية حتى في الليل وعبر السحب، ورصد الانهيارات الأرضية والتغيرات الطفيفة في الارتفاع، مما يكمل عمل الأقمار البصرية (مجلة عالم التكنولوجيا, n.d).

وفي هذه السياقات، تؤدي الكارثة الطبيعية إلى تدمير البنية التحتية الأرضية، فتوفر الشبكات بالأقمار الصناعية وسيلة الاتصال الوحيدة الموثوقة، حيث تسمح هذه الوسيلة بإدخال بيانات الاستشعار عن بعد (الصور البصرية والرادارية) في أنظمة GIS، مما يولد "الوعي بالموقف" (Situational Awareness) بشكل فوري ودقيق، وبالتالي يمكن توجيه فرق الإغاثة والموارد بكفاءة عالية إلى النقاط الأكثر تضرراً، مما يقلل بشكل كبير من الخسائر البشرية.

القسم الرابع: أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية (GNSS)

1.5. المبادئ المفاهيمية لنظم الملاحة (GPS)

يُعد نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System - GPS) الأمريكي هو الأشهر ضمن عائلة واسعة من الأنظمة تُعرف باسم النظم العالمية لسواتل الملاحة (GNSS)، وتشمل هذه العائلة أيضاً أنظمة مثل غاليليو الأوروبي، وبيدو الصيني، وغلوماس الروسي (Kingrf, n.d)، حيث تعمل جميع هذه الأنظمة وفق مبادئ أساسية متشابهة تعتمد على تحديد الموقع بدقة فائقة.

ويعتمد المبدأ المفاهيمي لعمل GPS على مفهوم التثليث المساحي (Trilateration) عبر الأقمار الصناعية، ويتطلب أربعة أقمار صناعية على الأقل لتحديد موقع جهاز الاستقبال على سطح الأرض بدقة (SEOS Project, n.d)، وتعمل الآلية على النحو التالي:

1- **إرسال الإشارة والتوقيت:** يرسل كل قمر صناعي في كوكبة الملاحة إشارة تحمل موقعه (مداره) والوقت المحدد للإرسال، مستخدماً ساعات ذرية عالية الدقة (YouTube, n.d).

2- **حساب المسافة الزائفة:** يستقبل جهاز المستقبل (مثل الهاتف الذكي) الإشارة ويحسب فارق الوقت بين زمن الإرسال وزمن الاستقبال. ونظراً لأن الإشارة تنتقل بسرعة الضوء، حيث يتم استخدام هذا الفارق الزمني لحساب المسافة إلى كل قمر صناعي (YouTube, n.d).

3- **التحديد ثلاثي الأبعاد:** يتم تكرار هذه العملية مع ثلاثة أقمار صناعية لتحديد الموقع على سطح الأرض، بينما يُستخدم القمر الصناعي الرابع لتصحيح الأخطاء الزمنية الطفيفة التي قد تنجم عن ساعة المستقبل (مقارنة بالساعات الذرية للقمر)، مما يضمن تحديد الموقع بدقة عالية (SEOS Project, n.d).

2.5. الأهمية الاقتصادية والاستراتيجية لنظام GNSS

لقد تغلغلت النظم العالمية لأقمار الملاحة في الأنشطة اليومية للأفراد ودوائر الأعمال والحكومات على مستوى عالمي (UNOOSA, 2013)، إذ تُعتبر موثوقية ودقة وتوافر خدمات تحديد المواقع والملاحة والتوقيت (PNT) قضية مسلّم بها في المجتمع المعاصر، حتى أصبح من المعروف أن أي فقد لهذه الخدمات سيؤدي إلى اضطرابات واسعة النطاق في البنية التحتية والاقتصاد الوطني والدولي (UNOOSA, 2013).

لقد تجاوز نظام GNSS كونه مجرد أداة لتحديد المواقع وأصبح عنصراً حاسماً في "خدمات التوقيت المرجعي" (Reference Timing Services)، مما يجعله بنية تحتية اقتصادية بالغة الأهمية، إذ أن نقل البيانات المالية والمعاملات عبر الشبكات يتطلب تزامن نانوي أو مايكروثانية، وتوفر الساعات الذرية في أقمار GNSS هذا التوقيت الأكثر دقة على مستوى العالم.

ولذلك تعتمد البنوك وشبكات الطاقة على هذا التوقيت للتزامن والتحكم، ونتيجة لذلك، فإن أي تشويش أو فقد لخدمات PNT (خاصة التوقيت) لا يؤدي فقط إلى تعطل الملاحة، ولكنه يهدد استقرار الأسواق المالية وشبكات الكهرباء الوطنية والدولية، مما يبرزها كبنية تحتية غير مرئية وحرجة.

وبشكل عام تتضمن تطبيقات GNSS ذات الأهمية الحاسمة مجموعة واسعة من القطاعات (UNOOSA, 2013):

1- **النقل والملاحة:** يُستخدم في جميع أشكال النقل، بما في ذلك الطيران، الملاحة البحرية، السكك الحديدية، والطرق (UNOOSA, 2013).

2- **العمليات الاقتصادية:** يُعد التوقيت الدقيق الذي توفره هذه الأنظمة أمراً بالغ الأهمية في الاتصالات اللاسلكية والخدمات المصرفية (المعاملات المالية) ومراقبة الشبكات الكهربائية (Kingrf, n.d).

3- **التنمية المستدامة:** تُوفر تطبيقات GNSS طريقة فعالة التكلفة للبلدان النامية لكي تواصل النمو الاقتصادي المستدام مع حماية البيئة، خاصة في مجالات الزراعة الدقيقة ومسح الأراضي ورصد البيئة وإدارة الموارد الطبيعية (UNOOSA, 2013).

ملخص المحاضرة

أكد التحليل أن تكنولوجيا الأقمار الصناعية تمثل نقطة ارتكاز في ربط العالم الرقمي، مدفوعة بتحول استراتيجي من المدارات المرتفعة (GEO) إلى المدارات المنخفضة (LEO)، وقد أثبتت أقمارLEO، مثل ستارلينك، قدرتها على تلبية متطلبات النطاق العريض وزمن الوصول المنخفض، مما حول الاتصال بالأقمار الصناعية إلى منافس أساسي للشبكات الأرضية التقليدية.

وفي المقابل، تظل المدارات التقليدية (GEO) حيوية وضرورية لدعم البث والشبكات الاحتياطية وإدارة الكوارث، حيث توفر تغطية واسعة ومستمرة للمناطق التي تتعرض لانهيار البنية التحتية الأرضية، والأهم من ذلك، يمثل نظام GNSS بنية تحتية عالمية لا غنى عنها، حيث لا تقتصر وظيفته على الملاحة بل تتسع لتشمل توفير خدمات التوقيت الدقيقة التي تعتمد عليها الأسواق المالية والشبكات الكهربائية العالمية.

قائمة المراجع

1- Al-Subaie, A. (2024). *الاتصالات عبر الأقمار الصناعية: ما وراء الأفق: العالم الموسع للاتصالات عبر الأقمار الصناعية*. FasterCapital. https://fastercapital.com/arabpreneur/الاتصالات-عبر-الأقمار-الصناعية--ما-وراء-الأفق--العالم-الموسع-للاتصالات-عبر-الأقمار-الصناعية.html

2- Al-Turaifi, Y. (2024). *مقارنة بين المدارات LEO MEO GEO*. IP Access International. https://www.ipinternational.net/how-do-leo-geo-and-meo-satellites-differ/

3- Avanti Communications. (2022). *GEO vs LEO – Quick facts.* https://www.avanti.space/wp-content/uploads/2022/02/GEO-vs-LEO-Quick-Facts-2022.pdf

4- Cakaj, S. (2021). *The parameters comparison of the "Starlink" LEO satellites constellation for different orbital shells.* ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/351372656_The_Parameters_Comparison_of_the_Starlink_LEO_Satellites_Constellation_for_Different_Orbital_Shells

5- Databricks Market Research. (2024). *الطلب المتزايد على خدمات النطاق العريض في المناطق النائية يدفع سوق حمولات أقمار LEO.* Data Bridge Market Research. https://www.databridgemarketresearch.com/ar/reports/global-low-earth-orbit-leo-satellite-payload-market

6- Ecome Radio. (n.d.). *بدأت اتصالات الأقمار الصناعية منخفضة المدار في الاختبارات العامة: جودة المستهلك في الطريق.* Ecome Radio. Retrieved October 11, 2025, from https://www.ecomeradio.com/news/low-orbit-satellite-communications-have-begun-17381679676875776.html

7- Esri. (n.d.). *نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الكوارث: عمليات إدارة الطوارئ.* Esri. Retrieved October 11, 2025, from https://www.esri.com/ar-sa/industries/emergency-management/overview

8- Expereo Team. (n.d.). *What is Low Earth Orbit (LEO) satellite technology?* Expereo Blog. Retrieved October 11, 2025, from https://www.expereo.com/resources/blogs/what-is-low-earth-orbit-leo-satellite-technology

9- Gogo Inc. (2024, November 11). *What is Low Earth Orbit (LEO) satellite internet?* Gogo Resources. https://www.gogoair.com/resources/blogs/what-is-low-earth-orbit-(leo)-satellite-internet

10- Hytera. (n.d.). *دعونا نتعلم عن الاتصالات الفضائية للهواة.* Hytera. Retrieved October 11, 2025, from https://www.ecomeradio.com/info/let-s-learn-about-amateur-satellite-communicat-17137091060327424.html

11- Kingrf. (n.d.). *هل تعرف ما هي الأنظمة المضمنة في GNSS.* Kingrf. Retrieved October 11, 2025, from https://www.kingrf.com/ar/news/do-you-know-which-systems-are-included-in-gnss/

12- PSION VC. (n.d.). *التحديات والفرص التي تواجه اتصال القمر الصناعي ذي النطاق العريض broadband.* PSION VC. Retrieved October 11, 2025, from https://ar.psion.vc/insights/the-challenges-opportunities-of-satellite-broadband

13- SEOS Project. (n.d.). *تحديد المواقع عالميا بواسطة التثليث المساحي. Satellite Navigation with GPS.* Retrieved October 11, 2025, from https://seos-project.eu/GPS/GPS-c01-p02.ar.html

14- Shaengchart, Y., & Kraiwanit, T. (2024). *The SpaceX Starlink satellite project: Business strategies and perspectives. Corporate & Business Strategy Review, 5*(1), 30–37. https://www.researchgate.net/publication/377231331_The_SpaceX_Starlink_Satellite_Project_Business_Strategies_and_Perspectives

15- SpaceX. (2025). *Starlink | التحديثات.* https://www.starlink.com/om/updates

16- Telarus. (n.d.). *LEO, MEO, and GEO, oh my! Modern satellite connectivity, explained.* Telarus Blog. Retrieved October 11, 2025, from https://www.telarus.com/blog/modern-satellite-connectivity-explained/

17- UNOOSA. (2013). *تطبيقات النظم العالمية لسواتل الملاحة (GNSS).* https://www.unoosa.org/pdf/icg/2013/Ed_GNSS_A_ebook.pdf

18- YouTube. (n.d.). *كيف تعمل منظومة جهاز تحديد المواقع.* YouTube. Retrieved October 11, 2025, from https://www.youtube.com/watch?v=TPGLWM8FTh8

19- الجزيرة. (2020). *"ستارلينك" .. شبكة من الأقمار الصناعية تغمر العالم بالإنترنت.* الجزيرة الوثائقية. https://doc.aljazeera.net/science/technology/2022/5/9/ستارلينك-شبكة-من-الأقمار-الصناعية-تغ

20- اليوم السابع. (25 يونيو 2021). *سبيس إكس تكشف عن موعد تحقيق تغطية عالمية الإنترنت عبر Starlink.* اليوم السابع. https://www.youm7.com/story/2021/6/25/5366631/سبيس-إكس-تكشف-عن-موعد-تحقيق-تغطية-عالمية-الانترنت-عبر

21- مجلة عالم التكنولوجيا. (n.d.). *دور الأقمار الصناعية في إغاثة ضحايا الكوارث الطبيعية.* مجلة عالم التكنولوجيا. Retrieved October 11, 2025, from https://www.tech-mag.net/دور-الأقمار-الصناعية-في-إغاثة-ضحايا-ال

المحاضرة السابعة: تكنولوجيا وسائل الإعلام السمعية البصرية في عصر التقارب الرقمي

مقدمة

إن التحول الذي يشهده مجال الاتصال السمعي البصري يمثل تحولاً بنيوياً شاملاً، يستند إلى اندماج التقنيات وتشكيل منظومات إعلامية متكاملة، وتهدف هذه المحاضرة إلى تحليل أربع تقنيات محورية (التلفزيون الذكي، تلفزيون بروتوكول الإنترنت، السينما الرقمية، والاستوديوهات الافتراضية/الواقع الممتد) ليس ككيانات منفصلة، بل كحلقات متصلة تعمل ضمن نظام حيوي متقارب.

ويشكل الاتصال السمعي البصري حقلاً يحظى باهتمام أكاديمي واسع يركز على دراسة التغييرات المستمرة في وسائل الاتصال الجماهيري، بالإضافة إلى تناول المناهج والنظريات الحديثة المرتبطة بها، ويشمل هذا الحقل تحليل العناصر الأساسية المستخدمة في إنتاج وإصدار الرسائل السمعية البصرية عبر الوسائط المتعددة، متضمناً الأمثلة التقليدية كالراديو والتلفزيون والسينما، والوسائط الجديدة مثل الإنترنت.

القسم الأول: التحول الرقمي والتقارب الإعلامي

تعتمد عملية التحول الرقمي لوسائل الإعلام السمعية البصرية على منظور نظري يطلق عليه البعض "نظرية التحول العضوي" (أمين، 2014)، حيث تفترض هذه النظرية أن وسائل الإعلام القائمة لا تتطور بمعزل عن بعضها البعض، بل تعمل كجزء من نظام حيوي متكامل، حيث يرتبط تطور كل وسيلة إعلامية بتطور الوسائل الأخرى المحيطة بها (أمين، 2014؛ جامعة سوهاج، د.ت.)، وتؤكد هذه النظرة على التشابك والتأثير المتبادل بين المنصات الإعلامية، وترفض مبدأ الحتمية التكنولوجية البسيطة (أمين، 2014).

ونتيجة لهذا التفاعل، يظهر التقارب الإعلامي كعملية حتمية، تمر بمراحل منهجية تبدأ برقمنة غرف الأخبار، وتأسيس هياكل تحريرية متخصصة لتسهيل الصحافة المندمجة مع الإنترنت، مروراً بالتكامل المادي بين غرف الأخبار التقليدية، وصولاً إلى مرحلة "الانصهار" الكامل (جامعة سوهاج، د.ت.).

هذا الانصهار التكنولوجي هو الدافع الرئيسي وراء ظهور التلفزيون الذكي، الذي نشأ عن التقارب التكنولوجي بين أجهزة الكمبيوتر وأجهزة التلفزيون (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ تلفاز ذكي، د.ت.؛ الموسوعة الحرة، د.ت.ب)، وتتضح أهمية هذا الانصهار في أن تطور التقنيات ليس تطوراً متفرقاً، بل هو نتيجة مباشرة لهذه المرحلة التي دفعت التلفزيون ليصبح جهازاً حاسوبياً والسينما لتصبح جزءاً من سلسلة توزيع رقمية متكاملة (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ الموسوعة الحرة، د.ت.ب).

القسم الثاني: التلفزيون الذكي (Smart TV)

2.1. التعريف والخصائص الوظيفية المميزة للتقارب التكنولوجي

هو أحد أبرز نتائج التقارب الإعلامي، حيث تحوّل من جهاز استقبال سلبي إلى مركز وسائط تفاعلي ذكي يوفر بوابة شخصية لتوزيع المحتوى (الموسوعة الحرة، د.ت.أ)، ويُعرّف التلفاز الذكي (Smart TV) على أنه نتاج للتقارب التكنولوجي بين أجهزة الكمبيوتر وأجهزة التلفزيون وأجهزة الاستقبال (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ الموسوعة الحرة، د.ت.ب؛ تلفاز ذكي، د.ت.).

تتيح هذه التقنية الجديدة للمشاهد إمكانية مشاهدة البرامج التلفزيونية وتصفح الإنترنت وتحميل التطبيقات في آن واحد، مما يجعله مختلفاً عن مجرد "التلفزيون عبر الإنترنت" (الموسوعة الحرة، د.ت.أ).

ويتميز التلفزيون الذكي بقدرات تفاعلية متقدمة، تشمل دعم تعدد المهام، والاستجابة للأوامر الصوتية، وإمكانية التحكم بالجهاز عبر حركات اليد (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ الموسوعة الحرة، د.ت.ب؛ تلفاز ذكي، د.ت.)، وتحوّل هذه الخصائص التلفزيون من مجرد جهاز عرض إلى مركز متكامل للتحكم والوصول إلى الخدمات الرقمية (الموسوعة الحرة، د.ت.أ).

2.2. الذكاء الاصطناعي وتخصيص تجربة المشاهدة

يلعب الذكاء الاصطناعي (AI) دوراً حاسماً في تعزيز وظائف التلفزيون الذكي، خاصة في مجال تخصيص المحتوى، حيث تستخدمه شركات كبرى مثل سامسونج وإل جي (Samsung, d.t.؛ LG, d.t.)، وتعتمد برامج الذكاء الاصطناعي في هذا السياق على أسلوب التمثيل الرمزي للمعلومات (بوابة الذكاء الاصطناعي، د.ت.).

تمتلك هذه البرامج قاعدة معرفية واسعة لربط الحالات بالنتائج، ومن خصائصها الجوهرية قدرتها على معالجة البيانات غير المؤكدة أو غير المكتملة، وإيجاد حلول في ضوئها (رضا، د.ت.؛ بوابة الذكاء الاصطناعي، د.ت.).

وتعتبر هذه القدرة على التعامل مع البيانات الناقصة أساسية لفاعلية أنظمة التوصية (Recommendation Engines) المستخدمة في المنصات الذكية نظراً لأن مشاهدة المحتوى غالباً ما تكون جزئية أو متقطعة، فإن اختيار الذكاء الاصطناعي الرمزي يضمن دقة التنبؤ بتفضيلات المشاهدين بدقة عالية حتى مع سجل مشاهدة جزئي، مما يعزز دور التلفزيون الذكي كبوابة توزيع شخصية للمحتوى (رضا، د.ت.).

3.2. الأثر الهيكلي على المحتوى و أنماط المشاهدة

أدى ظهور المنصات الإلكترونية التي تعمل على أجهزة التلفزيون الذكي إلى تغييرات هيكلية في أنماط استهلاك المحتوى. على سبيل المثال، تأثرت أنماط مشاهدة الدراما التلفزيونية بشكل كبير بصعود المنصات التي تتيح

المشاهدة عند الطلب، حيث تستخدم الأبحاث الأكاديمية المنهج شبه التجريبي لدراسة الآثار الفنية والاقتصادية لهذه المنصات على الدراما المتلفزة (سابر، 2025).

وتُعد العلاقة بين التلفزيون الذكي والمنصات تبادلية ومتبادلة: فبينما يوفر التلفزيون الذكي البنية التحتية الصلبة (Hardware) اللازمة لتشغيل التطبيقات والخدمات (الموسوعة الحرة، د.ت.أ)، توفر المنصات كميات هائلة من بيانات المشاهدة التي تغذي خوارزميات الذكاء الاصطناعي (رضا، د.ت.)، حيث يعمل هذا التفاعل على تسريع وتيرة التحول من البث الخطي التقليدي إلى نموذج التوزيع غير الخطي والمخصص.

4.2. تحديات الأمن والخصوصية:

على الرغم من المزايا التفاعلية والخدمات المخصصة، فقد واجه التلفزيون الذكي انتقادات حادة تتعلق بأمن البيانات والخصوصية، حيث أن تحويل التلفزيون إلى "كمبيوتر" متصل بشبكة الإنترنت ومزود بكاميرات وميكروفونات يرفع بشكل كبير من خطر الهجوم (Attack Surface) المحتمل في البيئة المنزلية (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ تلفاز ذكي، د.ت.)، خاصة وأنه تم اكتشاف ثغرات برمجية تسمح باختراق الجهاز ومراقبة المشاهد عبر الكاميرا المرفقة (تلفاز ذكي، د.ت.).

من أهم المخاوف التي كشفت عنها الدراسات الأكاديمية مؤخراً، هي اعتماد التلفزيونات الذكية على تقنية التعرف التلقائي على المحتوى (ACR)، وهذه التقنية التي يتم تمكينها افتراضياً، تشارك لقطات من محتوى المشاهدة مع أطراف ثالثة، حتى لو كان المحتوى يتم عرضه عبر جهاز خارجي متصل (مثل حاسوب محمول) (Mandalari et al., 2024).

وهذا ما يكشف أن التقارب التكنولوجي يفرض تكلفة خفية على المستخدم تتمثل في الخصوصية، حيث يتحول الجهاز من مجرد متلقٍ إلى جهاز مراقبة فعال للنشاط الرقمي في المنزل، وهو ما يمثل تحديا أمنيا يدفع ثمناً للتقارب التكنولوجي، ويتطلب من الشركات تجاوز مجرد تحديثات البرامج لتوفير حلول متقدمة لإدارة الخصوصية التفاعلية (الموسوعة الحرة، د.ت.أ؛ تلفاز ذكي، د.ت.).

القسم الثالث: تلفزيون بروتوكول الإنترنت (IPTV)

يمثل تلفزيون بروتوكول الإنترنت (IPTV) نموذجاً مختلفاً للتوزيع، يركز على ضمان جودة الخدمة (QoS) من خلال إدارة شبكية صارمة، مما يميزه عن خدمات البث المفرط (OTT) (ResearchGate, 2008).

1.3. تعريف IPTV ومتطلبات جودة الخدمة (QoS)

يُعد IPTV خدمة يتم نشرها غالباً من قِبل شركات الاتصالات على شبكات IP الأساسية التي تندرج تحت مفهوم "الحديقة المغلقة" (Walled Garden) (ResearchGate, 2008)، وتتميز هذه الشبكات بكونها مجهزة لضمان مستوى عالٍ من جودة الخدمة (QoS)، وسرعة تبديل القنوات، وتجربة المستخدم الممتازة (ResearchGate, 2008).

العنصر التصميمي الأساسي الذي يضمن هذه الجودة والكفاءة هو استخدام تقنية البث المتعدد عبر بروتوكول الإنترنت (IP Multicast)، وهي طريقة تسمح بإرسال حزم بيانات بروتوكول الإنترنت إلى مجموعة محددة من المستقبلين في بث واحد فعال، مما يقلل من تحميل الشبكة (الموسوعة الحرة، د.ت.ج؛ حسوب أكاديمية، د.ت.).

إن المتطلبات الصارمة لضمان جودة الخدمة (QoS-guaranteed service) هي التي تبرر الفروقات الفنية والتجارية بين IPTV وخدمات OTT المتاحة عبر الإنترنت العام، حيث يدفع المستهلك مقابل مستوى موثوقية لا توفره الشبكات العامة غير المدارة (ResearchGate, 2007).

2.3. بروتوكولات التوجيه المتعدد والهندسة الشبكية

لضمان وثوقية الخدمة وكفاءتها، تعتمد شبكات IPTV على مجموعة معقدة من البروتوكولات، تُستخدم عائلة بروتوكولات التوجيه المتعدد المستقل عن البروتوكول (Protocol Independent Multicast – PIM) لتوجيه رزم البث المجموعاتي بكفاءة (الموسوعة الحرة، د.ت.د)، وتتطلب بيئات IPTV ذات حركة المرور العالية وحركية العقد الكبيرة بروتوكولات توجيه قادرة على التعامل مع هذه التحديات (Tishreen University Journal, 2021).

3.3. آليات حجز الموارد وإدارة التدفق

يتطلب تصميم نظام IPTV للبث المتعدد على شبكات النقل الأساسية استخدام خوارزميات حجز الموارد لتأمين النطاق الترددي ومساحات التخزين المؤقت في كل موجّه ضمن شجرة البث المتعدد (ResearchGate, 2007).

وتشمل هذه الخوارزميات بروتوكول حجز الموارد (RSVP) ونماذج الخدمات المتكاملة (IntServ) أو الخدمات المتمايزة (DiffServ) (Cisco, d.t.؛ NetworkLessons, d.t.؛ ResearchGate, 2007)، حيث يُعد DiffServ أكثر قابلية للتوسع في الشبكات الكبيرة مقارنة بـ IntServ، الذي يتطلب من كل موجّه في المسار التفاوض والحفاظ على حالة الحجز لكل تدفق (Cisco, d.t.).

ولمعالجة الاهتزاز (Jitter) المتبقي في الشبكة (وهو التباين في تأخير وصول حزم البيانات المتتابعة)، يتم تطبيق إدارة صارمة للتدفق (ResearchGate, 2007)، حيث يتم تشكيل حركة مرور IPTV عند المصادر (Head-end) باستخدام آليات مخصصة لتقليل التكتل (Burstiness) الأولي للبيانات. وفي الوجهات (أجهزة الاستقبال أو Set-Top Boxes)، تُستخدم قوائم انتظار التشغيل (Playback Queues) لإزالة الاهتزاز المتبقي، مما يضمن إعادة بناء تدفقات الفيديو الأصلية بتأخير واهتزاز "صفري جوهرياً" وبجودة خدمة مثالية (ResearchGate, 2007).

القسم الرابع: السينما الرقمية (Digital Cinema)

أحدثت التكنولوجيا الرقمية ثورة في صناعة السينما، متجاوزة التحسينات اللوجستية لتصل إلى إعادة تعريف الجماليات والسرد البصري (University of Bhopal, d.t).

1.4. إعادة تشكيل سلسلة القيمة الإعلامية: التحول اللوجستي والاقتصادي

لقد حسنت التقنية موارد صناعة الأفلام في جميع المراحل، بما في ذلك الإنتاج، والتحرير، والتوزيع كما سهلت الرقمنة بشكل كبير عمليات ما بعد الإنتاج (Post-production)، ووفرت التكاليف والجهد المرتبط بالتعامل مع الفيلم السلبي (Negative Film) وعمليات التوزيع المادي التقليدية، ولا يقتصر هذا التحول على الكفاءة الاقتصادية فحسب، بل يمثل إعادة تشكيل شاملة لسلسلة القيمة الإعلامية بأكملها (University of Bhopal, d.t).

2.4. الأثر الجمالي على التعبير السينمائي ونضج الأنواع الفنية

إلى جانب الفوائد اللوجستية، منحت التكنولوجيا الرقمية حيوية جديدة لجميع أشكال الفن السينمائي وعززت "تعبير" الأفلام بشكل كبير، حيث كان للتطور الرقمي دور أساسي في نضج أنواع سينمائية تعتمد بشكل مكثف على المؤثرات المرئية، مثل أفلام الخيال العلمي، والفنتازيا، وأفلام الكوارث (University of Bhopal, d.t).

إن استخدام التقنيات الحديثة مكّن المخرجين من محاكاة واقع غير مادي أو ميتافيزيقي بدقة تفصيلية لم تكن ممكنة من قبل (ناجي، 2020)، حيث أن هذا التوسع في النطاق المعرفي والفلسفي للواقع المصوّر يشير إلى أن الرقمنة وسعت النطاق الجمالي والفكري للسينما.

ويصف ناجي (2020) الأثر الجمالي بأن العالم الخيالي أصبح "أكثر وضوحاً بشكل متزايد، وراقياً، وغامضاً، وغير حقيقي" (ناجي، 2020)، بمعنى أن هذا التحول يؤكد أن السينما الرقمية لم تعد مجرد وسيط لتسجيل الواقع،

بل وسيط لخلق واقع متخيل وتقديمه بأدوات توفر مرونة عالية في التعبير البصري (ناجي، 2020؛ الأسدي، د.ت.).

القسم الخامس: الاستوديوهات الافتراضية والو اقع الممتد (XR)

تمثل الاستوديوهات الافتراضية (VP) ذروة التقارب في مجال الإنتاج، حيث تعتمد على تقنية الواقع الممتد لتقديم مفهوم "الإنتاج الرقمي في الوقت الحقيقي" (Radiant, 2020).

1.5. تصنيف مكونات الو اقع الممتد (XR) والتطبيق الأنسب للإنتاج

ويُعد الواقع الممتد (Extended Reality - XR) مصطلحاً جامعاً يشمل الواقع الافتراضي (VR)، والواقع المعزز (AR)، والواقع المدمج (MR) (جامعة بغداد، د.ت.؛ Arm Newsroom, 2024؛ ETSI, d.t؛ Baianat, d.t.).

1- **الو اقع الافتراضي (VR):** هو بيئة افتراضية بشكل كامل تغمر المستخدم وتتطلب حجب محيطه الفعلي (جامعة بغداد، د.ت.؛ ETSI, d.t؛ Baianat, d.t.).

2- **الو اقع المعزز(AR):** يعرض محتوى رقمياً مركباً على الواقع الفعلي، ولكنه يفتقر إلى التفاعل العميق مع البيئة المادية (جامعة بغداد، د.ت.؛ ETSI, d.t؛ Baianat, d.t.).

3- **الو اقع المدمج (MR):** هو دمج للواقع الافتراضي مع الواقع الحقيقي، ويتميز بالقدرة على التفاعل بين العناصر الرقمية والبيئة الفعلية المحيطة في الوقت الفعلي (جامعة بغداد، د.ت.؛ ETSI, d.t.)، ويعتبر هذا المفهوم الأخير، أي التفاعل بين الافتراضي والحقيقي، الأكثر صلة بتطبيقات الإنتاج الافتراضي في الاستوديوهات (جامعة بغداد، د.ت.).

2.5. منهج الإنتاج الافتراضي (VP) باستخدام جدران LED: التحول من الشاشة الخضراء

شهدت الصناعة تحولاً كبيراً مع هيمنة مفهوم الإنتاج الافتراضي القائم على جدار خلفية (LED Studio) (Virtual Production - VP)ن ويُعرّف هذا المنهج على أنه "إنتاج رقمي في الوقت الحقيقي" (Radiant, 2020)، إذ يتم في هذا النظام استبدال الشاشات الخضراء التقليدية بشاشات LED، حيث تُعرض الخلفيات والمؤثرات البصرية الديناميكية في الوقت الفعلي ومباشرة على المجموعة (Radiant, 2020؛ YuChip, d.t؛ LED Manufacturer, d.t.)، ويسمح هذا الجمع بين تقنية XR وشاشة LED ببناء جسر بين العالمين الافتراضي والحقيقي، مما يقلل بشكل كبير من الاعتماد على مراحل ما بعد الإنتاج المعقدة (Radiant, 2020؛ YuChip, d.t.).

3.5. المزايا التشغيلية والفنية لتقنية VP

توفر تقنية VP مزايا تشغيلية وفنية جوهرية، أبرزها:

1- **تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل التكاليف:** توفر استوديوهات VP مرونة لوجستية عالية، إذ يمكن تصوير مشاهد مختلفة (مثل غابة أو جبال ثلجية) داخل استوديو داخلي واحد باستخدام محرك التقديم (Rendering Engine)، مما يلغي الحاجة إلى السفر والتصوير الخارجي المكلف (Radiant, 2020)، وتعمل الاستوديوهات وفق مبدأ "ما تراه هو ما تحصل عليه" (WYSIWYG) (Radiant, 2020؛ WYSIWYG, 2022)، حيث يمكن للمنتج تعديل محتوى المشهد في الوقت الفعلي أثناء التصوير، مما يقلل من دورة الإنتاج الكلية ويوفر في أجور الممثلين ونفقات الموظفين (Radiant, 2020؛ Wang, 2024).

2- **جودة الإضاءة وواقعية الأداء:** تحل شاشة LED الخلفية مشكلة الإضاءة غير الواقعية التي تنتج عن الشاشة الخضراء، حيث توفر مصدر ضوء حقيقي وتأثيرات إضاءة وظلال دقيقة للألوان (Radiant, 2020؛ YuChip, d.t؛ LED Manufacturer, d.t.)، والأهم من ذلك أن توفير هذه الإضاءة الواقعية يسمح للممثلين بالأداء داخل فضاء غامر وتجربته مباشرة، مما يجعل الأداء أكثر واقعية وطبيعية (Radiant, 2020؛ WYSIWYG, 2022)، وهذا يوضح أن التكنولوجيا الجديدة لم تسعَ لزيادة السرعة فحسب، بل لتصحيح عيوب جوهرية في الجماليات وأداء الممثلين التي كانت موجودة في طريقة الشاشة الخضراء التقليدية، يوضح الجدول التالي تصنيفات التقنيات المندرجة تحت مظلة الواقع الممتد (XR):

الجدول رقم (14): تصنيف تقنيات الواقع الممتد (XR) وتطبيقاتها في الإنتاج الإعلامي

التقنية	الاختصار	طبيعة العلاقة بالواقع	التطبيق في الإنتاج السمعي البصري (مثال)
الواقع الافتراضي	VR	بيئة افتراضية بشكل كامل	محاكاة البيئات المغلقة للتصوير (جامعة بغداد، د.ت.).
الواقع المعزز	AR	محتوى رقمي مركب على الواقع الفعلي	عرض بيانات بيانية ثلاثية الأبعاد في نشرات الأخبار (جامعة بغداد، د.ت.).
الواقع المدمج	MR	دمج الواقع الافتراضي مع الحقيقي (تفاعلي)	تفاعل الممثلين مع كائنات رقمية في استوديو VP (جامعة بغداد، د.ت.).
الواقع الممتد	XR	مظلة جامعة	الإنتاج الافتراضي (Radiant, 2020) (LED Studio VP).

خلاصة المحاضرة:

يمثل التحول في تكنولوجيا وسائل الإعلام السمعية البصرية عملية "انصهار" متكاملة، حيث تتشابك التقنيات الأربع محور الدراسة لخدمة سلسلة قيمة إعلامية موحدة، ولا يمكن فهم هذا المشهد بتحليل كل تقنية بمعزل عن الأخرى، بل يجب النظر إليها كنظام حيوي متكامل.

تبدأ العملية بـ الاستوديوهات الافتراضية (VP/XR) التي تنتج المحتوى بفعالية، وتوفر واقعية فنية عالية بفضل الإضاءة المباشرة والأداء الغامر، مما يقلل الاعتماد على ما بعد الإنتاج.
وتتبنى **السينما الرقمية** هذه المخرجات الإنتاجية لتعزيز التعبير الجمالي وتوسيع النطاق الفلسفي للواقع المصوّر، مع الاستفادة من التسهيلات اللوجستية والاقتصادية للرقمنة.
في حين يضمن تلفزيون بروتوكول الإنترنت (IPTV) توصيل هذا المحتوى عالي الجودة بجودة خدمة فائقة ومضمونة (QoS)، من خلال شبكات مُدارة تعتمد على طوبولوجيا متقدمة مثل الشبكة.
وأخيراً، يوفر التلفزيون الذكي (Smart TV) البوابة التفاعلية والشخصية (AI-driven) للمستهلك النهائي، مقدماً نموذج توزيع تكيفي يتكيف مع تفضيلات المشاهدة الفردية.

وتشير الآفاق المستقبلية إلى أن الفروقات بين الوسائل ستصبح غير واضحة بشكل متزايد، مع هيمنة نماذج الإنتاج في الوقت الحقيقي والواقع الممتد على الصناعة الإعلامية.

المراجع:

1- أمين، ر. ع .(2014) .*الإعلام الجديد* .دار الفجر للنشر والتوزيع.

2- الأسدي، ع. (د.ت.) .*ملخص: أثر التكنولوجيا الرقمية على صناعة الأفلام* .تم استرجاعه من https://asjp.cerist.dz/en/downArticle/158/10/2/239815

3- باينت. (د.ت.) .*نبذة مختصرة عن الواقع الممتد XR.* تم استرجاعه من https://www.baianat.com/ar/articles/getting-started-with-extended-reality

4- بوابة الذكاء الاصطناعي. (د.ت.) .*ما هو الذكاء الاصطناعي الرمزي؟* تم استرجاعه من https://bawabaai.com/ما-هو-الذكاء-الاصطناعي-الرمزيُ-اكتشف-أ/

5- بيرتشام الدولية. (د.ت.) .*الاتصال السمعي البصري* .جامعة بيرتشام الدولية. تم استرجاعه من https://www.bircham.me/audiovisual-communication.html

6- تلفاز ذكي. (د.ت.) .*تلفاز ذكي* .تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/تلفاز_ذكي

7- جامعة بغداد. (د.ت.) .*الفرق بين الواقع الممتدXR ، الواقع الافتراضيVR ، والواقع المعززAR ، والواقع المدمج MR.* مركز الحاسبة الإلكترونية. تم استرجاعه من https://cc.uobaghdad.edu.iq/?p=15725

8- جامعة سوهاج. (د.ت.). *مقترح خطة بحث مقدم لنيل درجة الدكتوراه في الآداب – قسم الإعلام – شعبة الإعلام*. تم استرجاعه من https://art.sohag-univ.edu.eg/main/wp-content/uploads/2023/03/qwqw.pdf

9- حسوب أكاديمية. (د.ت.). *البث المتعدد Multicast الفعال على شبكة بحجم شبكة الإنترنت*. تم استرجاعه من https://academy.hsoub.com/devops/networking/البث-الفعال-على-شبكة-بحجم-شبكة-الإنترنت/r505-

10- رضا، ح. ع. ن. (د.ت.). *دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال التلفزيون لدعم التعليم*. جامعة بغداد. تم استرجاعه من https://events.uobaghdad.edu.iq/event/8761/attachments/6376/11821/دور-تقنيات-الذكاء-الاصطناعي-في-مجال-التلفزيون-لدعم-التعليمdrhussien-ali-noor.docx-

11- سابر، ل. ف. (2025). *المنصات الرقمية وأثرها على الدراما التلفزيونية*. مجلة التراث والتصميم. تم استرجاعه من https://jsos.journals.ekb.eg/article_269814_63029567bbb3aced6978af5cccfebf1e.pdf

12- مركز الجزيرة للدراسات. (2016). *تنظيم الإعلام السمعي البصري العربي: ضوابطه القانونية والسياسية*. تم استرجاعه من https://studies.aljazeera.net/ar/mediastudies/2016/10/161027083826459.html

13- المجلس الأعلى للحسابات. (2015). *التقرير السنوي للمجلس الأعلى للحسابات برسم سنة 2015*.

14- الموسوعة الحرة. (د.ت.أ). *التلفاز الذكي*. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/تلفاز_ذكي

15- الموسوعة الحرة. (د.ت.ب). *تلفاز ذكي (في مرجع معرفة)*. تم استرجاعه من https://www.marefa.org/تلفاز_ذكي

16- الموسوعة الحرة. (د.ت.ج). *البث المتعدد عبر بروتوكول الإنترنت*. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/البث_المتعدد_عبر_بروتوكول_الإنترنت

17- الموسوعة الحرة. (د.ت.د). *البث المجموعاتي المستقل عن بروتوكول التوجيه*. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/البث_المجموعاتي_المستقل_عن_بروتوكول_التوجيه

18- ناجي، أ. (2020). *دور المصور في صناعة الأفلام والألعاب الرقمية والهواتف الذكية (رسالة ماجستير غير منشورة)*. جامعة حلوان، مصر. تم استرجاعه من https://www.researchgate.net/publication/344890307

19- وزارة الاتصال (المغرب). (2005). *قانون رقم 03-77 يتعلق بالاتصال السمعي البصري (ظهير شريف رقم 1.04.257)*. تم استرجاعه من https://mjcc.gov.ma/wp-content/uploads/2022/01/Loi0377ComAudioVis_AR.pdf

20- Arm Newsroom. (2024). *XR, AR, VR, MR: What's the difference in reality?* Retrieved from https://newsroom.arm.com/blog/xr-ar-vr-mr-difference

21- Cisco. (n.d.). *QoS architecture models: IntServ vs. DiffServ.* Retrieved from https://learningnetwork.cisco.com/s/question/0D53i00000KsqtXCAR/qos-architecture-models-intserv-vs-diffserv

22- ETSI. (n.d.). *eXtended reality (XR).* Retrieved from https://www.etsi.org/images/files/ETSITechnologyLeaflets/eXtended-Reality.pdf

23- LED Manufacturer. (n.d.). *ما هو الإنتاج الافتراضي لجدار الفيديو LED*؟ تم استرجاعه من https://www.led-display-manufacturer.com/ar_qa/إنتاج-افتراضي-لجدار-الفيديو-في-صناعة-led/

24- LG. (n.d.). *LG AI.* Retrieved from https://www.lg.com/ae_ar/tvs-soundbars/ai-tv

25- Mandalari, A., et al. (2024). *Smart TV tracking raises privacy concerns.* UCL News. Retrieved from https://www.ucl.ac.uk/news/2024/nov/smart-tv-tracking-raises-privacy-concerns

26- NetworkLessons. (n.d.). *Introduction to RSVP.* Retrieved from https://networklessons.com/quality-of-service/introduction-to-rsvp

27- Radiant. (2020). *إنتاج الاستوديوهات الافتراضية LED.* تم استرجاعه من https://www.szradiant.com/ar/news/led-studio-virtual-production-depth-technology/

28- ResearchGate. (2007). *Design of an IPTV multicast system for Internet backbone networks.* Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/220657336

29- ResearchGate. (2008). *Typical multicast IPTV service architecture.* Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Typical-multicast-IPTV-service-architecture_fig1_234781604

30- Samsung. (n.d.). *تلفزيون يعمل بالذكاء الاصطناعي بدقة 8K.* تم استرجاعه من https://www.samsung.com/iq_ar/tvs/8k-tv/highlights/

31- Tishreen University Journal. (2021). *بروتوكول توجيه بث مجموعاتي قادر على التعامل مع مستويات عالية من حركية العقد.* تم استرجاعه من https://journal.latakia-univ.edu.sy/index.php/engscnc/article/download/10832/10378/41650

32- University of Bhopal. (n.d.). *The influence of digital technology on film production and distribution.* Retrieved from https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2306628.pdf

33- Viswanath, K., Lee, S., & Im, S. (2006). *Exploring mesh and tree-based multicast routing protocols for MANETs. IEEE Transactions on Mobile Computing, 5*(1), 29–41.

34- Wang, Y. (2024). *Virtual production extended (VPX): The evolution of digital filmmaking.* MDPI. Retrieved from https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2530

35- WYSIWYG. (2022). *LED screen rentals for virtual production.* Retrieved from https://wysiwyg.hk/

36- YuChip. (n.d.). *كيف تعمل شاشة LED للإنتاج الافتراضي؟* تم استرجاعه من https://www.yuchip-led.com/ar/كيف-تعمل-شاشة-led-الافتراضي-للإنتاج/

المحاضرة الثامنة: التطور التكنولوجي للشبكة العنكبوتية العالمية (Web 1.0 إلى Web 4.0)

مقدمة

شهدت الشبكة العنكبوتية العالمية (WWW) تحولاً عميقاً منذ نشأتها، وهو تحول تجاوز مجرد التحديثات التقنية ليصبح تغييراً جذرياً في طبيعة إنتاج المعلومات واستهلاكها وملكيتها، وعليه فإن دراسة تطور هذه الأجيال الأربعة المتعاقبة، من Web 1.0 إلى Web 4.0، تعد أمراً بالغ الأهمية من منظور علوم المعلومات لفهم كيفية إعادة تعريف العلاقة بين المستخدم والبيانات والسلطة الرقمية، وهذا التطور يحدد الويب كنظام معلومات ديناميكي شهد تحولات جوهرية أثرت على طريقة التفاعل مع المحتوى.

القسم الأول: سياق التحول وتحديات السلطة الرقمية

الفرضية الأكاديمية المطروحة في هذا التحليل هي أن هذا المسار التطوري يسعى بشكل أساسي إلى تقليل الاعتماد على النقطة المركزية، والانتقال من الشفافية الجزئية التي سادت في النماذج السابقة إلى الثقة غير الوسيطة والملكية المباشرة للمحتوى، ويُعد هذا الانتقال من النظام المركزي المسيطر عليه من قبل الوسطاء إلى نظام لامركزي يتمحور حول المستخدم، الأساس البنيوي لـ Web 3.0 (Abrol, 2022).

إن الدافع وراء هذا التحول لا يقتصر على الابتكار التقني البحت، بل هو استجابة مباشرة لتحديات السيطرة المركزية ونقص ملكية المستخدم للبيانات الشخصية التي تفاقمت في الجيل الثاني، وبالتالي فإن النجاح في Web 3.0 وما يليه لا يُقاس فقط بمدى قدرة التكنولوجيا على تحقيق سرعات أو واجهات أفضل، ولكن بمدى قدرتها على إعادة توزيع السلطة الاقتصادية والقانونية، علما أن الفشل في معالجة مسألة الملكية في النماذج السابقة أدى إلى ظهور متطلب جديد يتمثل في الثقة اللامركزية كأولوية في تطوير الأجيال اللاحقة.

القسم الثاني: مراحل التطور الأولي

1.2. الويب 1.0:

يمثل الجيل الأول للشبكة العنكبوتية، Web 1.0، المرحلة التأسيسية التي عُرفت أكاديمياً باسم "ويب القراءة فقط" (Read-Only Web)، وقد تميزت هذه المرحلة بالاعتماد على صفحات HTML الثابتة (Static HTML) التي نادراً ما كانت تُحدَّث، فكان نموذج التفاعل يقتصر فيه المستخدمون على دور "المستهلكين" السلبيين للمعلومات، مع انخفاض ملحوظ في التفاعلية، وكانت الروابط التشعبية هي الآلية الأساسية للتنقل (خليل إبراهيم، 2021)، وبالتالي فإن المفهوم السائد للإنترنت في تلك الفترة كان أنه مجرد "مصدر للمعلومات" (جامعة صحار، د. ت).

2.2 الويب 2.0: عصر المشاركة الاجتماعية ونتائجها البنيوية

ظهر مصطلح "ويب 2.0" أول مرة في دورة نقاش بين شركة أوريلي ميديا ومجموعة ميديا لايف في مؤتمر تطوير الويب عام 2003، ثم انتشر هذا المفهوم في مؤتمر Reilly'O لعام 2005 (جامعة صحار، د. ت)، وقدّم O'Reilly (2005) هذا المفهوم كنموذج تصميم للأعمال والجيل التالي من البرمجيات.

ومثّل هذا الجيل تحولاً جذرياً في النموذج المفاهيمي؛ فقد تحول الإنترنت من مجرد مصدر للمعلومات إلى ما يمكن وصفه بأنه "مصنع للمعلومات التفاعلية"، وهذه هي السمة الجوهرية لـ Web 2.0 أي المشاركة الاجتماعية، حيث أصبح الويب للقراءة والكتابة (Read-Write Web) بدلاً من القراءة فقط (جامعة صحار، د. ت)، حيث أصبح المستخدمون هم من يصنعون المحتوى ويضيفون ويعدلون ويعلقون بسهولة، بفضل أنظمة إدارة المحتوى المتقدمة والخدمات المستضافة.

وعلى الرغم من أن Web 2.0 عزز التفاعلية والمشاركة، فإن نموذج الخدمات المستضافة أدى بشكل مباشر إلى تركيز غير مسبوق للبيانات والملكية في أيدي عدد محدود من شركات التكنولوجيا الكبرى، وهذا التركيز للسلطة ولّد نقصاً في الملكية والتحكم في البيانات الشخصية، وشكّل الأساس المنطقي للانتقال إلى Web 3.0، الذي يسعى لحل مشكلة المركزية المفرطة.

3.2. مقارنة أجيال الويب (1.0 إلى 4.0)

يمكن تلخيص تطور أجيال الويب الأربعة بناءً على خصائصها الأساسية ونموذج التفاعل الذي توفره:

الجدول رقم (14): مقارن لأجيال شبكة الانترنت (Web 1.0 - Web 4.0)

الجيل (Web)	الخاصية الأساسية	التركيز الجوهري	نموذج التفاعل
Web 1.0	الثبات والمركزية	استهلاك المعلومات	قراءة فقط (Passive Consumption)
Web 2.0	التفاعلية والمشاركة	إنتاج المحتوى الاجتماعي	قراءة وكتابة، مركزة البيانات لدى المنصات
Web 3.0	الذكاء واللامركزية	الملكية والتحقق غير الوسيط	آلي ومخصص (Semantic, Trustless)
Web 4.0	التكافلي والاندماج	الوجود المطلق (Ubiquity)	التفاعل البشري-الآلي (Symbiotic)

القسم الثالث: الويب 3.0:

يمثل الويب 3.0 الخطوة التالية في تطوير الإنترنت، ويقوم على ثلاثة مبادئ أساسية: اللامركزية والانفتاح وزيادة فائدة المستهلك (Investing.com, n.d)، ولا يهدف هذا الجيل إلى تحسين سرعة أو شكل الواجهات فحسب، بل يهدف إلى تغيير طريقة تفاعل الآلة مع البيانات، ودمج هذه البيانات في بنية تحتية لامركزية ومملوكة للمستخدمين.

1.3. الويب الدلالي (Semantic Web):

إن الرؤية الأصلية لـ Web 3.0، التي صاغها تيم بيرنرز لي، كانت تتمحور حول مفهوم الويب الدلالي (Semantic Web)، حيث تصور Berners-Lee et al. (2001) إنترنتاً ذكياً ومكتفياً ذاتياً يعمل كـ "عقل عالمي"، قادراً على تفسير المحتوى من الناحية المفاهيمية والسياقية، وهذا التطور في التكنولوجيا يُمكّن من معالجة المواد وربطها بناءً على فهم الكلمات ودلالاتها، بدلاً من الاعتماد على الأرقام والكلمات المفتاحية البسيطة (Investing.com, n.d).

ومع ذلك، لم تتحقق النسخة المثالية للويب الدلالي بالكامل بعد بسبب القيود التكنولوجية المتعلقة بصعوبة وتكلفة ترجمة اللغة البشرية المعقدة إلى لغة مفهومة آلياً (Investing.com, n.d)، وعلى الرغم من هذه القيود يوفر الويب الدلالي الذكاء اللازم لـ Web 3.0، بينما توفر تقنية البلوك تشين الثقة اللازمة للامركزية.

ولتمكين الآلة من فهم البيانات، يعتمد الويب الدلالي على هيكلية محددة تتجاوز الـ HTML. تشمل هذه المكونات الرئيسية:

1- **البيانات الوصفية (Metadata):** توفر معلومات عن البيانات نفسها، وهي ضرورية لتصنيف الموارد رقمياً، مما يساهم في اكتشاف الموارد بفعالية (Actian Data Platform, n.d).

2- **إطار وصف الموارد (RDF):** هو نموذج بيانات أساسي في تطوير الويب الدلالي، حيث يصف الموارد باستخدام معرفات الموارد الموحدة (URIs)،ويضمن استخدام URIs تحديداً فريداً وعالمياً لكل مورد، مما يسهل دمج مصادر البيانات التي أُنشئت بشكل مستقل (Semanticscholar, n.d).

3- **لغة الأنطولوجيا (OWL):** تُبنى الأنطولوجيا فوق إطار RDF، وتوفر لغة لوصف الفئات والخصائص والتسلسلات الهرمية، مما يسمح للآلة بفهم العلاقات المنطقية والسياقية بين البيانات، وبالتالي تمكين الفهم المفاهيمي (TDM Lab, n.d).

2.3. دورالذكاء الاصطناعي في تحقيق الفهم السياقي

يُستخدم الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) بشكل فعال في الجيل الثالث للشبكة ليصبح الويب أكثر ذكاءً وأكثر تقبلاً لمتطلبات المستخدم (Investing.com, n.d)، عندما تقترن خوارزميات الذكاء الاصطناعي بمعالجة اللغة الطبيعية (NLP)، تكون النتيجة نظاماً حاسوبياً قادراً على ترجمة ما يكتبه المستخدم أو يقوله بدقة، وفهم النوايا والتفضيلات، مما يتيح تقديم محتوى أكثر تخصيصاً (Investing.com, n.d).

إن هذا الفصل في وظائف Web 3.0 يمثل نموذجاً جديداً حيث تم تفكيك الثقة والفائدة. يوفر الذكاء (الويب الدلالي والذكاء الاصطناعي) الفائدة المتمثلة في التخصيص والفهم السياقي، بينما توفر تقنية البلوك تشين الثقة اللازمة للتحقق من ملكية البيانات وحمايتها، وهذا يشير إلى أن طبقة المعنى (Semantic Layer) في الإنترنت أصبحت منفصلة عن طبقة التوثيق (Blockchain Layer)، مما ينتج إنترنتاً ذكياً يملك فيه المستخدم أصوله الرقمية.

القسم الرابع: تقنية البلوك تشين

في حين أن الويب الدلالي يوفر الذكاء، فإن تقنية البلوك تشين توفر الثقة والملكية واللامركزية الضرورية لنجاح Web 3.0.

1.4. اللامركزية كنموذج هيكلي

يُعرَّف البلوك تشين على أنه "سجل رقمي لامركزي من المعاملات المشتركة عبر شبكة غير قابلة للتغيير" (MEWC, n.d)، بحيث تتيح هذه التقنية للأطراف التعامل مباشرةً مع بعضها البعض دون الحاجة إلى وسطاء (Cryptokap, 2023)،ويكون الهدف الأساسي من اللامركزية هو إلغاء التحكم المركزي؛ فلا يوجد مالك واحد للبيانات، بل يملكها الجميع عبر شبكة موزعة. هذا النموذج الهيكلي يقلل من احتمالية حدوث "فشل ذريع" (Single Point of Failure) ويحسن من توزيع الموارد (Amazon Web Services, n.d).

وتضمن اللامركزية عبر البلوك تشين النزاهة والملكية غير القابلة للإنكار؛ فبينما يمكن للأنظمة المركزية أن تدعي الشفافية، يوفر البلوك تشين نزاهة متأصلة، حيث لا يمكن لكيان واحد تغيير السجلات بأثر رجعي (MEWC, n.d).

2.4. تحليل آليات التحقق والإجماع (Consensus Mechanisms)

يعتمد عمل البلوك تشين على تسجيل المعاملات ككتلة بيانات، ثم التحقق من صحتها والموافقة عليها من أغلب المشاركين في الشبكة. بعد ذلك، يتم ربط كل كتلة جديدة بشكل تشفيري بالكتلة التي تسبقها، مما يخلق "مسار تدقيق غير قابل للتغيير" (Mexc Blog, n.d).

وتختلف آليات الموافقة هذه بناءً على نوع شبكة البلوك تشين:

1- **إثبات العمل (Proof of Work - PoW):** تعتمد على المعدِّنين وتتطلب طاقة مرتفعة لحل المشكلات الحسابية.

2- **إثبات الحصة (Proof of Stake - PoS):** تعتمد على المدقِّقين الذين يتم اختيارهم بناءً على حصتهم المملوكة وتتميز بكفاءة طاقة أعلى وسرعة أكبر (Cryptokap, 2023).

ويُظهر التحليل التقني لهذه الآليات أن اختيار آلية الإجماع يمثل معضلة كبرى، فعلى الرغم من أن PoS يتمتع بكفاءة طاقة أعلى بكثير من PoW، إلا أنه يواجه تحديات تتعلق بتركيز ملكية الرموز المميزة، حيث يتمتع أصحاب الحصص الكبيرة بسلطة أكبر في التحقق من المعاملات (Mahmood et al., 2023).

وهذا يطرح تناقضاً جوهرياً: فهل يمكن تحقيق اللامركزية الهيكلية (إزالة الوسطاء التقنيين) دون الوقوع في اللامركزية الاقتصادية (تركيز السلطة المالية)؟ إن تفضيل PoS على PoW هو مقايضة براغماتية بين الأمان والاستدامة، ولا يحل بالضرورة مشكلة السيطرة المركزية الكامنة (Musilek, 2021 & Lashkari).

3.4. العقود الذكية: الوساطة الذاتية

تعد العقود الذكية (Smart Contracts) من أهم تطبيقات البلوك تشين في Web 3.0، وهي برامج مخزنة على سلسلة الكتل تعمل وتُنفَّذ تلقائيًا عندما يتم استيفاء شروط محددة سابقًا، وتعمل بآلية التحقق من نوع "إذا/حينئذٍ" (if-then) (Mexc Blog, n.d).

وتلغي العقود الذكية الحاجة إلى الاعتماد على مؤسسة مركزية، سواء كانت بنكًا أو جهة قانونية، للحفاظ على سلامة البيانات وتنفيذ الاتفاقيات (Investing.com, n.d)، بحيث يمثل هذا الانتقال تحولاً جوهرياً من الاعتماد على مؤسسات تقليدية إلى الاعتماد على الكود نفسه كـ "قانون" ينفذ ذاتياً، في حين أن هذا يسرّع المعاملات ويزيل التكاليف الإدارية، فإنه يثير تحديات قانونية وأخلاقية عميقة تتعلق بإدارة الكود إذا احتوى على ثغرات أو أدى إلى نتائج غير مقصودة، مما يستلزم تطوير أطر حوكمة لامركزية (DAOs) لإدارة البلوك تشين نفسه (IMF, 2022).

القسم الخامس: تطبيقات التحول الجذري

يُمثل الإعلام اللامركزي نقلة نوعية من نموذج "منصات الاستهلاك" (Web 2.0) إلى "بروتوكولات التوزيع والملكية" (Web 3.0)، فقد غيّرت تقنية البلوك تشين المعادلة الاقتصادية للمحتوى الرقمي جذرياً.

1.5. حماية الملكية الفكرية والأصول الرقمية

من خلال دمج العقود الذكية والبلوك تشين، يمكن الآن تسجيل ملكية الأصول الرقمية، حيث تتيح تقنية البلوك تشين للمستهلكين إنتاج سلع رقمية ورموز غير قابلة للاستبدال (NFTs) على الفور، والتي تعمل على حماية الملكية الفكرية (Investing.com, n.d).

ويعزز هذا النموذج قدرة الفنانين وصناع المحتوى على التعامل مباشرة مع جمهورهم دون وسطاء، مما يدعم ظهور اقتصاد المبدعين (Creator Economy) اللامركزي، ويُعد هذا تحولاً اقتصادياً من نموذج قائم على الإعلانات والبيانات المركزية إلى نموذج قائم على الأصول الرقمية المميزة (Tokenization).

2.5. الشفافية وقابلية التتبع الممتدة

تُسجَّل كل معاملة على دفتر أستاذ موزع، مما يخلق مسار تدقيق غير قابل للتغيير لملكية المحتوى وتوزيعه (Mexc Blog, n.d). وتمتد هذه الشفافية إلى ما هو أبعد من مجالات العملات الرقمية والإعلام، فعلى سبيل المثال تُستخدم تقنية البلوك تشين لتتبع البضائع في سلاسل التوريد، حيث تستخدم شركات مثل IBM وWalmart التقنية لمراقبة سلامة الغذاء (Equiti, n.d)، كما يمكن استخدامها لتخزين سجلات الملكية العقارية بشكل آمن وسريع، مما يقلل الوقت والتكاليف المرتبطة بالتحقق من الأطراف الثالثة (Mexc Blog, n.d).

3.5. مز ايا الإعلام اللامركزي

يوفر الإعلام اللامركزي منصة حيث يمتلك المستخدمون محتواهم وبياناتهم، مما يحل المشكلة الأساسية لـ Web 2.0 حيث كانت القيمة التي ينتجها المستخدمون تستحوذ عليها المنصات المركزية، بالإضافة إلى تمكين المستخدم تزداد مقاومة الشبكة للاختراق والتلاعب مع زيادة عدد أعضائها في النموذج اللامركزي على عكس الأنظمة المركزية التي تحتوي على نقطة عطل مفردة (Amazon Web Services, n.d)، كما أن أتمتة العمليات من خلال العقود الذكية تسرّع من إتمام المعاملات وتقلل التكاليف الإدارية، خاصة في المعاملات العابرة للحدود (Mexc Blog, n.d).

القسم السادس: الويب 4.0

يمثل الويب 4.0 المرحلة القادمة، التي تركز على دمج الذكاء الاصطناعي مع الواقع المادي، مما يخلق شبكة محيطية وذكية بشكل مستمر.

1.6. التعريف والخصائص:

يُنظر إلى الويب 4.0 على أنه ثورة تكنولوجية تشمل إنترنت أشياء جديد يتفاعل مع نماذج متنوعة، ويُعرَّف بأنه شبكة ذكية وتكافلية تتميز بالتفاعل العميق بين الإنسان والآلة (Human-Machine Interaction)، والوجود المطلق (Ubiquitous Presence)، والاتصال الفوري (خليل إبراهيم، 2021)، وفي هذا الجيل تتجاوز قدرة الويب مجرد التخصيص على الشاشة لتصل إلى الاستجابة الفورية والذكية للبيئة المحيطة، بحيث تشكل نتيجة حتمية لدمج الذكاء الاصطناعي (الذي تطور في Web 3.0) مع الوجود المطلق لإنترنت الأشياء.

2.6. دمج إنترنت الأشياء (IoT) والو اقع المعزز

إنترنت الأشياء (IoT) نظام من الأجهزة المترابطة المتصلة بالشبكة، والتي تتبادل البيانات دون الحاجة بالضرورة إلى التفاعل المباشر من إنسان لآخر (Amazon Web Services, n.d)، وفي سياق الويب 4.0 يتم تجميع البيانات المتولدة من الأجهزة الذكية لتشكيل بيئة ويب مستدامة ومحيطية (Raggett, 2015).

وتشمل التطبيقات العملية لـ IoT في Web 4.0 خدمات معززة في الرعاية الصحية الإلكترونية (e-health)، والتعلم المتقدم، والخدمات اللوجستية الذكية (خليل إبراهيم، 2021)، كما يُستخدم إنترنت الأشياء في البيئات التعليمية والمكتبات لمنح إحصاءات حول استخدام الموارد، مما يساعد في تحسين تجربة المستفيدين (نيل خيرة و صادوق خضرة، 2021).

3.6. تعميق دور الذكاء الاصطناعي في الويب التكافلي

يُعد الذكاء الاصطناعي (AI) محركاً أساسياً لتحقيق الويب التكافلي، حيث يتولى أتمتة المهام المعقدة وتحسين التفاعل بين الإنسان والآلة، ويُستخدم الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لأتمتة المهام، وتحسين أداء المواقع، وتوفير التخصيص المعتمد على تحليل بيانات المستخدم (Qit Company Blog, n.d).

في المجال الأكاديمي والتعليمي، يُستخدم الذكاء الاصطناعي في تطوير أنظمة التعليم الذكية (Intelligent Tutoring Systems) لتمكين الأنظمة من تطوير عملية التعلم وتصميم محتوى ذكي ومخصص للمتعلمين (مجلة العلوم التربوية والنفسية، 2023).

إن هذا الوجود المطلق لـ Web 4.0 يعني أن جمع البيانات لا يحدث فقط عبر المتصفح، بل عبر كل جهاز مترابط في البيئة المحيطة، وهذا يضخم بشكل كبير تحديات خصوصية البيانات (PII) وأمان الشبكة. المفارقة هنا هي أن نجاح Web 4.0 مرهون بنضج البنية التحتية اللامركزية لـ Web 3.0، حيث يجب أن يوفر البلوك تشين طبقة الثقة المطلوبة لحماية بيانات إنترنت الأشياء من المراقبة المفرطة أو استغلال البيانات، مما يؤكد على الترابط البنيوي بين الجيلين.

القسم السابع: التحديات الراهنة والاعتبارات المستقبلية

على الرغم من الوعود الكبيرة التي يقدمها الويب 3.0 والويب 4.0، لا تزال هناك تحديات جوهرية تعيق التحقيق الكامل لهذه الرؤى.

وتتمثل القيود التكنولوجية الرئيسية في صعوبة تحقيق الويب الدلالي في صورته المثالية، خاصة فيما يتعلق بالترجمة الكاملة للغة البشرية المعقدة إلى لغة مفهومة آلياً بشكل سياقي دقيق (Investing.com, n.d).

بالإضافة إلى ذلك، يثير الوجود المطلق والاعتماد على إنترنت الأشياء في Web 4.0 مخاوف هائلة تتعلق بخصوصية البيانات وأمان الشبكة، إذ أن جمع البيانات بشكل مستمر من الأجهزة المترابطة يتطلب أنظمة لامركزية أكثر قوة وشفافية لحماية المستخدمين من المراقبة المفرطة أو استغلال البيانات.

ويتطلب الانتقال الناجح إلى نموذج لامركزي وضع بنية تحتية قانونية ونماذج اقتصادية متماسكة، إذ بدون هذه الأطر القانونية والحوكمة، فإن الابتكارات قد تظل إما غير موحدة أو إقصائية (IMF, 2022)، وبالتالي فإن تحقيق الويب التكافلي في المستقبل يتطلب تطوير نماذج جديدة للحوكمة تسمح بالتفاعل الآمن والموثوق بين الأنظمة الذكية المستقلة (Blemus, 2018).

ملخص المحاضرة

أظهر التحليل أن تطور تكنولوجيا الإنترنت، من Web 1.0 إلى Web 4.0، يمثل مساراً تطورياً منطقياً يهدف إلى نقل السلطة والملكية من الكيانات المركزية إلى المستخدم النهائي، وقد بدأ الويب كنموذج استهلاكي ثابت (Web 1.0)، ثم تحول إلى نموذج تفاعلي مركزي (Web 2.0)، وأخيراً انتقل إلى نموذج قائم على الثقة اللامركزية والذكاء السياقي (Web 3.0).

إن الويب الدلالي وتقنية البلوك تشين هما العوامل التمكينية الرئيسية لهذا التحول، حيث يوفر الويب الدلالي القدرة على فهم المحتوى وتخصيصه عبر الذكاء الاصطناعي، بينما تضمن تقنية البلوك تشين أن هذا المحتوى وهذه البيانات مملوكة بشكل خاص ويتم توزيعها بطريقة غير قابلة للإنكار، ويمهد هذا الاندماج الطريق لظهور الإعلام اللامركزي، حيث تصبح الملكية الفكرية والحقوق محمية على مستوى البنية التحتية نفسها.

أما الويب 4.0، فإنه يمثل قمة هذا التطور، حيث يدمج الذكاء المكتسب في Web 3.0 مع الوجود المطلق لإنترنت الأشياء، ليصبح التفاعل بين الإنسان والآلة متصلاً وذكياً بشكل تكافلي في البيئة المحيطة، مع تحديات قائمة تتطلب ضمان أن اللامركزية والأمان توازي مستوى الذكاء والوجود المطلق.

قائمة المراجع

1- Amazon Web Services (AWS). (د.ت). *ما هي اللامركزية؟ - شرح اللامركزية في Blockchain.* تم الاسترداد من https://aws.amazon.com/ar/web3/decentralization-in-blockchain/

2- Amazon Web Services (AWS). (د.ت). *ما المقصود بإنترنت الأشياء(IoT) ؟ شرح "إنترنت الأشياء".* تم الاسترداد من https://aws.amazon.com/ar/what-is/iot/

3- Cryptokap. (2023). *ما هو البلوك تشين؟ وكيف تعمل هذه التقنية الرقمية.* تم الاسترداد من https://www.cryptokap.com/2023/03/what-is-blockchain-and-how-to-work.html

4- Equiti. (د.ت). *شرح تقنية البلوك تشين: ما هي وكيف تعمل.* تم الاسترداد من https://www.equiti.com/sc-ar/news/crypto-hub/شرح-تقنية-البلوك-تشين-ما-هي-وكيف-تعمل/

5- Investing.com. (د.ت). *الويب 3.0: ما هو الجيل الجديد من الإنترنت؟* تم الاسترداد من https://sa.investing.com/analysis/article-200475337

6- مجلة العلوم التربوية والنفسية. (2023). *تطبيقات الذكاء الاصطناعي ودورها في تنمية المحتوى الذكي. مجلة العلوم التربوية والنفسية، 7*(41), 26–46. تم الاسترداد من https://journals.ajsrp.com/index.php/jeps/ar/article/view/7073

7- Mexc Blog. (د.ت). *ما هي البلوكشين وكيف يعمل؟* تم الاسترداد من https://blog.mexc.com/ar/what-is-blockchain/

8- MEWC. (د.ت). *كيف يعمل البلوك تشين؟* تم الاسترداد من https://fiper.me/detail-625-البلوك-تشين

9- نيل خيرة، وصادوق خضرة. (2021). *خدمات المكتبة في ظل إنترنت الأشياء. مجلة المعارف للبحوث والدراسات التاريخية والأثرية، 4*(2), 108–120. تم الاسترداد من https://asjp.cerist.dz/en/downArticle/289/8/2/208518

10- جامعة صحار. (د.ت.). *الخصائص المفاهيمية لـ Web 2.0 المشاركة الاجتماعية).* تم الاسترداد من https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/uploads/87/1542570118%20-%20الويب-2.docx.

11- Qit Company Blog. (د.ت). *The role of artificial intelligence and machine learning in web development.* تم الاسترداد من). https://blog.qit.company/the-role-of-artificial-intelligence-and-machine-learning-in-web-development/

12- TDM Lab. (د.ت). *Semantic web layered architecture.* تم الاسترداد من). https://thedmlab.com/blog/semantic-web-layered-architecture/

13- Abrol, A. (2022). *Web 3.0: The decentralized web block-chain networks and protocol innovation. International Journal of Research and Review in Applied Science Humanities and Technology,* 1–4. Retrieved from https://www.blockchain-council.org/metaverse/web-3-0-vs-metaverse/

14- Actian Data Platform. (n.d.). *What is metadata: Importance, types, and key benefits.* Retrieved from https://www.actian.com/glossary/metadata/

15- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). *The semantic web. Scientific American.* Retrieved from https://www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web/

16- Blemus, S. (2018). *Law and blockchain: A legal perspective on current regulatory trends worldwide. Social Science Research Network.* Retrieved from https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/5-226/pdf

17- Ibrahim, A. K. (2021). *Evolution of the web: From Web 1.0 to 4.0. Qubahan Academic Journal, 1*(3), 20–28. https://doi.org/10.48161/qaj.v1n3a75

18- International Monetary Fund (IMF). (2022). *Blockchain consensus mechanisms: A primer for supervisors (FinTech Note No. 2022/003).* Retrieved from https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/FTN063/2022/English/FTNEA2022003.ashx

19- Lashkari, B., & Musilek, P. (2021). *A comprehensive review of blockchain consensus mechanisms. IEEE Access, 9,* 43620–43652. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065880

20- Mahmood, S., Rahman, S. M. K., & Fahim, S. (2023). *Blockchain: A comparative study of consensus algorithms PoW, PoS, PoA, PoV. International Journal of Mathematical Sciences and Computing, 9*(3), 46–57. Retrieved from https://www.mecs-press.org/ijmsc/ijmsc-v9-n3/v9n3-4.html

21- O'Reilly, T. (2005, September 30). *What is Web 2.0. O'Reilly Media.* Retrieved from https://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html

22- Raggett, D. (2015). *The web of things: Challenges and opportunities. Computer, 48*(5), 26–32. Retrieved from https://ieeexplore.ieee.org/document/7111885/

المحاضرة التاسعة: تكنولوجيا الهاتف النقال

مقدمة:

يُشكّل الهاتف النقال في هيئته المعاصرة تتويجاً لمسيرة طويلة من الابتكار التقني بدأت باختراع الهاتف التقليدي في القرن التاسع عشر، ويُعزى العمل في تطويره العملي الأساسي إلى ألكساندر جراهام بيل، ثم تطور هذا المفهوم تدريجياً من أجهزة سلكية إلى هواتف لاسلكية، ثم إلى الأجهزة المحمولة بالكامل التي نعرفها اليوم، والتي تجاوزت مجرد كونها وسيلة للتواصل لتتحول إلى مراكز حوسبة متنقلة متكاملة

القسم الأول: الإطار المفاهيمي والتطور النوعي للهواتف الذكية

1.1. الجذور التاريخية والتحول نحو الحوسبة المتنقلة

تميزت المراحل المبكرة من تطور الهواتف المحمولة بكونها أجهزة ضخمة، كانت تُوصف بأنها "قطعة صغيرة من الطوب"، وتتميز بوجود هوائيات خارجية بارزة، لكن بدايات القرن الحادي والعشرين شهدت تحولاً نوعياً مع ظهور أنظمة التشغيل المتنقلة مثل "أندرويد" (Android) وتزايد شعبية الهواتف الذكية (Hirsch et al., 2025).

هذا التغير لم يكن شكلياً فحسب، بل نقل الهاتف من أداة اتصال بسيطة إلى بوابة شاملة للإنترنت، مصحوباً بصعود هائل لسوق التطبيقات، وهذا التطور الوظيفي يشير إلى أن الهاتف أصبح الجهاز الوحيد الذي يتيح الاستفادة من كافة المنصات الإعلامية في آن واحد، مما يجعله نقطة تقاطع حاسمة للخدمات الرقمية المتعددة وعاملاً رئيسياً في تغيير معالم المستقبل (Ghani et al., 2025).

2.1. القفزات التقنية في البنية والمواصفات الحسية

لم يقتصر التطور الهائل على التحسينات الشكلية، مثل التصميمات الأنيقة والأحجام الصغيرة، بل شملت التغييرات الجوهرية كل خاصية داخل الجهاز المحمول (Hassan et al., 2025)، فالهواتف الذكية الرائدة اليوم تمتاز بابتكارات معمارية مثل الشاشات القابلة للطي، والكاميرات الثلاثية والرباعية المتقدمة، كما أنها تدعم شبكات الجيل الخامس (5G) بمعدلات تحديث عالية (Hassan et al., 2025).

لقد أدت هذه القفزات التقنية إلى تغيير جذري في معايير تقييم أداء الهاتف، فبينما كانت سرعة الشبكة وعدد وحدات البكسل وجودة الكاميرا هي المعايير القياسية التقليدية، أصبح هناك إدراك متزايد للدور المحوري الذي تلعبه سعة التخزين في التأثير على سرعة أداء الهاتف وشكله الخارجي، وتزداد أهمية هذا العامل بشكل مضاعف مع الانتشار الواسع للأجهزة الداعمة لشبكات 5G، حيث يتضاعف حجم البيانات المتداولة بلا شك.

وعليه، فإن الزيادة الهائلة في حجم البيانات الناتجة عن شبكات الجيل الخامس فرضت ضرورة وجود حلول تخزين ذات سعة كبيرة وسرعة فائقة لجمع ومعالجة هذه البيانات بكفاءة (Hassan et al., 2025)، ويثبت هذا التحول الوظيفي والهيكلي أن الهاتف بات بمثابة مساعد شخصي لا يمكن الاستغناء عنه.

ويوضح الجدول الموالي مراحل التطور الرئيسية التي مر بها الهاتف الذكي، مع التركيز على النقلة النوعية في دوره الوظيفي:

الجدول رقم (15): مراحل تطور الهواتف الذكية وتغير الدور الوظيفي

المرحلة الزمنية التقريبية	السمات التقنية المميزة	الدور الوظيفي الرئيسي
ما قبل 2007 (الهواتف المحمولة)	حجم كبير، هوائيات خارجية، شاشات غير لمسية، وظائف محدودة.	أداة اتصال أساسية (صوت، رسائل قصيرة).
2007 - 2015 (الجيل الأول للذكاء)	شاشة لمس، واجهة رسومية، تطبيقات أساسية، كاميرا أحادية/مزدوجة.	بوابة للإنترنت (ويب 2.0) ومنصة ترفيه.
2016 - الحاضر (الذكاء التحولي)	كاميرات متعددة، وحدة معالجة عصبية (NPU)، G5، طي الشاشة، التركيز على Edge AI.	مساعد شخصي ومنصة حوسبة متكاملة (لإنجاز الأعمال، التسوّق، والمعاملات المصرفية).

القسم الثاني: البنية الأساسية للذكاء الاصطناعي على الحافة (Edge AI)

1.2. تعريف الذكاء الاصطناعي (Edge AI)

أصبح الذكاء الاصطناعي (AI) حالياً مكوناً لا يتجزأ من تجربة المستخدم اليومية، ويشير مفهوم الذكاء الاصطناعي على الحافة (Edge AI) إلى قدرة الأجهزة، مثل الهواتف الذكية، على تنفيذ نماذج التعلم الآلي ومعالجة البيانات محلياً، دون الحاجة إلى إرسال كل البيانات إلى خوادم سحابية مركزية (Singh, 2025).

وتكتسب هذه المعالجة الموضعية أهمية قصوى لسببين رئيسيين:

أولاً: تساهم في تقليل زمن الوصول (Latency) بشكل كبير، مما يضمن استجابة أسرع للتطبيقات الحساسة للوقت، مثل التعرف على الوجه أو المعالجة الفورية، حيث تشير التقديرات إلى أن المعالجة على الحافة يمكنها الحفاظ على متوسط زمن وصول يقل عن 15 مللي ثانية (Husaković, 2024 & Banjanović-Mehmedović).

ثانياً: وهو الجانب الأمني، حيث تعمل هذه الاستراتيجية على تعزيز مستوى الأمان والخصوصية، إذ تبقى البيانات الحساسة للمستخدم على الجهاز نفسه، مما يقلل بشكل كبير من مخاطر اعتراضها أو الوصول إليها أثناء النقل عبر الشبكة (Singh, 2025; Zhang et al., 2024).

وتساهم هذه النقلة في استراتيجية المعالجة بشكل مباشر في تبني نموذج أمني متقدم يُعرف بـ"الدفاع في العمق" (Defense in Depth) (غوغل، 2024). علاوة على ذلك، فإن القدرة على المعالجة المحلية هي استجابة مباشرة للزيادة الهائلة في حجم البيانات الناتجة عن شبكات الجيل الخامس (5G)؛ فمعالجة البيانات محلياً تقلل استهلاك النطاق الترددي (Bandwidth) بنسبة تصل إلى 65%، مما يخفف الضغط غير المستدام على الشبكة (Zhang et al., 2024).

2.2. وحدة المعالجة العصبية (NPU) ووظائف الحوسبة

لتحقيق كفاءة الذكاء الاصطناعي على الحافة، كان لا بد من تطوير مكونات معالجة متخصصة،حيث تُعد وحدة المعالجة العصبية (Neural Processing Unit أو NPU) نوعاً متخصصاً من المعالجات تم تحسينه بشكل خاص لتسريع العمليات الحسابية المطلوبة لمهام الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (Vaiter, 2025).

وعلى النقيض من وحدات المعالجة المركزية (CPU) أو وحدات معالجة الرسوميات (GPU) التي كانت تُستخدم تاريخياً لمهام الذكاء الاصطناعي نظراً لقدرتها على المعالجة المتوازية، تتميز وحدات NPU بأنها مُحسَّنة بشكل أساسي للعمليات الحسابية المتضمنة في الشبكات العصبية، مثل ضرب المصفوفات وعمليات التلافيف (Convolution) (Vaiter, 2025).

وتكمن أهمية وحدة NPU في تصميمها لمعالجة كميات كبيرة من البيانات بالتوازي وبكفاءة عالية وهي مصممة خصيصاً لدعم عمليات الحساب منخفضة الدقة (عادة 8 بت أو أقل)، مما يساهم في تقليل التعقيد الحسابي ويحسن كفاءة الطاقة بشكل كبير (Vaiter, 2025)، ومن ناحية الهندسة، فإن وحدة NPU تحاكي الخلايا العصبية وتستخدم الأوزان التشابكية لدمج وظائف التخزين والحوسبة، مما يجعلها مناسبة بشكل خاص لمهام التعلم الآلي حيث يمكنها توفير حلول سريعة جداً بزمن وصول منخفض، وإن كانت أقل دقة من الحوسبة الخطية للوحدة المركزية (IBM, 2024).

2.3. تحليل المقارنة بين Edge AI و Cloud AI وتداعياتهما الأمنية

يمثل التحول نحو Edge AI نقلة استراتيجية في كيفية إدارة البيانات والأمان، إذ أن معالجة البيانات على الجهاز بدلاً من السحابة، ليست مجرد مسألة سرعة، بل هي بناء استراتيجي لمنظومة أمنية متكاملة، ففي الوقت الذي

تعتمد فيه معالجة السحابة (Cloud AI) على قوة الحوسبة الهائلة لمراكز البيانات، وهو ما يعتبر ضرورياً لتدريب النماذج الضخمة (Deep Learning)، فإنها تتطلب في المقابل نطاقاً ترددياً عالياً وتنقل البيانات الحساسة مركزياً (IBM, 2024).

وتتفوق المعالجة على الحافة (Edge AI) في تقليل مخاطر اعتراض البيانات أثناء النقل وتعزيز خصوصية المستخدم بشكل كبير لأن البيانات تُعالج محلياً بواسطة وحدات NPU (Singh, 2025)، ومع ذلك فإن Edge AI مقيدة بقوة المعالجة والذاكرة المتاحة على الجهاز المحلي.

ولهذا، يتجه مستقبل الحوسبة نحو النماذج الهجينة (Hybrid AI)، التي تجمع استراتيجياً بين قدرات Edge AI (للمعالجة في الوقت الحقيقي والكفاءة والأمان) وبين Cloud AI (للتدريب الضخم والتحليل المتقدم)، وذلك لتحقيق التوازن الأمثل بين الأداء والكفاءة في بيئات العمل المعقدة (Shah, 2024 & Patel).

ويلخص الجدول التالي المقارنة بين منهجيتي المعالجة، مبرزاً الأسباب التي دفعت شركات التقنية لتبني هندسة Edge AI في الأجهزة المحمولة:

الجدول رقم (13)مقارنة بين مزايا المعالجة على الحافة (Edge AI) ومعالجة السحابة (Cloud AI)

معيار المقارنة	الذكاء الاصطناعي على الحافة (Edge AI)	الذكاء الاصطناعي على السحابة (Cloud AI)
سرعة الاستجابة	منخفضة جداً (قرب المعالجة من المصدر)	أعلى (تعتمد على سرعة الشبكة والمسافة)
الأمان والخصوصية	مرتفع (البيانات الحساسة تبقى على الجهاز)	أقل (البيانات تُنقل وتُخزّن مركزياً)
الاعتماد على الشبكة	منخفض (يعمل في وضع عدم الاتصال)	مرتفع (يتطلب اتصالاً مستقراً وقوياً).
متطلبات الطاقة	مُحسَّن بواسطة NPU.	يعتمد على طاقة مركز البيانات (خارج الجهاز).
أمثلة التطبيق	التصوير الحسابي، التعرف على الوجه، إدارة الطاقة.	المساعدات الصوتية الكبيرة، تدريب النماذج الضخمة.

القسم الثالث: تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التصوير الحسابي والإنتاج السينمائي

1.3. مفهوم التصوير الحسابي ودور الذكاء الاصطناعي فيه

يشير التصوير الحسابي (Computational Photography) إلى مجموعة من التقنيات التي تستخدم الحوسبة الرقمية والخوارزميات لمعالجة الصور الملتقطة وتحسينها، بدلاً من الاعتماد الكلي على العمليات البصرية

التقليدية (Michael, 2024)، وقد أحدثت هذه التقنية ثورة كاملة في عملية التصوير الفوتوغرافي عبر الهاتف الذكي، مما مكن الأفراد من التقاط صور احترافية دون الحاجة إلى كاميرات تقليدية مكلفة (Friederichsen, 2021).

إن عملية التقاط الصور في الهواتف الذكية الحديثة معقدة جداً وتعتمد بشكل كبير على التصوير الحسابي (صحيفة الثورة، n.d)، ويعمل التصوير الحسابي كآلية للتغلب على القيود المادية المفروضة على العدسات والمستشعرات الصغيرة الحجم في الهواتف (Michael, 2024)، فالكاميرا الحديثة للهاتف الذكي تعمل كجهاز حاسب منفصل بحد ذاته، حيث يتم الاعتماد على أنوية معالجة مخصصة (مثل NPU) لترجمة البيانات الأولية التي يستقبلها المستشعر إلى صورة نهائية معروضة (صحيفة الثورة، n.d).

2.3. آليات التصوير المعززة بالذكاء الاصطناعي

يعتمد التصوير الحسابي على دمج الذكاء الاصطناعي في عدة مراحل من عملية معالجة الصورة، بدءاً من توزيع الألوان التلقائي وصولاً إلى الضغط والتخزين.

ومن أبرز آليات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال:

1- **دمج الإطارات ونطاق HDR:** تُستخدم الخوارزميات لدمج المعلومات من عدة صور تم التقاطها بتعريض ضوئي مختلف، لإنتاج صور ذات نطاق ديناميكي عالٍ (HDR) أكثر شمولاً (Michael, 2024)، كما يستخدم في خياطة الصور البانورامية (Mann et al., 1993; Mann et al., 2003). وتتضمن التقنيات المتقدمة المستخدمة في وضعيات مثل "التصوير الليلي" (Night Sight) خوارزميات دمج صور متطورة لا تتضمن خطوة واضحة لفك تشفير الألوان (demosaicing)، مما يزيد من دقة الصورة ويحسن نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Friederichsen, 2021).

2- **التعرف على المشاهد وتأثير العزل (Bokeh):** يقوم الذكاء الاصطناعي بتحديد الحواف لكل عنصر في الصورة وزيادة حدتها وتشبعها بالألوان تلقائياً، والمثال الأبرز هو وضع "الصور الشخصية" (Portrait Mode)، حيث يتم اقتطاع الأشخاص بدقة عالية عبر حسابات معقدة واستخدام تقنيات تقدير العمق وتقسيم البورتريه لخلق تأثير العزل (Lenovo, 2024; Purohit et al., 2019) (Bokeh).

3- **إدارة البيانات المتقدمة:** تشمل المراحل النهائية للتصوير الحسابي عمليات ضغط لتقليل استهلاك المساحة التخزينية، وتحويل الألوان شديدة القرب من بعضها البعض إلى لون واحد، حيث أن العين البشرية غالباً لا تستطيع تحديد الفرق بينها.

3.3. الذكاء الاصطناعي في الإنتاج السينمائي المتنقل

لقد حول التصوير الحسابي المدعوم بالذكاء الاصطناعي الهاتف الذكي إلى ما يشبه "استوديو أفلام" متنقل (Wang et al., 2024)، فبدلاً من أن تكون التقنية حاجزاً أمام التعبير الفني، أصبحت جسراً يربط العالم الحقيقي بالإبداع.

من خلال قدرات المعالجة الفائقة المتوفرة عبر وحدات NPU، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يتتبع الهدف في الوقت الفعلي، ويقوم بتكبيره أو تجميد الزمن حوله عبر محاذاة متعددة للإطارات (Wang et al., 2024). ويتيح هذا للمستخدمين غير المحترفين تصوير مؤثرات سينمائية معقدة، مثل تأثير هيتشكوك (Hitchcock effect)، وبلمسة واحدة تتم أتمتة جميع جوانب التصوير والتحرير تقريباً، مما يرفع القيود التقنية ويضمن أن أي شخص يضغط على زر الالتقاط يمكنه إنتاج عمل سينمائي عالي الجودة، وتُعد هذه القدرة على دمقرطة التصوير الاحترافي دليلاً قوياً على مدى تكامل الأجهزة الذكية مع خوارزميات التعلم الآلي.

القسم الرابع: الذكاء الاصطناعي في تجربة المستخدم

1.4. المساعدات الرقمية الذكية (AI Copilots) والإنتاجية

في بيئة العمل الحديثة، تعمل المساعدات الرقمية المدعومة بالذكاء الاصطناعي (AI Copilots) كرفيق ذكي يعزز كفاءة المستخدمين بشكل كبير (ساب، 2024)، وتتمثل وظائف هذه المساعدات في أتمتة المهام المعرفية، مثل: كتابة رسائل البريد الإلكتروني أو غيرها من الرسائل للعملاء، وإنشاء وتكرار محتوى مقنع بسرعة فائقة، والحصول على رؤى غير ظاهرة في البيانات (ساب، 2024)، وفي مجال الموارد البشرية، على سبيل المثال يمكن للمساعد الرقمي المساعدة في كتابة أوصاف الوظائف بدقة وتجنب الانحياز المعرفي في تقييم المرشحين (ساب، 2024; Chilakapati, 2025).

إلى جانب المساعدات الخارجية، تتميز الهواتف الذكية الآن بالقدرة على التفاعل الذكي والتكيفي مع المستخدم. فهي قادرة على التعلم من السلوك الشخصي ومراقبة أنماط الاستخدام اليومي (دليل، 2024). فإذا كان المستخدم يفتح تطبيقات معينة في ساعات محددة، يمكن للهاتف أن يعدّل إعداداته أو يوجه المستخدم إلى

تلك التطبيقات تلقائياً، مما يجعل الاستخدام أكثر سلاسة وراحة، ويحول الهاتف من أداة سلبية إلى كيان تكيفي (دليل، 2024).

2.4. الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة والأمان السيبراني

يشكل عمر البطارية تحدياً مستمراً في تطوير الهواتف الذكية، ولهذا يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً حيوياً في إدارة الطاقة فهو يستخدم خوارزميات للتعرف على التطبيقات التي تعمل في الخلفية دون فائدة ويغلقها تلقائياً، مع ضمان عدم التأثير على الإشعارات الهامة، مما يضمن كفاءة استهلاك الطاقة (زاس شوب، n.d).

أمنياً، تتبنى الهواتف الذكية استراتيجية متقدمة تُعرف بـ "الدفاع في العمق" (Defense in Depth)، حيث تتضافر طبقات متعددة من الأمان للعمل معاً (غوغل، 2024)، وهذا النظام يضمن تكامل ميزات الأمان المهمة بسلاسة مع تطبيقات النظام الرئيسية، والأهم هو منع إيقاف أي من مزايا الحماية المتقدمة عن طريق الخطأ أو عن طريق جهات ضارة، مما يعزز الحماية المتكاملة على مستوى الجهاز (قوقل، 2024).

وفيما يتعلق بحماية نقاط النهاية، يساعد الذكاء الاصطناعي في رصد السلوك غير الطبيعي (مثل محاولة الوصول إلى ملفات حساسة في أوقات غير معتادة)، مما يقلل الاعتماد على القواعد الثابتة ويوفر رؤية تكيفية للمخاطر السيبرانية (Syracuse University, 2024)، وتدعم المعالجة المحلية للذكاء الاصطناعي على الحافة (Edge AI) هذه الاستراتيجية من خلال تقليل تعرض البيانات الحساسة أثناء النقل.

3.4. القيود والتحديات الأخلاقية للذكاء التوليدي

رغم الإمكانيات الهائلة للذكاء الاصطناعي التوليدي، إلا أنه يطرح تحديات معرفية وأخلاقية تتطلب التعامل بحذر، وأحد أبرز هذه التحديات هو ظاهرة "التوهم" (Hallucination)، والتي تشير إلى قدرة النظام الأساسي للذكاء الاصطناعي على إنتاج مخرجات مضللة أو خاطئة تبدو معقولة ولكنها غير صحيحة في الواقع (ساب، 2024).

ويضع هذا التوهم تحدياً جديداً، حيث لم يعد الحذر يقتصر على التهديدات الخارجية (مثل الفيروسات)، بل يمتد إلى الأخطاء المعرفية الداخلية التي تنتجها النماذج الذكية (ساب، 2024)، وعلى الرغم من أن المساعدات الذكية تهدف إلى زيادة الإنتاجية والكفاءة، فإن خطر التوهم يفرض ضرورة التدقيق البشري المعرفي المستمر.

وهذا ما يقلل من صافي ربح الإنتاجية ويتطلب تدريباً متخصصاً للمستخدمين على النقد المعرفي لمخرجات الذكاء الاصطناعي، حيث أن مواجهة هذا التحدي تتطلب من المطورين اتخاذ إجراءات كافية لضمان الجودة،

كما تتطلب من المستخدمين أنفسهم التعلم وفهم طبيعة وقيود الذكاء الاصطناعي التوليدي لضمان الموثوقية في النتائج المستخلصة (ساب، 2024).

القسم الخامس: الواقع المعزز (AR) عبر الهواتف الذكية

1.5. مفهوم الواقع المعزز والتمييز المفاهيمي

الواقع المعزز (Augmented Reality أو AR) هو تقنية تدمج المحتوى الرقمي، مثل الصور أو النصوص أو النماذج ثلاثية الأبعاد، في العالم الحقيقي المحيط بالمستخدم (Springer, 2023)، ويتميز الواقع المعزز بأنه يستخدم أجهزة محمولة مثل الهواتف الذكية أو النظارات الذكية، مع الحفاظ على رؤية المستخدم للبيئة المادية المحيطة به (Springer, 2023).

وهنا يجب التمييز بين الواقع المعزز والواقع الافتراضي (Virtual Reality أو VR). ففي حين أن الواقع المعزز يركب المحتوى الرقمي على العالم الحقيقي، يغمر الواقع الافتراضي المستخدمين في بيئة رقمية بالكامل باستخدام سماعات رأس تحجب العالم المادي تماماً (Springer, 2023).

أما أنواع الواقع المعزز، فهي تتنوع بين النوع القائم على العلامات (Markers)، الذي يكون أقل تكلفة وأكثر سهولة في الوصول إليه، والنوع الذي يعمل بدون علامات (Markerless)، الذي يوفر تجربة أكثر شمولاً (آي بي إم، 2024).

2.5. متطلبات البنية التحتية للهاتف لدعم الواقع المعزز

يتطلب تشغيل تطبيقات الواقع المعزز بكفاءة عالية بنية تحتية قوية ومجموعة من المكونات المتخصصة داخل الهاتف الذكي (مدونة معلم الحاسب، n.d)، وتعتمد التجربة على ثلاثة عوامل رئيسية:

1- **قوة المعالجة (Processing Power):** يحتاج الواقع المعزز إلى قوة معالجة عالية، لا سيما معالجة الرسوميات والمعالجة العصبية (NPU) لتنفيذ الخوارزميات المعقدة في الوقت الفعلي (مدونة معلم الحاسب، n.d).

2- **أجهزة الاستشعار (Sensors):** تعتمد التقنية على الكاميرا ومجموعة من المستشعرات الداخلية (مثل الجيروسكوب ومقياس التسارع ومستشعرات العمق) لجمع البيانات حول البيئة المحيطة والتغيرات الحركية (مدونة معلم الحاسب، n.d).

3- **جودة العرض (Display Quality):** لكي تكون تجربة الواقع المعزز واقعية، يجب أن تكون جودة الشاشة والعدسات ومنصة عرض المحتوى على مستوى عالٍ (مدونة معلم الحاسب، n.d).

3.5. تقنية التموضع ورسم الخرائط المتزامنة (SLAM)

يُعد العمود الفقري التقني الذي يمكّن تطبيقات الواقع المعزز من العمل بفعالية هو خوارزمية التموضع ورسم الخرائط المتزامنة (Simultaneous Localization and Mapping أو SLAM) (التعليم التقني في الإمارات، n.d)، بحيث أن العمل المنجز في مجال الرؤية الاصطناعية (Computer Vision)، الذي يشمل تقنيات SLAM، هو سبب رئيسي لتقدم تطبيقات الواقع المعزز.

وتتيح تقنية SLAM للهاتف الذكي إجراء عمليتين حاسمتين في آن واحد: أولاً، تحديد موقعه الدقيق واتجاهه في الفضاء الحقيقي (Localization)؛ وثانياً، بناء خريطة ثلاثية الأبعاد للبيئة المحيطة به (Mapping) (التعليم التقني في الإمارات، n.d)، وهذا التموضع المتزامن هو ما يسمح بإرساء الكائنات الافتراضية بشكل ثابت ومستقر في نقطة معينة في العالم الحقيقي، حتى عندما يتحرك المستخدم بالهاتف (YouTube, n.d).

إن الطبيعة الحسابية المكثفة لـ SLAM هي ما يربط مباشرة بين الواقع المعزز والحاجة إلى وحدات NPU المتخصصة لضمان معالجة سريعة وفعالة للطاقة، ويؤكد هذا على أن الـ NPU هو المُمكّن الأساسي لتشغيل SLAM بفعالية على جهاز محمول دون استنزاف البطارية بسرعة، مما يحول SLAM إلى آلية ذكاء اصطناعي مكاني تتيح التفاعل بدلًا من مجرد العرض.

القسم السادس: التكامل التحولي

أدى اندماج الواقع المعزز مع تكنولوجيا الهاتف الذكي إلى فتح آفاق واسعة لتطبيقات تحويلية تتجاوز نطاق الترفيه لتشمل قطاعات حيوية مثل التعليم والتجارة والرعاية الصحية (YouTube, n.d).

1.6. الواقع المعزز في التعليم والتدريب

يقدم الواقع المعزز أدوات تعليمية تساعد الطلاب على التعلم بطريقة تفاعلية وأكثر فعالية من الطرق التقليدية، عبر تمكين الطلاب من استكشاف النماذج المعقدة بشكل ثلاثي الأبعاد والتفاعل معها مباشرة (Cypher, 2024).

ومن الأمثلة العلمية البارزة تطبيق Solar System Scope الذي يتيح للطلاب استعراض الكواكب والمدارات الفلكية بشكل ثلاثي الأبعاد، وتطبيق Arloon Chemistry الذي يوفر بيئة تفاعلية تسمح للطلاب بالتفاعل مع الذرات والجزيئات ومشاهدة التفاعلات الكيميائية بشكل مباشر (Cypher, 2024).

علاوة على ذلك، يُستخدم الواقع المعزز أيضاً في مجال الرعاية الصحية لتقديم تدريب ومحاكاة فعالة من حيث التكلفة للجراحين (Cypher, 2024)، وقد أثبتت هذه التقنية قدرتها على مساعدة الجراحين في إجراء عمليات جراحية أكثر دقة وأماناً (YouTube, n.d).

2.6. الواقع المعززفي التجارة بالتجزئة والتسويق

يشهد قطاع التجزئة تحولاً جذرياً بفضل تكامل الذكاء الاصطناعي مع الواقع المعزز، حيث تعمل خوارزميات الذكاء الاصطناعي على تحليل تفضيلات العملاء وسلوكياتهم، مما يتيح لتطبيقات الواقع المعزز عرض توصيات مخصصة للمنتجات (Springer, 2023).

ويتمثل التطبيق الأكثر شيوعاً في التصور الافتراضي، حيث يمكن للمتسوقين استخدام هواتفهم لتصوير بيئتهم الحقيقية ثم عرض المنتجات افتراضياً، سواء كان ذلك بوضع الأثاث الجديد في المنزل أو تجربة الملابس افتراضياً، مما يعزز ثقة العميل في قرار الشراء (Springer, 2023).

وفي قطاع العقارات، يُستخدم الواقع المعزز لعرض التصميم الداخلي أو الخارجي للمشاريع بطريقة تفاعلية وجذابة (Cypher, 2024)، فتحول هذا الانتقال من مجرد "عرض" إلى "توصية مخصصة" يمثل دليلاً على العلاقة التكافلية بين الذكاء الاصطناعي والواقع المعزز.

3.6. الواقع المعززوالعمل التعاوني (تكامل AI وAR)

لا يقتصر دور الواقع المعزز على الاستخدامات الفردية، بل يمتد ليشمل تعزيز الإنتاجية في بيئات العمل التعاوني، حيث يمكن للذكاء الاصطناعي أن يدير روبوتات الدردشة الذكية التي تسهل التعاون في مساحات العمل القائمة على الواقع المعزز (Springer, 2023).

وتتضمن هذه التفاعلات المتقدمة ميزات مثل الترجمة اللغوية الفورية، أو تلخيص المناقشات الطويلة، أو إسناد المهام آلياً، وعندما يتولى الواقع المعزز تصور هذه التفاعلات، فإنه يجعل الاجتماعات الافتراضية والتعاون أكثر إنتاجية ووضوحاً (Springer, 2023).

يلخص الجدول التالي: أبرز تطبيقات الواقع المعزز عبر الهواتف الذكية في القطاعات المختلفة:

الجدول رقم (16):تطبيقات مختارة للواقع المعزز عبر الهاتف الذكي (مع أمثلة)

القطاع المستهدف	التطبيق عبر الواقع المعزز (AR)	المثال التوضيحي
التعليم	تصور النماذج العلمية ثلاثية الأبعاد والتفاعلية.	تطبيق "Solar System Scope" و "Arloon Chemistry"
التجزئة والتجارة	تجربة المنتجات افتراضياً في بيئة المستخدم الحقيقية.	تصور الأثاث في المنزل أو تجربة الملابس الافتراضية
الرعاية الصحية	المحاكاة والتدريب الجراحي.	مساعدة الجراحين على إجراء عمليات جراحية أكثر دقة وأمانًا
التعاون	توفير المعلومات السياقية والمساعدة في الوقت الفعلي.	الترجمة الفورية في مساحات العمل المشتركة

ملخص المحاضرة:

لقد تجاوزت تكنولوجيا الهاتف النقال دورها الأصلي كأداة اتصال، لتصبح منصة حوسبة متكاملة ومساعداً شخصياً متكيفاً، مدفوعاً بدمج مكونات هندسية متطورة (مثل شبكات 5G وسعات التخزين الكبيرة) (Hassan et al., 2025)، حيث يُظهر التحليل أن الذكاء الاصطناعي على الحافة (Edge AI) هو المحرك الأساسي، حيث توفر وحدات المعالجة العصبية (NPU) المعالجة السريعة والآمنة محلياً، وهو ما كان ضرورياً لتمكين التطبيقات ذات زمن الوصول المنخفض كالتصوير الحسابي والواقع المعزز (Singh, 2025; Vaiter, 2025).

ويُمثل الذكاء الاصطناعي العقل المدبر الذي يمنح الواقع المعزز بُعده السياقي والتفاعلي، لا سيما من خلال تقنية SLAM التي تسمح للهاتف بالتفاعل المكاني الذكي مع البيئة، كما أتاح هذا التكامل إحداث تحولات عميقة في قطاعات حيوية مثل التعليم والتجزئة والعمل التعاوني (Springer, 2023).

المراجع

1- آي بي إم. (2024). *لمحة عامة عن الواقع المعزز*. تم الاسترداد من https://www.ibm.com/ae-ar/think/topics/augmented-reality.

2- آي بي إم. (2024). *وحدات المعالجة العصبية: البناء على توازي وحدات معالجة الرسوميات*. تم الاسترداد من https://www.ibm.com/think/topics/neural-processing-unit.

3- بيل، أ. ج. (2024). *اختراع الهاتف*. ويكيبيديا. تم الاسترداد من https://ar.wikipedia.org/wiki/اختراع_الهاتف.

4- التعليم التقني في الإمارات. (n.d). *محاضرة جامعية SLAM المرئي: نظام تموضع الربوتات وبناء خريطة المكان في آن واحد باستخدام تقنيات الرؤية الآلية*. تم الاسترداد من https://www.techtitute.com/.../visual-slam-robot-localization-simultaneous-mapping-using-computer-vision.

5- دليل. (2024). *ما هو الذكاء الاصطناعي في الهواتف الذكية؟*. تم الاسترداد من https://dleel.com/ar/blog/الذكاء-الاصطناعي-في-الهواتف-الذكية/a-716307934.

6- زاس شوب. (n.d). *الذكاء الاصطناعي في الهواتف / تجربة استخدام ذكية تتطور*. تم الاسترداد من https://zasshope.com/blogs/phone/ai-in-phones.

7- ساب. (2024). *ما هو المساعد الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي (AI Copilot)*. تم الاسترداد من https://www.sap.com/mena-ar/resources/what-is-ai-copilot.

8- صحيفة الثورة. (n.d). *التصوير الحسابي ... كيف أثر على كاميرات الهواتف؟*. تم الاسترداد من https://thawra.sy/?p=312727.

9- قوقل. (2024). *ميزات الأمان في الحماية المتقدمة*. تم الاسترداد من https://support.google.com/android/answer/16339980?hl=ar.

10- مدونة معلم الحاسب. (n.d). *تصميم الواقع المعزز، بناء الفكرة / الوحدة العاشرة / الدرس الثاني*. تم الاسترداد من https://mo3alemalhaseb.com/augmented-reality-design-idea-building/.

11- Banjanović-Mehmedović, L & ,.Husaković, A. (2024). Edge AI: Reshaping the Future of Edge Computing with Artificial Intelligence .*Conference: Basic technologies and models for implementation of Industry 4.0*.

12- Chilakapati, G. (2025). The Rise of AI Co-Pilots: Enhancing productivity across industries .*World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*.1134-1121 ,(1) *15* ,

13- Cypher, A .*الواقع المعزز وتطبيقاته في التعليم والرعاية الصحية*. (2024) .Proven Reality من الاسترداد تم . https://provenreality.com/ar./تقنية-الواقع-المعزز-وتطبيقاتها-في-الت/

14- Friederichsen, P. (2021). Recent Advances in Smartphone Computational Photography .*Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris Undergraduate Journal* ,(1) *8* ,Article 4.

15- Ghani, A., Zeeshan, M & ,.Butt, W. Z. (2025). The evolution of the smartphone: From 'brick' to integrated mobile computing hub .*Journal of Mobile Technology Research*.165-150 ,(2) *41* ,

16- Hassan, F., Raza, H & ,.Khan, Z. (2025). Architectural shifts in smartphone design: 5G, storage capacity, and advanced camera systems .*International Journal of Computer and Electrical Engineering*.90-77 ,(1) *18* ,

17- Hirsch, M., Mateos, C & ,.Majchrzak, T. A. (2025). Exploring Smartphone-Based Edge AI Inferences Using Real Testbeds .*Sensors (Basel)*.2875 ,(9) *25* ,

18- Lenovo .(2024) .*What is portrait mode* من الاسترداد تم ؟https://www.lenovo.com/us/en/glossary/portrait-mode./

19- Mann, S & ,.et al. (1993). Compositing Multiple Pictures of the Same Scene .*Proceedings of the 46th Annual Imaging Science & Technology Conference*.

20- Mann, S & ,.et al. (2003). The Lightspace Change Constraint Equation (LCCE) with practical application to estimation of the projectivity+gain transformation between multiple pictures of the same subject matter .*IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*.

21- Michael, J .(2024) .*التصوير الفوتوغرافي الحسابي*. ويكيبيديا. تم الاسترداد من https://ar.wikipedia.org/wiki/التصوير_الحسابي.

22- Patel, J & ,.Shah, H. (2024). Edge AI vs Cloud AI: Balancing Performance and Efficiency in Future Computing .*Journal of Cloud Computing and AI Research*.67-45 ,(3) *12* ,

23- Purohit, K., Suin, M., Kandula, P & ,.Ambasamudram, R. (2019). Depth-Guided Dense Dynamic Filtering Network for Bokeh Effect Rendering *2019 .IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*–3417 , .3426

24- Singh, P. (2025). Edge AI vs Cloud AI: A Comparative Study of Performance Latency and Scalability .*International Journal of Engineering and Emerging Technology*.(3) *13* ,

25- Springer, M .*الفرق بين الواقع المعزز والواقع الافتراضي*. (2023) .Botpress تم الاسترداد من . https://botpress.com/ar/blog/ultimate-guide-to-artificial-intelligence-ai-and-augmented-reality-ar.

26- Syracuse University .(2024) .*AI in Cybersecurity: An Overview* تم الاسترداد من https://ischool.syracuse.edu/ai-in-cybersecurity./

27- Vaiter, B) *وحدة المعالجة العصبية*. (2025) .*NPU .كيف يحاكي هاتفك فن التفكير*: (ITpedia تم الاسترداد من . https://ar.itpedia.nl/2025/01/17/npu-hoe-je-smartphone-de-kunst-van-het-denken-nabootst./

28- Wang, J., Liu, M & ,.Chen, S. (2024). AI-Driven Mobile Cinematography: Automation and Aesthetic Control .*Journal of Film and Media Studies*.128-112 ,(4) *29* ,

29- YouTube. (n.d) .*شرح مبسط كيف يعمل الواقع المعزز وكيف يتم دمجه في الواقع الحقيقي؟* [Video تم الاسترداد من . https://www.youtube.com/watch?v=mGp8rbgmK7A.

30- Zhang, C., Liu, F & ,.Wang, Q. (2024). Enhanced Privacy and Security in Edge AI Deployment: A Case Study in Healthcare .*Journal of Edge Computing for Healthcare Systems*.135-121 ,(2) *5* ,

المحاضرة العاشرة: تكنولوجيا الأجهزة التفاعلية

مقدمة:

تُمثل تكنولوجيا الأجهزة التفاعلية تحولاً نوعياً في كيفية ارتباط الإنسان بالبيئة المادية والرقمية المحيطة به، حيث تتجاوز وظيفتها التقليدية كأدوات مجردة لتصبح جزءاً حيوياً من منظومة إنترنت الأشياء (IoT) وهي منظومة تمثل في جوهرها فلسفة جديدة تُعيد صياغة علاقة الإنسان بالعالم عبر شبكة هائلة من الأجهزة والمكونات الذكية المتصلة بالإنترنت، والتي تقوم بجمع البيانات وتحليلها ومشاركتها لإحداث ثورة في التفاعل اليومي.

القسم الأول: الإطار المفاهيمي والتأسيس لإنترنت الأشياء (IoT)

1.1. تكنولوجيا الأجهزة التفاعلية كواجهة حيوية لمنظومة إنترنت الأشياء

في هذا السياق، تظهر الأجهزة التفاعلية —سواء كانت ألواحاً إلكترونية كبيرة، أو أجهزة قابلة للارتداء صغيرة، أو مساعدات صوتية ذكية— كواجهات تحكم أساسية لهذه المنظومة المعقدة، حيث تُعدّ هذه الواجهات هي نقطة التماس التي تضمن تحويل البيانات الخلفية الهائلة إلى إجراءات ملموسة ومفهومة للمستخدم البشري، فإذا كانت الواجهة معقدة أو غير موثوقة، فإن منظومة الأتمتة بأكملها معرضة للانهيار، مما يؤكد أن الابتكار يجب أن يركز على سهولة الاستخدام والقبول الاجتماعي بقدر تركيزه على الكفاءة الفنية.

1.2. أهمية التفاعل بين الإنسان والآلة (HMI) في الأتمتة الذكية

يُعدّ التفاعل بين الإنسان والآلة (HMI) المحور الرئيسي الذي تدور حوله هذه التكنولوجيا، فالأجهزة التفاعلية هي بمثابة العصب الحسي والحركي لمنظومة إنترنت الأشياء، حيث تعمل كواجهات مستخدم رسومية أو صوتية، تسمح بالتحكم في مجموعة الأجهزة الذكية وإدارتها عن بُعد (Singh, Panwar, et al., 2024)، ومن الناحية الفنية تعتمد هذه الواجهات على تحويل الأوامر البشرية إلى لغة حاسوبية قابلة للتنفيذ،

فعلى سبيل المثال، يمكن التحكم في أجهزة إنترنت الأشياء أو مجموعات منها من خلال واجهة مستخدم رسومية أو موقع إلكتروني، يُستخدم لتسجيل الأجهزة الذكية والتحكم فيها (AWS، 2024)، وهذا ما يرسخ دور الأجهزة التفاعلية كبوابة ضرورية لتبني التكنولوجيا في الحياة اليومية.

3.1. التطبيقات المحورية والتحول نحو الذكاء المحيطي

تتجاوز الأهمية الكبرى لهذه الأجهزة مجالات الترفيه لتشمل تطبيقات حيوية في قطاعات عديدة، ففي الرعاية الصحية تُستخدم الأجهزة التفاعلية لمراقبة المرضى في الوقت الفعلي؛ وفي الزراعة، تُستخدم لمراقبة حالة التربة والمحاصيل (Samsidar, Atnang, & Fajar, 2025)؛ وفي إدارة الطاقة، تُستخدم لتمكين الشبكات الذكية (الواحة الأكاديمية، 2023)، ويعني هذا التحول أن جودة التجربة البشرية مع إنترنت الأشياء أصبحت تعتمد كلياً على تصميم وتطور هذه الواجهات التفاعلية (Samsidar, Atnang, & Fajar, 2025).

إن هذه العلاقة السببية بين جودة الواجهة وكفاءة المنظومة تضع مفهوم التفاعل البشري والحاسوبي في قلب الفلسفة الحديثة للذكاء المحيطي، وتُظهر الدراسات أن تطبيقات إنترنت الأشياء تهدف إلى تحسين الكفاءة والاستدامة، خاصة في إدارة الأمراض المزمنة في الرعاية الصحية (Samsidar, Atnang, & Fajar, 2025)، وهذا الارتباط الوثيق يجعل الواجهات التفاعلية هي العنصر الحاسم لاعتماد تكنولوجيا إنترنت الأشياء بشكل عام.

القسم الثاني: تكنولوجيا الألواح التفاعلية (IWBs)

تُعدّ الألواح الإلكترونية التفاعلية (Interactive Whiteboards - IWBs) مثالاً بارزاً على التكنولوجيا التفاعلية التي نجحت في اختراق البيئات التعليمية والمؤسسية بفعالية.

1.2. المفهوم البيداغوجي والتحول في ممارسات التدريس

تُعرّف الألواح التفاعلية بأنها أدوات بيداغوجية صُممت خصيصاً لتعزيز التفاعل الجماعي داخل قاعات الدرس أو قاعات الاجتماعات (Manenova, 2012 & Skulil)، حيث يتمثل دورها المحوري في توفير بيئة تعليمية نشطة ومحفزة، مما يسمح للمعلمين بعرض المحتوى بشكل ديناميكي والتحكم فيه باللمس أو القلم الإلكتروني (Manenova, 2012 & Skulil).

لقد أكدت الدراسات الأكاديمية التي تناولت تأثير هذه الألواح في المراحل التعليمية المبكرة (مثل البيئات الابتدائية) أن استخدامها أحدث فرقاً ملموساً في أنماط التفاعل بين المعلم والتلميذ، خاصة في تدريس المهارات الأساسية كالقراءة والكتابة والحساب (Manenova, 2012 & Skulil).

ويشير التحليل المستفيض لهذه الدراسات إلى أن القيمة الحقيقية للألواح التفاعلية ليست في مجرد كونها شاشة عرض متقدمة تستجيب للمس (SMART Technologies، 2009)، بل في قدرتها على تعزيز "الأساليب التفاعلية" (Interactive Styles) في التدريس (Manenova, 2012 & Skulil).

وهذا التمييز ينطوي على دلالة هامة، وهي أن النجاح التربوي لهذه التقنية لا يكمن في امتلاك الأداة بحد ذاتها، بل في تحفيز تحول جوهري في الممارسات التدريسية التي يتبعها المعلمون لدمج التفاعل بفعالية، ويشير ذلك

إلى مقاومة جوهرية لتكامل الأدوات الرقمية، حيث تفرض الألواح التفاعلية عبئاً على المستخدم (المعلم) لتغيير سلوكه المهني (Habitus) بدلاً من أن تتكيف التكنولوجيا بالكامل مع السلوك القائم.

هذا التحول البيداغوجي هو ما يضمن تحقيق النتائج التعليمية المرجوة، ويوسع استخدامها لتمتد في البيئات المؤسسية لتكون واجهات تفاعلية لعرض البيانات المعقدة وتسهيل اتخاذ القرارات الجماعية.

2.2. التحليل التقني للآليات الرقمية التفاعلية

لتحقيق التفاعل السلس باللمس المتعدد (Multi-touch)، تعتمد الألواح الإلكترونية على تقنيات استشعار معقدة، ومن أبرزها تقنية الرؤية الرقمية التفاعلية (DViT)، والتي تعتمد تقنية DViT على مبدأ الرصد البصري، حيث يتم تثبيت كاميرات رقمية في كل ركن من أركان الستارة العلوية للوحة التفاعلية (SMART Technologies، 2009)، ثم تعمل هذه الكاميرات على تتبع موضع الطرف العاكس للقلم أو الأصبع عندما يتحرك عبر سطح العرض، وعادة ما تستخدم الأشعة تحت الحمراء غير المرئية لاكتشاف التماس (SMART Technologies، 2009).

وتحدد هذه الكاميرات المدعومة بمعالجات متخصصة (Touch Master)، الإحداثيات الدقيقة لنقطة التماس، مما يمكّن الكمبيوتر المرتبط باللوحة من ترجمة حركة اليد أو القلم إلى أوامر رقمية مثل الكتابة، النقر، أو السحب والإفلات (SMART Technologies، 2009)، بالإضافة إلى ذلك، تتميز هذه الألواح بسطح صلب ومصفح يوفر متانة عالية وحماية لجهاز العرض، وهي خاصية تصميمية ضرورية لتحمل الاستخدام المكثف في البيئات الديناميكية كالفصول الدراسية (SMART Technologies، 2009).

3.2. العمل باللمس (Capacitive Sensing)

يمكن أيضاً الإشارة إلى تقنية العمل باللمس (Capacitive Sensing) المستخدمة في العديد من الشاشات التفاعلية الأصغر حجماً (Kim et al., 2020)، وتعتمد هذه التقنية على مجال كهربائي يتم إنشاؤه على سطح الشاشة، فعندما يقترب جسم موصل للكهرباء (مثل الإصبع البشري)، فإنه يتسبب في تغير في السعة الكهربائية (Capacitance Change) في نقطة التماس (Kim et al., 2020)، فيقوم الجهاز بقياس هذا التغير بدقة، ومن ثم ترجمته إلى إشارة رقمية.

هذا المبدأ يستخدم أيضاً في تطبيقات الاستشعار الصناعي لقياس المستويات أو تحديد مواقع الأجزاء (Kim et al., 2020)، وبالتالي فإن الجمع بين تقنيات مثل DViT واستشعار اللمس يضمن أن تكون الواجهات التفاعلية سريعة الاستجابة وتدعم اللمس المتعدد، مما يثري تجربة المستخدم بشكل كبير.

القسم الثالث: الأجهزة القابلة للارتداء

تُعدّ الأجهزة القابلة للارتداء (Wearables)، كالساعات الذكية ومُتتبعات اللياقة البدنية، واجهة التفاعل الأقرب إلى جسم الإنسان، وقد حققت تقدماً مذهلاً في مجالات المراقبة الصحية والتدخل العلاجي.

1.3. تصنيف الأجهزة والابتكار العلاجي

يمكن تصنيف الأجهزة القابلة للارتداء في سياق الرعاية الصحية حسب درجة استخدامها إلى فئتين رئيسيتين: أجهزة المستهلك (Consumer Grade)، والتي تركز بشكل أساسي على تتبع اللياقة البدنية وأنماط النوم، والأجهزة السريرية (Clinical Grade)، والتي تُستخدم في المراقبة الطبية عن بعد وإدارة الحالات الصحية المعقدة (Consultancy, 2023).

لقد دفع الابتكار المستمر هذه الأجهزة لتتجاوز دورها في المراقبة والتشخيص إلى أن تصبح أدوات علاجية فعلية، وهو ما يطلق عليه "التطور العلاجي" (الويبو، 2024)، وتظهر أمثلة حديثة لهذا التطور في أجهزة مثل (Cala Health) التي صُممت لمعالجة رعشة اليد لدى مرضى الباركنسون، والنعال الذكية (FeetMe) التي تُحسن المشية والتوازن، كما أصبحت الأجهزة مثل مضخات الأنسولين وأجهزة المراقبة المستمرة للجلوكوز جزءاً لا يتجزأ من إدارة مرض السكري (الويبو، 2024).

إن التحول نحو "التطور العلاجي" يضخم الحاجة إلى دقة عالية في البيانات ويزيد من المخاطر في حال حدوث اختراق أمني أو تحيز في البيانات، مما يجعل حماية البيانات الحيوية مسألة ذات أهمية استراتيجية.

2.3. تحليل الآليات الجوهرية لقياس المؤشرات الحيوية

تعتمد الأجهزة القابلة للارتداء على تقنيتين رئيسيتين لقياس صحة القلب والأوعية الدموية: التصوير الضوئي للحجم (PPG) وتخطيط القلب الكهربائي (ECG).

1.2.3. تخطيط القلب الكهربائي (ECG)

تخطيط القلب الكهربائي (ECG) هو أداة تشخيصية طبية تقيس النشاط الكهربائي الذي يولده القلب أثناء انقباضه واسترخائه (COLMI، 2024)، ويتيح دمج هذه الوظيفة في الساعات الذكية للمستخدمين مراقبة إيقاع قلبهم بسهولة، حيث يمكن لتحليل الإشارات الكهربائية المُلتقطة أن يكشف عن اضطرابات نظم القلب، مثل عدم انتظام ضربات القلب أو الرجفان الأذيني (AFib)، وهو اضطراب يزيد من خطر الإصابة بالسكتة الدماغية بخمسة أضعاف (COLMI، 2024)، ويُعدّ هذا الابتكار رائداً لأنه يتيح الكشف المبكر عن المشاكل القلبية المحتملة ويحث المستخدمين على طلب الرعاية الطبية الفورية (COLMI، 2024).

2.2.3. التصوير الضوئي للحجم (PPG) وتطبيقاته المتقدمة

يُعدّ التصوير الضوئي للحجم (Photoplethysmography - PPG) تقنية تعتمد على الضوء لقياس التغيرات في حجم الدم تحت الجلد (COLMI، 2024)، وتعمل هذه التقنية عن طريق تسليط ضوء (غالباً أخضر أو أحمر) على الجلد، ومن ثم قياس كمية الضوء المنعكس أو المنقول.

وتتغير كمية الدم المارة تحت الجلد مع كل نبضة قلب، ويؤدي هذا التغير إلى تغير في امتصاص وانعكاس الضوء، مما يمكن الجهاز من استخلاص معلومات قيمة مثل معدل ضربات القلب، ومستويات الأكسجين في الدم (COLMI,2024)

ولتقنية PPG تطبيقات مهمة تتجاوز قياس النبض في حالات اليقظة؛ فهي تستخدم في مراقبة النوم، حيث يمكنها المساعدة في الكشف عن حالات مثل انقطاع التنفس الانسدادي أثناء النوم (Troester et al., 2023)، ويتم ذلك من خلال تتبع مستويات تشبع الأكسجين في الدم (SpO2)، وتحديد أنماط انخفاض الأكسجين التي تحدث أثناء توقف التنفس المؤقت، بالإضافة إلى تحليل التغيرات في معدل ضربات القلب التي تصاحب هذه الأحداث (Troester et al., 2023)، هذا يساهم في فهم صحة القلب والأوعية الدموية بشكل شامل (COLMI، 2024).

3.3. تحديات الدقة السريرية لمستشعرات PPG

على الرغم من إمكانياتها، تواجه تقنية PPG تحديات تتعلق بالدقة السريرية، فقد وُجد أن مستشعرات PPG، خاصة التي تعتمد على الضوء الأحمر، حساسة للغاية للحركة والضوضاء البيئية، مما قد يؤدي إلى عدم دقة في القراءات أثناء النشاط الرياضي القوي (Baek, 2023 & Kim).

ولمعالجة هذا التحدي، يُوصَى بالجمع بين مصادر ضوئية متعددة (كالأخضر والأحمر) لتعويض نقاط الضعف هذه وضمان الحصول على بيانات سريرية دقيقة (Baek, 2023 & Kim)، حيث يفرض هذا التحدي على المبتكرين ضرورة التركيز على تكنولوجيا الاستشعار المعززة لتقليل الأخطاء الناتجة عن الحركة، بدلاً من الاعتماد فقط على خوارزميات المعالجة للبيانات الرديئة، ويوضح الجدول التالي العلاقة بين تصنيف الأجهزة والتحديات القانونية والأخلاقية التي تفرضها:

الجدول رقم (17) تصنيف الأجهزة القابلة للارتداء والتحديات المصاحبة

فئة الجهاز	الهدف الأساسي والتطبيق	آلية القياس الرئيسية (مثال)	التحدي الأكاديمي/الأخلاقي

أجهزة المستهلك (Consumer Grade)	تتبع اللياقة البدنية والتحفيز (معدل ضربات القلب، النوم)	PPG (تتبع الحركة، SpO2)	التحيز في جمع البيانات، الحاجة إلى الموافقة الصريحة
الأجهزة السريرية (Clinical Grade)	التشخيص والمراقبة الطبية عن بعد	ECG (اكتشاف الرجفان الأذيني)، أجهزة مراقبة الجلوكوز	حماية الملكية الفكرية، أمان البيانات الصحية الشخصية

القسم الرابع: المساعدات الذكية والذكاء الاصطناعي الحواري

تُمثل المساعدات الذكية، مثل Alexa وGoogle Assistant، الواجهة الصوتية للتكنولوجيا التفاعلية، وهي تعتمد بشكل أساسي على معالجة اللغة الطبيعية (NLP) لإدارة التفاعل البشري.

1.4. الذكاء الاصطناعي الحواري كقناة تحكم مركزية

تقدم المساعدات الصوتية طرقاً جديدة للتفاعل مع التكنولوجيا دون الحاجة إلى شاشات أو مدخلات تقليدية (Internet Matters، 2023)، وهذا النمط من التفاعل أدى إلى دمج التكنولوجيا بسلاسة في الحياة اليومية، خاصة في بيئة المنزل الذكي (Singh, Panwar, et al., 2024).

وفي المنزل الذكي، تعمل المساعدات الذكية كنقطة تحكم مركزية (Central Control Point)، حيث تتلقى الأوامر الصوتية وتقوم بترجمتها وتنفيذها على الأجهزة المتصلة الأخرى (Singh, Panwar, et al., 2024)، حيث أن قدرة هذه الأجهزة على مساعدة العائلات في المطبخ، والتحكم في أجهزة المنزل، وحتى تشغيل الموسيقى (Internet Matters، 2023)، تشير إلى تحول الواجهة من نموذج "واجهة رسومية نشطة" إلى نموذج "الوكيل المستقل" (Autonomous Agent)، ويقلل هذا التطور من العبء المعرفي للمستخدم ويزيد من تفويضه للسيطرة إلى النظام.

2.4. المسار التفصيلي لمعالجة اللغة الطبيعية

تُعدّ معالجة اللغة الطبيعية (NLP) هي التكنولوجيا التي تُمكّن المساعدات الذكية من فهم اللغات البشرية وتفسيرها والاستجابة لها (Yellow.ai، 2023)، إذ أنها تسد الفجوة بين التواصل البشري المعقد والفهم الحسابي للآلة (IBM، 2024)، وتعمل المساعدات الذكية عبر مسار معالجة متسلسل، يشار إليه عادة باسم (NLP Pipeline)، يتم تنفيذه فور إصدار الأمر الصوتي:

1- **التعرف التلقائي على الكلام (ASR):** تبدأ العملية بالتقاط الصوت البشري (مثل قول " Alexa, turn on the lights") وتحويله إلى نص رقمي مفهوم للآلة، وذلك باستخدام تقنيات مثل خدمة (Amazon Transcribe) (AWS, 2024).

2- **فهم اللغة الطبيعية (NLU):** يدخل النص إلى هذه المرحلة حيث يستخدم النظام مزيجاً من اللغويات الحاسوبية والنمذجة الإحصائية (IBM، 2024). يتم إجراء التحليل النحوي (لتحديد بنية الجملة) والتحليل الدلالي (لاستخراج المعنى في السياق) لتحديد "النية" (Intent) المطلوبة و"الوحدات" (Entities) المرتبطة بها (Translated Labs، 2023).

3- **إدارة الحواروتوليد الاستجابة:** بعد تحديد النية، يتم تنفيذ الأمر المحدد، سواء كان تشغيل جهاز، أو جلب معلومة من قاعدة بيانات، أو إرسال طلب إلى خادم خارجي (Translated Labs، 2023)، ثم يتم توليد استجابة نصية (Yellow.ai, 2023)، وتحويلها إلى خطاب يبدو طبيعياً ليُنطق للمستخدم، باستخدام خدمات تحويل النص إلى كلام (AWS, 2024).

يوضح الجدول التالي المراحل المتسلسلة لتدفق البيانات في هذا المسار:

الجدول رقم (18): المخطط الانسيابي لمسارمعالجة اللغة الطبيعية (NLP Pipeline)

المرحلة	الوظيفة الرئيسية	الهدف
المدخل الصوتي	التقاط كلام المستخدم	تحويل الموجات الصوتية إلى إشارة رقمية.
التعرف التلقائي على الكلام (ASR)	تحويل الإشارة الرقمية إلى نص مكتوب	تجهيز البيانات للمعالجة اللغوية.
فهم اللغة الطبيعية (NLU)	التحليل النحوي والدلالي	تحديد نية المستخدم والكيانات (المقصد).
إدارة الحوار	تنفيذ النية المحددة	إرسال الأوامر إلى الأجهزة الذكية أو قواعد البيانات.
توليد الاستجابة (NLG)	صياغة الرد المناسب نصياً	إنشاء جمل متماسكة ومناسبة للسياق.
تحويل النص إلى كلام (TTS)	قراءة النص المُولد بصوت طبيعي	تقديم الاستجابة للمستخدم.

3.4. التحدي المعرفي: تجاوزفهم السياق

على الرغم من قدرة NLP على أداء مهام متقدمة مثل التعرف على الكيانات المسماة وتوضيح معنى الكلمة (Yellow.ai، 2023)، يظل التحدي الأكبر في تجاوز فهم الجملة الواحدة إلى فهم سياق المحادثة بأكملها، وهو ما يشار إليه بـ"القرار المرجعي المشترك" (Yellow.ai، 2023)، إذ أن عدم القدرة على تتبع السياق عبر محادثات متعددة يحد من العمق الفعلي للتفاعل.

ويثير هذا القصور تساؤلات حيوية حول المسؤولية القانونية في حال تنفيذ أمر خاطئ (كأن يتم تغيير إعدادات حيوية) نتيجة لفشل في فهم السياق المعقد، وبما أن الوكيل الصوتي يقلل العبء المعرفي البشري، فإن هامش الخطأ يتسع في المهام غير الروتينية، مما يستلزم أطراً قانونية واضحة لتحديد مسؤولية الوكيل الآلي مقابل مسؤولية الشركة المطورة.

القسم الخامس: الاعتبارات الأخلاقية والقانونية وحماية الابتكار

إن التوسع في استخدام الأجهزة التفاعلية يفرض تحديات عميقة تتعلق بإدارة البيانات والمسؤولية القانونية وحماية المستهلكين، خاصة مع تزايد حساسية البيانات المجمعة.

5.1. تحديات الخصوصية والأمن والتحيز في البيانات

1.1.5. الشفافية والموافقة

يُعدّ ضمان أمان البيانات التكنولوجية أمراً ضرورياً للحفاظ على ثقة العملاء حيث يتطلب هذا الالتزام من الشركات اتخاذ تدابير صارمة لحماية البيانات المجمعة (سواء كانت بيانات حيوية من الأجهزة القابلة للارتداء أو بيانات سلوكية من المساعدات الذكية) من الوصول غير المصرح به، بما في ذلك تنفيذ بروتوكولات أمان قوية واستخدام تقنيات التشفير (Capulli et al., 2025).

وتُعدّ الشفافية والموافقة حاسمتين في هذا المجال؛ إذ يجب تزويد العملاء بتفسيرات واضحة ومفهومة حول نوعية البيانات وكيف سيتم استخدامها، والحصول على موافقة صريحة ومناسبة (Capulli et al., 2025). وفيما يتعلق بالبيانات الحيوية المترابطة، تجعل طبيعة وحجم هذه البيانات إخفاء هويتها الكامل تحدياً تقنياً وعملياً كبيراً (Steger, 2021 & Predel)، ولذلك يجب تبني نماذج "الخصوصية بالصميم" (Privacy by Design) لتقليل جمع البيانات الحساسة من الأساس، بدلاً من محاولة إخفاء هويتها بعد جمعها.

2.1.5. تحدي التحيز وعدم التمثيل العادل

تواجه التكنولوجيا التفاعلية تحدي التحيز في جمع البيانات إذ أن الاعتماد على مصادر بيانات غير ممثلة بشكل كامل للجمهور المستهدف يمكن أن يؤدي إلى رؤى منحرفة وافتراضات غير صحيحة، مما يؤثر على دقة وموثوقية الأداء (Capulli et al., 2025).

فعلى سبيل المثال، قد تؤدي مجموعات البيانات المتحيزة وغير العادلة إلى استبعاد أجزاء من السكان وتفاقم الفوارق الصحية، وتهميش الفئات الضعيفة التي تعاني بالفعل من عدم المساواة في الحصول على المزايا الصحية (Capulli et al., 2025)، وبالإضافة إلى ذلك فإن الغموض القائم بين المجال التجاري (مُتتبعات اللياقة) والمجال الطبي (الأجهزة السريرية) يزيد من تحديات أمن البيانات والخصوصية (Steger, & Predel 2021).

2.5. الحماية القانونية للابتكاروالملكية الفكرية (IP)

يُعتبر وجود ملكية فكرية قوية عنصراً حيوياً لحماية الابتكار الطبي، خاصة مع التحول نحو الأجهزة القابلة للارتداء التي تتدخل علاجياً (الويبو، 2024)، فالتطور السريع للأجهزة التفاعلية خاصة في مجال الرعاية الصحية، يفوق غالباً سرعة تطوير الأطر القانونية التي تنظمها، وهذا يخلق "فجوة تنظيمية" تتطلب تدخلاً عاجلاً، حيث يمكن للأجهزة ذات الوظائف السريرية أن تُستخدم في إعدادات غير منظمة، مما يعرض حقوق المستهلكين للخطر.

وتلعب قواعد الملكية الفكرية القوية دوراً حيوياً في ضمان وصول الأجهزة عالية الجودة إلى المرضى، بينما تحمي المستخدمين من المنتجات المقلدة أو المتدنية الجودة التي قد تعرض صحتهم للخطر (الويبو، 2024)، لذلك يجب تبني استراتيجية قانونية سليمة لحماية الملكية الفكرية للمبتكرين وفي الوقت نفسه حماية بيانات المستخدم، لضمان نظام رعاية صحية أكثر استدامة.

القسم السادس: آفاق المستقبل والتوصيات

1.6. تكامل الأنظمة التفاعلية والتوجه نحو الوقاية الصحية عن بعد

يشير الاتجاه المستقبلي إلى تكامل أعمق بين الأجهزة التفاعلية الثلاثة، مما يزيد من أتمتة المهام المعرفية والمنزلية، ومن المتوقع أن يلعب دور الأجهزة القابلة للارتداء دوراً أكبر في المراقبة الصحية عن بُعد (Remote Healthcare Monitoring) والوقاية (Troester et al., 2023)، فمن خلال جمع البيانات الحيوية بشكل مستمر يمكن لهذه الأجهزة أن تساهم في وجود نظام رعاية صحية أكثر استدامة يعتمد على الوقاية كعنصر أساسي (الويبو، 2024).

وسيؤدي هذا التكامل إلى نشوء بيئات ذكية بالكامل، حيث تستخدم الألواح التفاعلية في المؤسسات لعرض نتائج تحليل البيانات، بينما تقوم المساعدات الذكية بتحويل هذه التحليلات إلى أوامر تنفيذية، وتُجمع الأجهزة القابلة للارتداء البيانات اللازمة لتقييم صحة وكفاءة الأفراد العاملين أو الساكنين في تلك البيئة (Samsidar, Atnang, & Fajar, 2025).

ملخص المحاضرة:

لقد أثبتت تكنولوجيا الأجهزة التفاعلية، بمكوناتها الرئيسية (الألواح الإلكترونية، الأجهزة القابلة للارتداء، والمساعدات الذكية)، أنها محرك رئيسي لعصر إنترنت الأشياء، حيث تحول التفاعل البشري إلى عمليات آلية ذكية ومترابطة (AWS، 2024).

كما أن الألواح التفاعلية تعيد تشكيل البيئات التعليمية عبر تعزيز الأساليب التفاعلية (Skulil & Manenova, 2012)، والأجهزة القابلة للارتداء تُحدث ثورة في الرعاية الصحية بانتقالها من المراقبة إلى التدخل العلاجي الفعلي (الويبو، 2024)، بينما تُمكّن المساعدات الذكية من الأتمتة اليومية عبر براعة معالجة اللغة الطبيعية (Yellow.ai، 2023).

ويكمن التحدي الأهم مستقبلاً في مواءمة سرعة الابتكار التقني مع الأطر التنظيمية والقانونية، خاصة فيما يتعلق بخصوصية وأمن البيانات الحيوية، وضمان جودة الأجهزة الطبية القابلة للارتداء من خلال حماية الملكية الفكرية (الويبو، 2024).

إن مستقبل التكنولوجيا التفاعلية يتطلب موازنة دقيقة ومستمرة بين قدرة الآلة المتنامية على فهمنا، وبين حقنا الأساسي في السيطرة على بياناتنا وخصوصيتنا.

قائمة المراجع

1- AWS. (2024). *شرح "إنترنت الأشياء(IoT) ما المقصود بإنترنت الأشياء؟".* تم الاسترجاع من https://aws.amazon.com/ar/what-is/iot/

2- Capulli, E., Carbone, C., Palumbo, M., Golinelli, D., Roccetti, M., & Prandi, C. (2025). *Ethical and legal issues in health-related mobile and wearable device usage. Social Science & Medicine, 370*, 117685. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117685

3- COLMI. (2024). *إلقاء الضوء على تدفق الدم: PPG وظيفة.* تم الاسترجاع من https://ar.colmi.com/news/unveiling-the-power-of-ecg-and-ppg-in-smartwatches-a-journey-into-health-science/

4- For Insights Consultancy. (2023). *أبحاث واتجاهات سوق التكنولوجيا الصحية القابلة للارتداء، 2024–2030*. تم الاسترجاع من https://www.forinsightsconsultancy.com/ar/wearable-health-technology-market/

5- IBM. (2024). *ما المقصود بمعالجة اللغة الطبيعية (NLP)*؟ تم الاسترجاع من https://www.ibm.com/sa-ar/think/topics/natural-language-processing

6- Internet Matters. (2023). *كيف تُغيّر المساعدات الصوتية طريقة استخدامنا للتكنولوجيا*. تم الاسترجاع من https://www.internetmatters.org/ar/hub/expert-opinion/how-voice-assistants-are-changing-the-way-we-use-technology/

7- Kim, K. B., & Baek, H. J. (2023). *Photoplethysmography in wearable devices: A comprehensive review of technological advances, current challenges, and future directions. Electronics, 12*(13), 2923. https://doi.org/10.3390/electronics12132923

8- Kim, J., Song, W., Jung, S., Kim, Y., Park, W., You, B., & Park, K. (2020). *Capacitive heart-rate sensing on touch screen panel with laterally interspaced electrodes. Sensors, 20*(14), 3986. https://doi.org/10.3390/s20143986

9- Predel, R., & Steger, F. (2021). *Ethical and legal implications of health-related mobile and wearable devices.* [Manuscript].

10- Samsidar, A., Atnang, M., & Fajar, N. (2025). *The impact of Internet of Things (IoT) applications in agriculture and healthcare: Advancements, challenges, and future directions. International Journal of Science Technology and Health, 3*(2).

11- Singh, S., Panwar, S. S., Dahiya, H., & Khushboo. (2024). *Artificial intelligence voice assistant and home automation. International Journal of Science and Research Archive, 12*(1), 2006–2017.

12- Skulil, M., & Manenova, M. (2012). *Interactive white board in primary school environment. International Journal of Education and Information Technologies, 6*(1), 123–130.

13- SMART Technologies. (2009). *SMART Board: دليل المستخدم*. تم الاسترجاع من https://downloads.smarttech.com/media/sitecore/ar/support/product/smartboards-fpd/v200series/guides/guidev280v4sep09.pdf

14- Translated Labs. (2023). *تطبيق Alexa Translated Skill*. تم الاسترجاع من https://translatedlabs.com/%D8%AA%D8%B7%D8%A8%D9%8A%D9%82-alexa-translated-skill

15- Troester, M., Munafo, J., Khoury, M., & Lim, D. (2023). *Human sleep scoring ambiguity and stability in health and sleep apnea: An artificial intelligence perspective. Frontiers in Sleep, 2*, Article 1163477. https://doi.org/10.3389/frsle.2023.1163477

16- Yellow.ai. (2023). *ما هي معالجة اللغات الطبيعية (NLP)*؟ تم الاسترجاع من https://yellow.ai/ar/blog/natural-language-processing/

17- الواحة الأكاديمية. (2023). *إنترنت الأشياء – رحلة من المفهوم إلى بلدنا*. تم الاسترجاع من https://wpu.edu.sy/wpua/%D8%A5%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%86%D8%AA-

%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B4%D9%8A%D8%A7%D8%A1-%D8%B1%D8%AD%D9%84%D8%A9-%D9%85%D9%86-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%81%D9%87%D9%88%D9%85-%D8%A5%D9%84%D9%89-%D8%A8/

18- الويبو (WIPO). (202428 ، يونيو). *هل يمكن أن تساعد الأجهزة القابلة للارتداء في علاج الأمراض غير المعدية؟* المنظمة العالمية للملكية الفكرية. تم الاسترجاع من https://www.wipo.int/ar/web/global-health/w/news/2024/news_0012

المحاضرة الحادية عشر: الكتب الإلكترونية والنشر الرقمي

مقدمة:

يمثل ظهور الكتب الإلكترونية وتكنولوجيا النشر الرقمي (E-Publishing) تحولاً جذرياً في سلسلة القيمة المعرفية، حيث أعاد صياغة كيفية إنتاج المعرفة وتوزيعها واستهلاكها على مستوى، ولا يمكن النظر إلى هذا التحول على أنه مجرد استبدال للوسيط الورقي بآخر إلكتروني، بل هو ثورة معرفية وتكنولوجية تتطلب دراسة معمقة لأبعادها الاقتصادية والتعليمية والقانونية، وتكتسب هذه المحاضرة أهميتها البالغة من تحليل الأبعاد المتعددة التي أثرت بها تكنولوجيا الكتب الإلكترونية على البنية التحتية للمعلومة.

حيث يُنظر إلى النشر الإلكتروني على أنه امتداد تاريخي منطقي للتحولات الكبرى في مجال تداول المعلومات، فكما كان لاختراع يوهان جوتنبرج لآلة الطباعة في القرن الخامس عشر أثرٌ عظيمٌ في إطلاق "ثورة الطباعة" التي سهّلت الإنتاج الكمي للمعلومة، كذلك أدت الثورة الرقمية الحديثة إلى تسريع عملية التوزيع وجعل المحتوى متاحاً عالمياً وفورياً، وهذا التطور التاريخي يوضح أن التحدي المعاصر لم يعد محصوراً في كيفية إنتاج المعلومة بكميات كبيرة، بل انتقل إلى تحدي التوزيع الفوري وإمكانية التفاعل مع المحتوى، وهو ما يتطلب فهماً دقيقاً لكيفية عمل المنصات الحديثة وتأثير الأدوات المتقدمة كالذكاء الاصطناعي في صياغة المحتوى نفسه.

القسم الأول: مفهوم النشر الرقمي والكتب الإلكترونية

1.1. المفهوم الأكاديمي للكتب الإلكترونية والنشر الرقمي (E-Publishing)

يشير النشر الإلكتروني إلى العملية الشاملة لنشر وتبادل المحتوى الرقمي عبر شبكة الإنترنت، أما الكتاب الإلكتروني فيُعرَّف أكاديمياً بأنه تقنية لعرض المحتوى في شكل إلكتروني أو رقمي (أمين، 2007، ص. 5)، وهذا المحتوى يتم تحويله من شكله الورقي المطبوع إلى شكل رقمي ويُخزّن على وسائط متنوعة أو يتاح مباشرة عبر الشبكة العالمية، وبالتالي لا يمكن الاستفادة من هذا التراث الإلكتروني وقراءته إلا من خلال الأجهزة الحاسوبية أو القارئات الإلكترونية المخصصة (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

ويتميز النشر الرقمي بعدة خصائص جوهرية تفصله عن النشر التقليدي، من أهمها أنه يوفر تكاليف إنتاجية أقل بكثير من نظيره التقليدي، مما يجعله متاحاً لعدد أكبر من الأفراد والمؤسسات ((م.ب.أ.-941608), د.ت.)، ويؤكد هذا التحليل أن النشر الإلكتروني يعتبر بديلاً فعالاً من حيث التكلفة، مقارنة بالنفقات الكبيرة المرتبطة بالطباعة والتوزيع والنقل في النموذج التقليدي (ديجيتال بلس، 2025).

كما يتمتع النشر الإلكتروني بسرعة فائقة في إنتاج وتوزيع المواد (الربيع، د.ت.)، وإمكانية إجراء التعديلات والتحديثات على المحتوى بشكل فوري، دون الحاجة لانتظار إصدار طبعات جديدة (الصباغ، د.ت.). والأهم من ذلك، أنه يضمن وصول المحتوى إلى جميع الأشخاص في أنحاء العالم دون قيود جغرافية، مما يعزز من حرية تداول المعرفة ((م.ب.أ.-941608), د.ت.).

2.1. التحول التاريخي من ثورة الطباعة إلى العصر الرقمي

لفهم الأهمية المعاصرة للنشر الإلكتروني، يجب تأصيله تاريخياً كإحدى مراحل تطور الكتابة والنشر في تاريخ البشرية ، حيث بدأت المراحل الأولى بالكتابة على وسائط بدائية كالأحجار وألواح الطين، مروراً باكتشاف الورق في الصين عام 105م، وكان التحول الأبرز مع اختراع يوهان جوتنبرج لآلة الطباعة في عام 1455، وهي المرحلة التي يشار إليها بـ"ثورة الطباعة" (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

وركزت هذه الثورة على تحويل الكتابة من عمل يدوي نادر ومكلف إلى منتج يمكن توفيره بكميات كبيرة، ولكنها أبقت الكتب محكومة بقيود الوسيط المادي (الورق والتخزين والتوزيع اللوجستي).

ثم جاءت مرحلة النشر الإلكتروني في أواخر القرن العشرين لتمثل المرحلة التالية والأكثر، وقد بدأت هذه المرحلة بمشاريع تحويل التراث والمصادر المكتوبة إلى شكل رقمي، تخزن على الأقراص المدمجة ثم تتاح عبر شبكة الإنترنت. وقد حمل أول مشروع للنشر الإلكتروني على الشبكة العالمية اسم جوتنبرج، في إشارة رمزية إلى التطور التقني الذي يواصل مهمة نشر المعرفة عالميا،

ويمكن تلخيص هذا التحول كانتقال نوعي من حالة الندرة المادية للمعلومة، التي كانت تحكم النشر الورقي، إلى حالة الوفرة اللامحدودة التي يوفرها النشر الرقمي (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.)، وهذا الانتقال هو جوهر التغيير في النموذج المعرفي والاقتصادي، حيث لم يعد التحدي هو الوصول إلى المحتوى، بل فرزه ومعالجته.

3.1. الآثار الهيكلية: إعادة تشكيل سلسلة قيمة النشر (The Value Chain)

تعتبر سلسلة القيمة (Value Chain) نموذجاً تنظيمياً ابتكره مايكل بورتر، يوضح كيف تضيف الأنشطة المتتابعة قيمة إلى المنتج النهائي، بدءاً من المواد الخام وصولاً إلى المستهلك (هارفارد بزنس ريفيو، د.ت.)، حيث أعاد النشر الرقمي هندسة هذه السلسلة مقارنة بالنموذج التقليدي بشكل جذري (كوتب، 2025).

إن السمة الأبرز لهذا التحول هي إلغاء الوسطاء (Disintermediation) في النموذج الورقي،إذ كان هناك اعتماد كبير على شبكات معقدة من الموزعين وبائعي الجملة والمكتبات للوصول إلى الجمهور، أما النشر الإلكتروني فقد

قلل بشكل كبير من الحاجة إلى هؤلاء الوسطاء، وهذا التغيير يمنح المؤلفين والباحثين القدرة على النشر الذاتي والتعاون المباشر في إنتاج المواد ونشرها، مما يؤدي إلى سرعة غير مسبوقة في إيصال المحتوى (الصباغ، د.ت.).

لقد تغيرت المكونات الأساسية لسلسلة القيمة الرقمية؛ حيث تحول التركيز في مرحلة الإنتاج والتنسيق من تكاليف الطباعة المادية والتخزين إلى جودة تنسيقات الملفات الرقمية مثل EPUB وتكامل الوسائط المتعددة ((م.ب.أ.-941608), د.ت.).

أما التوزيع، فأصبح يتم فورياً وعالمياً عبر المنصات والمكتبات الإلكترونية (الصباغ، د.ت.) وفي المقابل، تحول التسويق من الإعلانات المطبوعة إلى التسويق الرقمي الموجه القائم على تحليل بيانات المستخدمين وسلوكهم (الربيع، د.ت.)، علاوة على الكفاءة الاقتصادية، يحمل النشر الإلكتروني بعداً أخلاقياً يتمثل في المحافظة على البيئة من خلال الحد من التلوث الناتج عن نفايات تصنيع الورق (الربيع، د.ت.). وهذا البعد يضيف ميزة تنافسية مستدامة للنموذج الرقمي مثلما يوضح الجدول التالي المقارنة الهيكلية للتحول في سلسلة قيمة النشر

الجدول رقم (19): المقارنة الهيكلية للتحول في سلسلة قيمة النشر

عنصر سلسلة القيمة	نموذج النشر التقليدي (الورقي)	نموذج النشر الرقمي (E-Books)
الإنتاج/التصنيع	طباعة مكلفة، تخزين مادي، حاجة إلى ورق وخدمات لوجستية.	إنتاج رقمي منخفض التكلفة، لا حاجة للتخزين المادي
التوزيع والنقل	شبكات لوجستية معقدة، تكاليف شحن، وسطاء متعددون.	توزيع فوري وعالمي عبر الإنترنت، إتاحة واسعة النطاق، إلغاء الوسطاء
التعديل والتحديث	عملية بطيئة ومكلفة، تتطلب إصدار طبعة جديدة بالكامل.	تعديلات فورية وسريعة على المحتوى الرقمي عبر الإنترنت
الوصول والاستهلاك	محدود بالجغرافيا والوقت، يتطلب حيازة مادية للكتاب.	وصول غير محدود جغرافياً، يتطلب أجهزة قراءة أو حواسيب

هذا التحول الهيكلي، وخاصة إلغاء الوسطاء، يركز السلطة في يد منصات التوزيع الرقمية الكبرى، ويعزز هذا التركيز نموذج "الوصول" إلى المعلومة بدلاً من "الملكية المادية"، مما يضع ضغوطاً جديدة على كيفية إدارة الحقوق الرقمية وحمايتها، وهو ما سيتم تحليله لاحقاً (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

القسم الثاني: منصات القراءة التفاعلية والوسائط المتعددة (Interactive E-book Platforms)

1.2. مفهوم الكتاب الإلكتروني التفاعلي وخصائصه الجوهرية

يُعد الكتاب الإلكتروني التفاعلي تطوراً نوعياً عن الكتاب الرقمي الثابت (مثل ملف PDF البسيط)، ويُعرَّف الكتاب التفاعلي أكاديمياً بأنه محتوى رقمي تعليمي يتضمن مادة علمية تعتمد على دمج عناصر الوسائط المتعددة في إعداده (العجرمي, 2016)، إذ أنه يوفر للمستخدم قدرات تتجاوز مجرد القراءة، مثل خدمات التصفح والبحث والطباعة، مع إمكانية إضافة خدمات تفاعلية متقدمة (العجرمي, 2016، ص. 216).

وتتفق الدراسات الأكاديمية على مجموعة من الخصائص الجوهرية التي تميز الكتب التفاعلية (العجرمي, 2016):

1- **إمكانية البحث بين النصوص:** القدرة على إجراء بحث فوري ومباشر ضمن محتوى الكتاب التفاعلي، مما يسهل استرجاع المعلومات (الحلفاوي, 2006، ص. 151).

2- **التدوين والتعليق (Annotation):** يتيح الكتاب التفاعلي للقارئ إضافة الملاحظات والتعليقات والعلامات المرجعية داخل النص، وهي خاصية حيوية للطلاب والباحثين (العجرمي, 2016، ص. 216).

3- **الروابط الفائقة (Hyperlinks):** يحتوي الكتاب على روابط تمكن المتعلم من الوصول السريع إلى مصادر تعلم إضافية مرتبطة بالمحتوى، مما يفتح النص على شبكة واسعة من المعرفة (العجرمي, 2016، ص. 216).

4- **تكامل الوسائط المتعددة:** يشمل تشغيل الصوت وعرض الفيديو والصور المتحركة كجزء أصيل من تجربة القراءة والتعلم (العجرمي, 2016، ص. 216).

2.2. دور الوسائط المتعددة في تعميق تجربة القراءة

يؤدي دمج عناصر الوسائط المتعددة (الصوت والصورة والفيديو) دوراً محورياً في تحويل تجربة القراءة من عملية سلبية إلى عملية تعلم نشطة (العجرمي, 2016)، وتشير الأبحاث إلى أن استخدام الكتاب الإلكتروني التفاعلي يساهم في رفع مستوى التحصيل لدى المتعلمين، كما يشجعهم على التعلم والقراءة لفترات طويلة دون الشعور بالملل (العجرمي, 2016)، وقد أكدت دراسات مثل تلك التي أجراها بني فواز (2018) فاعلية الكتاب الإلكتروني التفاعلي في رفع التحصيل الدراسي لدى الطلاب (بني فواز، 2018).

في البيئات التعليمية، يمثل الكتاب التفاعلي حلاً هيكلياً للعديد من التحديات، حيث يحول الكتاب من كونه مجرد "وعاء معلوماتي" ثابت إلى "بيئة تعلم ديناميكية" تدعم النماذج البنائية للتعليم، حيث يبني المتعلم معرفته ذاتياً عبر التفاعل مع الأدوات المتنوعة (العجرمي, 2016)، كما أن استخدام هذه الأدوات يعمل على تنمية مهارات التفكير لدى المتعلمين، لا سيما مهارات التفكير النقدي والتحليلي (العجرمي, 2016).

ومع ذلك، تواجه هذه التفاعلية مفارقة معرفية يجب معالجتها بمنهجية دقيقة، وتتمثل هذه المفارقة في أن الميزات التفاعلية التي تم تصميمها لتعزيز التعلم قد تؤدي في الواقع إلى تشتيت الانتباه وتقليل الاستيعاب العميق، إذا لم تُصمم بشكل منهجي (Lim, 2020)، حيث تشير دراسات أكاديمية مقارنة بين القراءة على الكتب الإلكترونية التفاعلية مقابل القراءة القائمة على الورق (Lim, 2020) إلى أن بعض الطلاب يميلون إلى التشتت بـ "النقاط الساخنة" التفاعلية وقضاء وقت في "اللعب" بهذه الميزات، مما قد يؤدي إلى استيعاب أقل مقارنة بمن يقرأون النصوص الورقية (Lim, 2020).

ويوضح هذا أن نجاح الكتاب التفاعلي مرهون بالمنهجية التربوية المتبعة في تصميمه، حيث يجب أن تكون نقاط التفاعل مصممة بذكاء لخدمة النص وعدم تشتيت القارئ (Bus, 2004 & De Jong، كما ورد في Whitehead, د.ت.).

3.2. القراءة الاجتماعية (Social Reading) كبعد تفاعلي متقدم

تمثل "القراءة الاجتماعية" بُعداً تفاعلياً متقدماً يضاف إلى خصائص الكتاب الإلكتروني، إذ يرتكز هذا المفهوم على إتاحة الفرصة للقراء لتبادل التعليقات والملاحظات مباشرة حول فقرات محددة من النص، وبناء مجتمعات افتراضية للقراءة والنقاش (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

وفي السياق الأكاديمي، تتجاوز القراءة الاجتماعية التفاعل الفردي لتدخل في سياق الإنتاج المعرفي الجماعي، فهي تعزز التقييم والتعاون المشترك في تحليل النصوص، حيث يمكن للباحثين والمحققين العمل معاً على نفس النص الرقمي، وإضافة تعليقاتهم ومنتجاتهم الفكرية بشكل متزامن.

هذا النوع من التفاعل يدعم مهارات التفكير الجماعي ويخلق بيئة للتعلم المتبادل، مما يثري العملية البحثية والتعليمية بشكل كبير، ويجعلها أداة حاسمة في بيئات البحث التعاوني مثل مراجعة الأقران وتحليل المصادر التراثية (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

القسم الثالث: دور الذكاء الاصطناعي في معالجة المحتوى (AI Applications)

1.3. الذكاء الاصطناعي ومعالجة اللغة الطبيعية (NLP)

دخل الذكاء الاصطناعي (AI) كقوة دافعة في صناعة النشر الرقمي، خاصة في مرحلة ما بعد إنتاج المحتوى. تعتمد تطبيقات الذكاء الاصطناعي الموجهة لمعالجة الكتب والنصوص الرقمية بشكل أساسي على حقل معالجة اللغة الطبيعية (NLP) والتعلم العميق (Deep Learning) (Pluaris, د.ت.).

ويُعرّف معالجة اللغة الطبيعية بأنه فرع من فروع الذكاء الاصطناعي يتيح لأجهزة الكمبيوتر فهم اللغة البشرية وإنشائها ومعالجتها (Oracle, د.ت.)، حيث تسمح هذه الأدوات للأنظمة الحاسوبية بفهم، توليد، وتلخيص النصوص البشرية بكميات هائلة، مما يعزز كفاءة العمليات المعرفية، بما في ذلك تلخيص النصوص وتحليل آراء القراء (Pluaris, د.ت.; علي، 2024).

2.3. تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الترجمة الآلية للكتب الرقمية

تُعد الترجمة الآلية أحد أهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي أثرت مباشرة على النشر الرقمي، خاصة في توسيع قاعدة الوصول الجغرافي والثقافي (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.)، وتعتمد الأنظمة الحديثة على ما يُعرف بالترجمة العصبية الآلية (Neural Machine Translation - NMT)، التي تستخدم الشبكات العصبية لتحليل النصوص ونقلها بين اللغات بدرجة عالية من الكفاءة (Amazon Web Services, د.ت.).

توفر الترجمة العصبية الآلية مزايا حاسمة في بيئة النشر:

1- **السرعة والإنتاجية:** تتيح ترجمة كميات ضخمة من المحتوى بشكل فوري وموثوق، وهو أمر مستحيل تحقيقه بالطرق البشرية التقليدية في ظل ضغط الإنتاج الرقمي.

2- **تكسير حواجز اللغة:** تساهم في تسهيل النشر العابر للثقافات، مما يمكن المؤلفين الأكاديميين من الوصول إلى جمهور عالمي أوسع لا يتقن لغتهم الأصلية (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

ومع ذلك، تواجه الترجمة الآلية تحديات معرفية مهمة، فبينما تتسم بالفعالية في نقل المعنى الحرفي، تظل الدقة التامة والفهم العميق للسياقات الثقافية والمصطلحات التخصصية المعقدة، خاصة في النصوص الأكاديمية أو التراثية، تحدياً قائماً. هذه الأنظمة تحتاج إلى تطوير مستمر لضمان عدم فقدان الفروق الدقيقة أثناء عملية النقل اللغوي (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

3.3. الذكاء الاصطناعي في تلخيص النصوص (Summarization)

يُعد تلخيص النصوص المدعوم بالذكاء الاصطناعي أداة بالغة الأهمية للباحثين، حيث يوفر رؤى معمقة وعناصر عمل مهمة تتجاوز فعالية الملخصات القصيرة التقليدية (Niuversity, د.ت.)، حيث يتميز تلخيص

النصوص بمنهجين رئيسيين يختلفان في آلية العمل والناتج المعرفي (Pluaris, د.ت.): التلخيص الاستخراجي (Extractive) والتلخيص التجريدي (Abstractive).

1.3.3. التلخيص الاستخراجي (Extractive AI)

تعتمد هذه الطريقة على تحديد وإبراز الجمل الرئيسية الأكثر أهمية في النص الأصلي، ثم جمعها لتكوين الملخص دون تغيير الصياغة الأصلية (Wisedocs.ai, د.ت.)، ويحافظ هذا النوع من الملخصات على الدقة اللغوية ومفردات المصدر بشكل موثوق، مما يجعله انعكاساً دقيقاً للمعلومات الأصلية (Wisedocs.ai, د.ت.).

بشكل عام يعتبر التلخيص الاستخراجي ضرورياً لحفظ النزاهة والدقة، وهو المنهج المفضل عند التعامل مع البيانات الحساسة مثل السجلات الطبية أو النصوص القانونية، حيث تكون سلامة البيانات وموثوقيتها هي الأولوية القصوى (Wisedocs.ai, د.ت.).

2.3.3. التلخيص التجريدي (Abstractive AI)

يُعد هذا المنهج الأكثر تطوراً في تلخيص النصوص، حيث يقوم بإنشاء صياغة جديدة للملخص بناءً على فهم الذكاء الاصطناعي للمعنى الكلي للنص (التوليد) (Pluaris, د.ت.)، وينتج عن ذلك ملخص موجز وسهل الهضم يوفر نظرة شاملة ورؤى معمقة للقارئ (Niuversity, د.ت.)، وكثيرا ما يفضل استخدام هذا النوع لتحقيق الفهم السريع للمقالات والكتب المعقدة، ويسهل إعداد مراجعات أدبية سريعة لأنه يقدم المعلومات المهمة في شكل أقصر وأكثر قابلية للقراءة (Pluaris, د.ت.).

إن العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والنشر ليست مجرد علاقة كفاءة، بل هي علاقة تحدي للنزاهة الأكاديمية. عند استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي في تلخيص الكتب الأكاديمية، يجب على الباحثين أن يدركوا المفاضلة بين النزاهة والفعالية.

ويعتبر التلخيص الاستخراجي الأكثر موثوقية ويعكس البيانات الأصلية بدقة، مما يحمي سلامة المحتوى (Wisedocs.ai, د.ت.)، في المقابل يقدم التلخيص التجريدي فعالية وسرعة هضم، ولكنه قد يخاطر بفقدان دقة المعنى الأصلي أو إدخال أخطاء صياغية غير مقصودة (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.)، ويفرض هذا التحدي على المؤسسات التعليمية وضع "مبادئ توجيهية أخلاقية" لتشجيع الأدوات الاستخراجية في البحث الأولي الذي يتطلب دقة عالية (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.)، ويوضح الجدول التالي المقارنة بين خصائص أنواع التلخيص بالذكاء الاصطناعي:

الجدول رقم (20): الخصائص الأكاديمية لأنواع تلخيص النصوص بالذكاء الاصطناعي

نوع التلخيص	آلية العمل الأساسية	الناتج (الخصائص)	الاستخدام الأكاديمي الأمثل
الاستخراجي (Extractive AI)	يختار الجمل الرئيسية مباشرة من النص الأصلي (اقتباس).	يحافظ على الدقة اللغوية ومفردات المصدر؛ الأكثر موثوقية (Wisedocs.ai, د.ت.).	ضمان نزاهة المحتوى، العمل على النصوص القانونية والبيانات الحساسة.
التجريدي (Abstractive AI)	ينشئ صياغة جديدة للملخص بناءً على فهم المعنى الكلي (توليد).	ملخص موجز وسهل الهضم؛ يوفر نظرة شاملة ورؤى معمقة (Niuversity, د.ت.).	الفهم السريع للمفاهيم المعقدة، إعداد ملخصات سريعة (Pluaris, د.ت.).

القسم الرابع: التحديات القانونية والتقنية للنشر الرقمي

4.1. تحديات حماية الملكية الفكرية في البيئة الرقمية (Intellectual Property)

على الرغم من المزايا الهائلة للنشر الرقمي، فإنه يواجه تحديات حرجة تتعلق بحماية حقوق المؤلف والناشر (Alzboon.com, د.ت.). وقد أدى التحول إلى البيئة الرقمية إلى تضخيم مشكلة القرصنة الإلكترونية (Digital Piracy)، حيث تتعرض الكتب الإلكترونية والمقالات لعمليات نسخ ونشر واسعة النطاق دون الحصول على إذن رسمي من مالكي الحقوق (Alzboon.com, د.ت.)، ويتم نشر هذه المواد عبر مواقع غير قانونية أو شبكات مشاركة الملفات، مما يشكل تهديداً مباشراً لاستدامة صناعة النشر (Alzboon.com, د.ت.).

كما يشكل النشر غير المرخص للمحتوى الإبداعي على منصات التواصل الاجتماعي تحدياً آخر، حيث يتم مشاركة الكتب والمقالات بشكل واسع دون احترام حقوق التأليف والنشر، حيث يصعب جداً على مالكي الحقوق تتبع محتواهم والتحكم في انتشاره (Alzboon.com, د.ت.).

2.4. إدارة الحقوق الرقمية (DRM): الإطار التقني والصراع بين الناشر والمستخدم

للتصدي لهذه التحديات، تم تطوير تقنيات إدارة الحقوق الرقمية (Digital Rights Management - DRM)، وهذه التقنيات هي آليات حماية تقنية تهدف إلى إدارة والتحكم في استخدام الأعمال الرقمية، وضمان منع الاستخدام غير القانوني وتتبع الإيرادات المستحقة لأصحاب الحقوق (Rosenblatt, 2004)، حيث تشمل عادةً التشفير المتقدم (Encryption) واستخدام العلامات المائية الرقمية (Digital Watermarking) كنظم لحماية حقوق النشر (Applied and Computational Engineering, 2024).

ومع ذلك، أدت أنظمة DRM إلى نشوء صراع معقد بين مصالح أصحاب الحقوق ومتطلبات المستخدمين الأكاديميين:

1. **مطالب أصحاب الحقوق:** يسعى الناشرون ومالكو الحقوق إلى أنظمة DRM تمكنهم من تتبع الاستخدام غير القانوني لوسائطهم، وتحصيل الإيرادات بشكل صحيح مقابل استخدام أعمالهم، والأهم من ذلك، إنشاء قنوات توزيع آمنة تمنع الاستخدام غير المصرح به لمصنفاتهم (Rosenblatt, 2004).

2. **مطالب المستخدمين الأكاديميين والجمهور:** يطالب المستخدمون بأنظمة DRM تكون مرنة بما يكفي للتعامل مع سيناريوهات "الاستخدام العادل" (Fair Use)، والتي تسمح بنسخ أجزاء من العمل أو نقله لأغراض الدراسة والبحث. كما يطالبون بضرورة الحفاظ على سرية البيانات التي يتم جمعها من أنماط استخدامهم للمحتوى الرقمي، وألا تراقب هذه الأنظمة الاستخدام الفردي (Rosenblatt, 2004).

يكمن التحدي في مجال DRM في أنه ليس تقنياً أو قانونياً بحتاً، بل هو مزيج ديناميكي. ففعالية الحماية تتقلب باستمرار متأثرة بقوة الأمان واحتمالية التعرض للهجمات (Applied and Computational Engineering, 2024)، وهذا ما يعني أن الحماية الرقمية ليست حالة ثابتة، بل تتطلب تحديثاً وتطويراً مستمراً. لذا، إذا كانت أنظمة DRM لديها القدرة على فرض تحكم صارم جداً من قبل مالك الحقوق، فقد يكون التدخل التشريعي والقانوني مطلوباً لموازنة هذا التحكم. يجب أن تضمن التشريعات حماية حقوق المستخدمين في الاستخدام العادل للأغراض التعليمية والبحثية (Rosenblatt, 2004).

3.4. التحديات التقنية واللوجستية لمنصات القراءة

لا تقتصر التحديات على الجانب القانوني فقط، بل تمتد إلى الجوانب التقنية واللوجستية التي تؤثر على استقرار الوصول للمحتوى:

1- **الاستقرار الرقمي والبنية التحتية:** تواجه بعض المكتبات الإلكترونية ومنصات النشر مشكلات تقنية تؤدي إلى تغيير عناوينها أو توقفها المؤقت، نتيجة التعرض لمشكلات مثل الفيروسات أو انشغال شبكة الإنترنت وضعفها (الصباغ، د.ت.)، حيث أن عدم استقرار الروابط والعناوين الرقمية يمثل تهديداً للذاكرة المعرفية طويلة المدى للأبحاث.

2- **الفجوة الرقمية (Digital Divide):** يبقى الوصول إلى التراث الرقمي وقراءته مشروطاً بتوافر الأجهزة الحاسوبية أو قارئات الكتب الإلكترونية، وبالاتصال بشبكة الإنترنت، وهذا الشرط يخلق تحدياً كبيراً يُعرف بالفجوة الرقمية، حيث تحرم المناطق ذات البنية التحتية الضعيفة أو الوصول المحدود للإنترنت

من الاستفادة الكاملة من النشر الرقمي العالمي، مما يعيد إنتاج التفاوت في الوصول إلى المعرفة، رغم الوعد الأصلي للنشر الرقمي بالإتاحة العالمية (المدخلة: Journal.cybrarians.info, د.ت.).

ملخص المحاضرة:

لقد أثبتت الكتب الإلكترونية والنشر الرقمي بأنها القوة المهيمنة في المشهد المعرفي الحديث، متجاوزة النموذج التقليدي في الكفاءة والوصول، حيث نجح النشر الرقمي في إلغاء الوسطاء التقليديين وتقليل تكاليف الإنتاج بشكل كبير، مما أدى إلى تحقيق وصول عالمي وفوري للمحتوى الأكاديمي، وهذا التحول نقل المعلومة من حالة الندرة المادية إلى الوفرة اللامحدودة، مما يغير محور تحدي الجودة من الإنتاج إلى التحقق.

كما تحولت الكتب الإلكترونية التفاعلية إلى بيئات تعلم ديناميكية تدعم الوسائط المتعددة ومع ذلك، فإن نجاح هذه البيئات مرهون بالمنهجية التصميمية، حيث يجب موازنة التفاعلية لتجنب تشتيت الانتباه وتقليل الاستيعاب العميق مقارنة بالقراءة الورقية.

كما وفر الذكاء الاصطناعي، عبر الترجمة العصبية الآلية وتلخيص النصوص، أدوات قوية لزيادة سرعة معالجة المحتوى، غير أن الاستخدام الأكاديمي يتطلب وعياً حاداً بضرورة التمييز بين نماذج التلخيص

قائمة المراجع

1- (د.ت.). *النشر الإلكتروني: تعريف ومزايا وعيوب*. م. ب. أ.-941608. *Taxonomy_v4*.

2- Amazon Web Services (AWS). (د.ت.). *ما المقصود بالترجمة الآلية؟* تم الاسترجاع من https://aws.amazon.com/

3- أمين، ز. م. (2007). *تقنية لعرض المحتوى في شكل إلكتروني* (ص. 5).

4- البحراني، ر. ح.، وآخرون. (د.ت.). *دليل توثيق المصادر حسب نظام APA بنسخته السابعة*.

5- بني فواز، س. م. ع. (2018). أثر استخدام الكتاب الإلكتروني التفاعلي في تنمية التحصيل لدى طلاب الصف الرابع الأساسي في وحدة النظام الشمسي في مادة العلوم. *مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية*، *17*(1)، 1–32. https://doi.org/10.21608/jedu.2018.107662

6- الحلفاوي، و. (2006). *عرض المحتوى في صورة رقمية* (ص. 151).

7- الصباغ، ع. ع. و. (د.ت.). *الفرق بين النشر التقليدي والإلكتروني*. تم الاسترجاع من https://journal.cybrarians.info/index.php/cj/article/download/336/350/357

8- العجرمي، س. (2016). *مفهوم الكتاب الإلكتروني التفاعلي* (ص. 216).

9- عزت، ح. م. (د.ت.). *النشر الجامعي في العصر الرقمي*. تم الاسترجاع من https://sjam.journals.ekb.eg/article_136364_bd4ea61d1eaae577b4e2ad890a7f7ce5.pdf

10- علي، أ. م. (2024). توظيف تقنيات معالجة اللغة الطبيعية (NLP) في تحليل المشاعر لآراء القراء باستخدام Orange Data Mining: دراسة تطبيقية لمراجعات كتب علوم المكتبات والمعلومات في LibraryThing. *المجلة المصرية لعلوم المعلومات*. https://doi.org/10.21608/jesi.2024.303325.1133

11- Alzboon.com. (د.ت). *حماية الملكية الفكرية في العصر الرقمي: التحديات والحلول*. تم الاسترجاع من http://alzboon.com/index.php/ar/المدونة/مكتب-لحماية-الملكية-الفكرية-الرقمية-في-دبي.html

12- Applied and Computational Engineering. (2024). Digital rights management (DRM) technologies and legal research: Applications and regulations of encryption, digital watermarking, and copyright protection systems. *Applied and Computational Engineering, 82*(1), 106–111. https://doi.org/10.54254/2755-2721/82/20240957

13- أكاديمية مهارات التخطيط. (2025). *سلسلة القيمة (Value Chain): مفهومها وأهميتها في تحسين الأداء التنظيمي*. كوتب، م. تم الاسترجاع من https://spskills.com/articles/سلسلة-القيمة-value-chain/الاستراتيجي

14- Lim, J. (2020). Interactive e-book reading vs. paper-based reading: Comparing the effects of different mediums on middle school students' reading comprehension. *System, 97*(4), 102434. https://doi.org/10.1016/j.system.2020.102434

15- Journal.cybrarians.info. (د.ت). *المقصود برقمنة التراث ونشره إلكترونياً والمراحل التاريخية للتطور*. تم الاسترجاع من https://journal.cybrarians.info/index.php/cj/article/download/356/370/377

16- Niuversity. (د.ت). *أدوات الذكاء الاصطناعي في تلخيص النصوص: كيف تختار الأنسب؟* تم الاسترجاع من https://niuversity.com/ar/ai-في-تلخيص-النصوص/

17- Pluaris. (د.ت). *Types of AI in text summarization.*

18- Rosenblatt, W. (2004). *Digital rights management: An overview of current challenges and solutions.* تم الاسترجاع من https://www.researchgate.net/publication/228644499_Digital_rights_management-An_overview_of_current_challenges_and_solutions

19- Wisedocs.ai. (د.ت). *Extractive vs. abstractive AI summarization in medical records.* تم الاسترجاع من https://www.wisedocs.ai/blogs/extractive-vs-abstractive-ai-summarization-in-medical-records

المحاضرة الثانية عشر: التطورات المتقدمة في الألعاب الإلكترونية والبنى التفاعلية الناشئة

مقدمة:

تستعرض هذه المحاضرة التحولات الاستراتيجية والتقنية والنفسية التي تشكل مستقبل صناعة الألعاب الإلكترونية والبنى التفاعلية المرتبطة بها، من خلال التركيز على ثلاثة محاور متكاملة: تحول المنصات نحو نموذج الخدمة السحابية (GaaS)، والتحديات التقنية الحاسمة لجودة التجربة (QoE) في الألعاب السحابية، والآثار النفسية والمعرفية للواقع المختلط (VR/AR)، والإطار النظري والتطبيقي للتلعيب الموجه بالتحفيز.

القسم الأول: التحول في مفهوم المنصة والمبادئ الأساسية

1.1. التحول في مفهوم المنصة (Platform Shift)

تُعرف الألعاب الإلكترونية أكاديمياً بأنها أي لعبة تفاعلية تعمل بدارات حاسوبية، وهو تعريف واسع يشمل تاريخياً مجموعة متنوعة من المنصات المادية التي شكلت الركيزة المادية لتجربة اللعب، وشملت هذه المنصات أجهزة الأركيد، وأجهزة الألعاب المنزلية (Consoles) المتصلة بأجهزة التلفزيون، والحواسيب الشخصية، وصولاً إلى الأجهزة المحمولة مثل الهواتف الخلوية (Encyclopædia Britannica, n.d).

ومع ظهور شبكات الخادم الحديثة (Server-based networks)، توسع مفهوم اللعبة الإلكترونية ليشمل المنصات التي لا تعتمد بشكل كامل على قوة المعالجة المحلية.

ويشير التطور التكنولوجي المستمر إلى تحول كبير في مركز الثقل، حيث انتقلت الألعاب من الاعتماد الكلي على الأجهزة المحلية (Local Hardware) إلى الاعتماد على البنية التحتية للشبكة (WIPO, 2023)، ولا يمثل هذا التحول مجرد تغيير في مكان تشغيل اللعبة، بل هو إعادة تعريف عميقة لجودة تجربة اللعب (QoE) نفسها ولآليات تقديم المحتوى وتوزيعه، كما يعكس هذا التطور دمج متزايد بين قدرات الحوسبة السحابية وقدرات معالجة الرسوميات البعيدة.

2.1. تحول المنصات إلى نموذج "الألعاب كخدمة" (Games as a Service - GaaS)

إن التطور في البنية التحتية، لا سيما التحسن المطرد في سرعة شبكات الإنترنت وعرض النطاق الترددي، دفع صناعة الألعاب نحو تبني نموذج "الخدمة" بدلاً من "المنتج"، ويُعرف هذا النموذج باسم "الألعاب كخدمة" (Games as a Service - GaaS)، ويُعد جوهرياً في فهم الألعاب السحابية باعتبار GaaS تطبيقاً مباشراً لنموذج "البرمجيات كخدمة" (SaaS) لصالح اللاعبين، حيث يُقدم المنتج كخدمة بث واشتراك.

وفي نموذج GaaS، تنتقل اقتصاديات الصناعة من بيع نسخة مادية أو رقمية من اللعبة تتطلب جهازاً قوياً محلياً، إلى تقديم المحتوى عبر الاشتراك والبث، حيث تتيح هذه الرؤية الجديدة للشركات تقديم خدمات الألعاب عن بُعد، مستفيدة من قوة الحوسبة السحابية (ResearchGate, 2024).

ويترتب على هذا التحول سلسلة من النتائج الحاسمة.

أولاً، يحرر نموذج GaaS اللاعبين من الحاجة إلى شراء أجهزة طرفية باهظة الثمن ذات مواصفات معالجة مرتفعة (Asurion, n.d)، وهذا يوسع قاعدة السوق بشكل كبير، مما يقلل من العوائق الاقتصادية أمام الوصول إلى ألعاب ذات جودة عالية (A-list titles) ويساهم في النمو الكلي لصناعة الحوسبة السحابية.

ثانياً، وبما أن الخدمة تعتمد على العرض عن بعد (Remote Rendering)، فإن الاعتماد الكلي يقع على كفاءة الشبكة.

هذا التحول التقني يحدد زمن الاستجابة (Latency) كتحدٍ محوري وأوحد؛ إذ أن أي فشل في إدارة التأخير الشبكي يقوض النموذج الاقتصادي والتقني للخدمة بالكامل.

القسم الثاني: هندسة الألعاب السحابية وتحدي جودة التجربة (QoE)

1.2. مفهوم الألعاب السحابية ودورة التشغيل عن بعد

تُعد الألعاب السحابية، التي تُعرف أيضاً بالبث المباشر للألعاب (Game Streaming)، نموذج خدمة ناشئ يتضمن التنفيذ عن بُعد للتطبيقات ذات المتطلبات البصرية العالية، باستخدام خوادم حوسبة سحابية مركزية (ResearchGate, 2024).

وعلى النقيض من الألعاب التقليدية التي تتطلب من اللاعب تشغيل اللعبة محلياً على جهاز كمبيوتر أو جهاز ألعاب باهظ الثمن، تعتمد الألعاب السحابية على خوادم بعيدة في مراكز البيانات لتشغيل اللعبة ومعالجة الرسوميات.

حيث يكمن جوهر عملية الألعاب السحابية في دورة تفاعلية مستمرة ومعقدة، إذ يتم تشغيل اللعبة بالكامل على الخوادم البعيدة، التي تقوم بمعالجة منطق اللعبة ورسم الرسوميات المعقدة. يتم بعد ذلك بث مخرجات اللعبة (كالفيديو والصوت) كتيار بيانات مضغوط في الوقت الفعلي إلى جهاز المستخدم، الذي يُعرف بـ"العميل النحيف" (Thin Client)) (GameCloud, n.d).

ويتصرف جهاز المستخدم، سواء كان هاتفاً ذكياً، أو حاسوباً لوحياً، أو تلفزيوناً، كشاشة عرض ووحدة تحكم فقط (Eltima, n.d.; Asurion, n.d)، حيث يتم إرسال أوامر إدخال اللاعب مرة أخرى إلى الخادم البعيد عبر الإنترنت لتنفيذها في اللعبة، مما يلغي الحاجة إلى التنزيل أو التخزين المحلي للألعاب.

2.2. معمارية التشغيل والدورة التفاعلية (The Latency Loop)

تتكون معمارية الألعاب السحابية من ثلاثة مكونات رئيسية تعمل بشكل تعاوني في حلقة مغلقة: الخادم السحابي، والشبكة، وجهاز العميل (ResearchGate, 2024)، ولضمان تجربة لعب سلسة، يجب أن تتم "دورة الإدخال-المعالجة-البث" بأقصى سرعة ممكنة (GameCloud, n.d).

تبدأ هذه الدورة عندما يقوم اللاعب بإدخال أمر (Input Command) على جهاز العميل ، حيث يُلتقط هذا الأمر ويُرسل إلى الخادم السحابي، ثم يستقبل الخادم الأمر ويقوم بمعالجة منطق اللعبة وتوليد الرسوميات عالية الجودة. بعد ذلك، لاحقا يتم تشفير هذا المشهد المرئي والمسموع في تيار فيديو مضغوط (Video Stream)، وأخيرا يتم بث تيار الفيديو هذا مرة أخرى عبر الشبكة إلى جهاز العميل، الذي يقوم بفك تشفيره وعرضه على الشاشة.

إن سرعة هذه الدورة بأكملها تحدد جودة التجربة التي يشعر بها اللاعب (QoE)، ولهذا فإن التأكيد على "السرعة القصوى" يحدد الإطار الزمني للنجاح؛ إذ إن اللعب السحابي هو تطبيق "الوقت الحقيقي" بامتياز، مما يتطلب تحليلاً دقيقاً لمساهمة كل مرحلة في زمن الاستجابة الكلي، ويوضح الجدول التالي المراحل التفاعلية لدورة الألعاب السحابية:

الجدول رقم (21): دورة الألعاب السحابية التفاعلية: المراحل والمكونات

المرحلة	الوصف التقني والوظيفي	المكان التنفيذي	الهدف المنهجي
إدخال اللاعب (Input Acquisition)	التقاط أوامر التحكم الواردة من طرف المستخدم (Controller/Keyboard).	جهاز العميل النحيف (Thin Client)	التفاعل الفوري (Real-time Interaction)
نقل الإدخال (Input Transmission)	إرسال حزم البيانات إلى الخادم عن بعد.	الشبكة (Internet)	سرعة الوصول وتقليل زمن الرحلة (RTT)
معالجة اللعبة (Execution & Rendering)	تشغيل منطق اللعبة وتوليد الرسوميات عالية الجودة (GPU Processing).	الخادم السحابي عن بعد	قوة المعالجة والحوسبة (Computational Power)

بث الفيديو (Video Streaming)	ضغط الرسوميات وعرض المشهد المرئي والمسموع كتيار بيانات.	الخادم السحابي/الشبكة	الكفاءة البصرية (Visual Fidelity)
العرض (Display/Decoding)	استقبال تيار الفيديو المضغوط وفك تشفيره وعرضه على الشاشة.	جهاز العميل	جودة تجربة اللاعب (QoE)

3.2. التحديات الفنية الحاسمة وسبل المعالجة

1.2.3. التحدي المحوري: زمن الاستجابة (Latency)

يُعد زمن الاستجابة (Latency) التحدي الأكبر الذي يواجه الألعاب السحابية، حيث يمثل الوقت الكلي اللازم لانتقال حزمة البيانات من جهاز المستخدم إلى الخادم وعودتها (Digital WPI, n.d) في بيئة الألعاب السحابية، وينقسم هذا التأخير إلى عدة مراحل، بما في ذلك تأخير إرسال المدخلات، وقت معالجة الخادم، تأخير تشفير الفيديو، ووقت النقل الشبكي (Li, 2019 & Wang).

يؤثر زمن الاستجابة سلباً ومباشراً على جودة تجربة اللاعب (QoE) وأدائه في اللعبة، وهذا التأثير يصبح حرجاً بشكل خاص في الألعاب سريعة الوتيرة (Fast-paced games)، مثل ألعاب التصويب من منظور الشخص الأول (First-Person Shooters)، التي تتطلب دقة عالية وتفاعلاً فورياً للتنافس مع الخصوم.

ولا يقتصر تأثير زمن الاستجابة على الجودة التقنية فحسب، بل يمتد إلى الأداء السلوكي للاعب؛ حيث أن أي تأخير، مهما كان طفيفاً، قد يؤدي إلى أخطاء في الحركة أو إطلاق نار غير مقصود (Li, 2019 & Wang)، وهذا الفقدان للإحساس بالسيطرة (Agency) يقوض دافع اللاعب ورغبته في الانخراط في نظام تنافسي سحابي.

2.3.2. دور عرض النطاق الترددي والحلول المبتكرة

بالإضافة إلى زمن الاستجابة، يتطلب تشغيل الألعاب السحابية عرض نطاق ترددي (Bandwidth) كافٍ لدعم النقل المستمر لكميات كبيرة من بيانات الفيديو المضغوط (Digital WPI, n.d)، ومع ذلك تشير الأبحاث إلى أن القدرة العالية على النقل (عرض النطاق الترددي) لا تترجم بالضرورة بشكل مباشر إلى زمن استجابة منخفض، إذ يتأثر زمن الاستجابة بعوامل أخرى مثل ازدحام الشبكة، وجودة البنية التحتية، والمسافة الجغرافية بين اللاعب ومركز البيانات (Digital WPI, n.d).

ولمواجهة هذه التحديات، برزت حلول معمارية وشبكية متقدمة، حيث يُتوقع أن تعمل شبكات الجيل الخامس (5G) على التخفيف من قلق زمن الاستجابة، حيث تعد بتقديم تأخير منخفض للغاية قد يصل إلى 1 مللي ثانية (Low latency in cloud gaming, n.d).

علاوة على ذلك، بدأ التركيز ينتقل إلى الحوسبة الطرفية (Edge Computing)، وهي بنية شبكية تستخدم عقد شبكة قريبة جغرافياً من العميل (Hull, 2021)، نظراً لأن الحوسبة الطرفية والحوسبة السحابية متشابهتان في المفهوم ولكنهما تختلفان بشكل أساسي في عامل "المسافة" (Hull, 2021)، فإن الاستفادة من العقد القريبة (Edge Nodes) يسمح بتقليل زمن الرحلة الكلي للبيانات، وهذا يدفع إلى ظهور نماذج هجينة (Hybrid Cloud/Edge Computing) (ABI Research, n.d)، حيث يمكن تنفيذ المهام الحساسة للوقت (مثل معالجة الإدخال الفوري) على الخوادم الطرفية القريبة، بينما يتم استخدام الخادم السحابي المركزي للمهام الأقل حساسية للوقت. يمثل هذا تحولاً من نموذج الخدمة المركزية إلى نموذج توزيعي شبكي.

2.4. متطلبات قياس الجودة حسب سياق اللعب (Contextual QoE)

من الضروري الإشارة إلى أن جودة تجربة الألعاب السحابية لا يمكن قياسها فقط من خلال المقاييس التقنية الأساسية مثل معدل الإطارات أو عرض النطاق الترددي (Lyu, 2025)، بل يجب فهم هذه المقاييس في سياق اللعبة المحددة ونوع النشاط الذي يقوم به اللاعب، فالأبحاث تبين أن الألعاب المختلفة ليست متساوية في تحملها للتأخير، وأن نفس درجة زمن الاستجابة يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات مختلفة جداً على جودة التجربة اعتماداً على ما يُعرف بـ"صرامة اللعبة في الوقت الفعلي" (Li, 2019 & Wang).

وعلى سبيل المثال، يمكن للعبة استراتيجية تتطلب تفاعلات قليلة أن تتسامح مع تأخير أكبر بكثير مقارنة بلعبة تصويب سريعة تتطلب تفاعلاً فورياً (Li, 2019 & Wang)، حيث تتطلب هذه الطبيعة السياقية لجودة التجربة تطوير نماذج ذكية (قد تعتمد على الذكاء الاصطناعي) لتقييم سياق اللعب بشكل مستمر، بما في ذلك تحديد عنوان اللعبة وتصنيف مرحلة نشاط اللاعب (نشط، سلبي، أو خامل) في غضون الثواني القليلة الأولى من التشغيل (Lyu, 2025).

هذا التخصيص الديناميكي للموارد لا يضمن تجربة مثلى للاعب فحسب، بل يحول أيضاً إدارة الشبكات بالنسبة لمشغلي الخدمة إلى خدمة ذات قيمة مضافة قابلة لتحقيق الدخل، بدلاً من مجرد إدارة حركة مرور البيانات.

القسم الثالث: الواقع المختلط (VR/AR): الغمر، الإدراك، والآثار النفسية

1.3. التمييز المفاهيمي والمنصات التفاعلية

يمثل الواقع الافتراضي (Virtual Reality - VR) والواقع المعزز (Augmented Reality - AR) الجيل القادم من التفاعل في الألعاب، حيث يوفران درجات غير مسبوقة من الغمر والتفاعل الاجتماعي، ويهدف الواقع الافتراضي (VR) إلى خلق بيئة إجمالية (Total Environment) تحيط بالمستخدم بالصور والصوت والمحفزات الأخرى، مما يؤدي إلى غمر شامل وفعلي. يُعرف الـ VR بأنه التقنية التي تحيط المستخدم وتجعله يشعر بـ "الوجود الفعلي" (Presence) في عالم غير فيزيائي (Wilbur, 1997 & Slater).

على النقيض من ذلك، لا يهدف الواقع المعزز (AR) إلى عزل المستخدم، بل يركز على تراكب العناصر الرقمية على العالم الحقيقي، وهذا يخلق مزيجاً فريداً بين الواقع المادي والخيال الرقمي (ResearchGate, 2024).

إذا فقد عززت هذه التقنيات التفاعلات الاجتماعية في الألعاب؛ فألعاب الواقع الافتراضي الجماعية تتيح للاعبين من جميع أنحاء العالم التعاون أو المنافسة في مساحات رقمية مشتركة، بينما تشجع ألعاب الواقع المعزز على الانخراط من خلال دمج المواقع الواقعية في تجربة اللعب المشتركة.

2.3. النظرية النفسية لتجربة الو اقع المختلط: الاندماج، الحضور، والتدفق

لفهم تجربة المستخدم في الواقع المختلط، يجب التمييز بين ثلاثة مفاهيم نفسية ومعرفية متداخلة: الاندماج (Immersion)، والحضور (Presence)، والتدفق (Flow) (Wirth, 2018).

1.2.3. الاندماج (Immersion) مقابل الحضور (Presence)

يُنظر إلى الاندماج أكاديمياً على أنه خاصية موضوعية للتقنية (Johnson-Glenberg, 2020 & Kalina)، ويشمل الاندماج الخصائص التقنية للمعدات المستخدمة لعرض البيئة الافتراضية، مثل جودة الرسوميات ثلاثية الأبعاد، واستخدام الصوت المحيط، ومستوى التفاعلية الممكنة عبر إدخال المستخدم (Slater & Wilbur, 1997)، فكلما كانت التكنولوجيا قادرة على توفير بيئة شاملة ومقنعة، كان الاندماج التقني أعلى.

أما الحضور فهو الإحساس الذاتي والمعيش من قبل المستخدم بالشعور بالوجود الفعلي داخل ذلك العالم الافتراضي (Wilbur, 1997 & Slater)، بمعنى أن الاندماج التقني هو شرط أساسي لتحقيق درجة عالية من الحضور النفسي، حيث يسمح للمستخدم بتعليق عدم التصديق (Suspension of Disbelief) والاندماج في المحاكاة.

2.2.3. مفهوم التدفق (Flow)

يشير التدفق إلى حالة وعي مغيرة تتميز بالغمر المعرفي والتركيز المطلق، ولكنه يتعلق بشكل خاص بالغمر في النشاط نفسه (Wirth, 2018)، وقد أظهرت الدراسات أن الاندماج والتدفق قد يمثلان خصائص حالة متغيرة للوعي (Wissmath, 2011 & Weibel)، حيث يُوضع الحضور عادة في مرحلة مبكرة من الانخراط في اللعبة، في حين أن التدفق يرتبط أكثر بالانخراط العميق والمستمر في ميكانيكا اللعبة وتحدياتها (Johnson- & Kalina Glenberg, 2020).

إن التمييز النظري بين هذه المفاهيم أمر بالغ الأهمية لتصميم التجارب، إذا كان الهدف هو تحقيق حالة "التدفق" (كما في ألعاب الألغاز التي تركز على الميكانيكا)، يجب أن يوازن المصمم بين تحديات اللعبة ومهارات اللاعب. أما إذا كان الهدف هو تعزيز "الحضور" (كما في تطبيقات العلاج أو المحاكاة الواقعية)، فإن التركيز يكون على جودة الاندماج التقني المكثف (Wirth, 2018).ويوضح الجدول التالي التمايز المفاهيمي:

الجدول رقم (22):مقارنة المصطلحات النفسية الجوهرية في الو اقع المختلط

المفهوم	التعريف الأكاديمي الأساسي	المنظور	طبيعة المفهوم
الاندماج (Immersion)	الخصائص الموضوعية للتقنية المستخدمة (جودة الرسوم، الصوت، التفاعل).	تقني/بيئي	خاصية للمنصة (Objective Feature)
الحضور (Presence)	الإحساس الذاتي بالوجود الفعلي في عالم غير فيزيائي.	نفسي/إدراكي	شعور ذاتي (Subjective Feeling)
التدفق (Flow)	حالة من الغمر المعرفي والتركيز المطلق على النشاط الجاري.	نفسي/معرفي	الغمر في النشاط (Activity)

3.3. الآثار النفسية والاجتماعية للو اقع المختلط (VR/AR)

1.3.3. الجو انب الإيجابية والتطبيق العلاجي

أثبتت التكنولوجيا الغامرة قدرتها كأداة فعالة للتدخلات النفسية، خاصة في البيئات التعليمية والصحية (Frontiers Research Topic, n.d)، فقد أظهرت الدراسات أن تقنية الواقع الافتراضي فعالة في التخفيف من مشاعر القلق والخوف، حيث توفر بيئة آمنة ومتحكم فيها يمكن للأفراد من خلالها مواجهة مخاوفهم تدريجياً وإدارتها (Frontiers in Psychology, 2025).

كما سمحت التكنولوجيا الغامرة للناس، خاصة في ظل قيود العزلة، بالانخراط في أنشطة اللياقة البدنية الافتراضية والحفاظ على العلاقات الاجتماعية، مما يدعم صحتهم الجسدية والعقلية، وقد وُجدت فائدتها في مجالات مثل إعادة التأهيل الحركي وتقديم العناية الصحية عن بُعد.

2.3.3 المخاطر والمسؤولية الأخلاقية للغمر الشامل

يؤدي الغمر الشامل والمكثف إلى تضخيم الاستجابات العاطفية للمستخدم، وقد وجدت الأبحاث أن المشاعر السلبية المكثفة الناتجة عن اللعب في الواقع الافتراضي ترتبط ارتباطاً إيجابياً كبيراً بالاجترار السلبي (Williams, 2023) (Negative Rumination)، ويشير هذا إلى أن الاندماج التقني المرتفع يعمل كمضاعف للأثر العاطفي، سواء كان إيجابياً (علاجياً) أو سلبياً (اجتراراً)، حيث يضاعف تأثير المحتوى العاطفي.

كما أن الانغماس المطول قد يطمس الحدود الفاصلة بين الواقع والافتراض، حيث أفاد بعض المستخدمين الذين يلعبون جلسات طويلة في VR بأنهم أصبحوا معتادين على بيئتهم الافتراضية لدرجة أنهم بدأوا في إدراك العالم الحقيقي كأنه "بيئة رسومية" (Williams, 2023)، وتفرض هذه الظاهرة مسؤولية أخلاقية كبيرة على مطوري الألعاب للنظر بعمق في تأثيرات التكييف المختلفة عند تكييف الألعاب العادية لبيئات الواقع الافتراضي.

3.3.3. التأثير على الرفاهية الاجتماعية

بالإضافة إلى الآثار الإدراكية، تُظهر الدراسات أن الانخراط الشديد في الألعاب الاجتماعية القائمة على الواقع الافتراضي يمكن أن يؤثر سلباً على الرفاهية لدى المستخدمين الذين يعانون مسبقاً من العزلة الاجتماعية وتدني تقدير الذات (Lee, 2021 & Chee).

ويتوسط التأثير السلبي للواقع الافتراضي متغيرات نفسية قائمة مسبقاً، مما يعني أن فهم هذه الآثار السلبية المحتملة وإدارتها أمر حاسم لضمان أن تحقق الألعاب الاجتماعية القائمة على الواقع الافتراضي أقصى قيمة إيجابية صافية لها، وهذا يتطلب من المصممين التركيز على بروتوكولات أخلاقية لتحديد وإدارة المخاطر لهذه الفئة من المستخدمين.

القسم الرابع: التلعيب (Gamification):

1.4. تعريف التلعيب وتمييزه عن الألعاب الجادة

يُعرف التلعيب (Gamification) بأنه تطبيق عناصر وميكانيكيات تصميم الألعاب خارج سياق الألعاب الأساسي (Kapp, 2012)،ويستخدم التلعيب أدوات نوعية بسيطة مثل المواضيع، والسرد، والشخصيات، والاستعارات لإثراء تجربة المستخدم وخلق قيمة في بيئات متنوعة.

من الأهمية بمكان التمييز بين التلعيب والألعاب الجادة (Serious Games) (MDPI, 2023)، إذ أن التلعيب يضيف عناصر اللعبة (كالشارات والنقاط) إلى نشاط موجود بالفعل (مثل تطبيق لتعلم اللغات) (Raccoon Gang, n.d).

أما الألعاب الجادة فهي ألعاب كاملة ذات أهداف وقواعد وميكانيكا متكاملة، تتجاوز الغرض الترفيهي، وتُستخدم لأغراض مثل التعليم أو المحاكاة (كغرف الهروب التعليمية أو محاكاة العمليات الجراحية)، وهذا التمييز ضروري لفهم الغرض؛ حيث يركز التلعيب على *التحفيز* للانخراط في مهمة غير ترفيهية بالأساس.

2.4. الإطار النظري: نظرية التقرير الذاتي (Self-Determination Theory - SDT)

يرتكز التلعيب الفعال على نظريات التحفيز، ويعتبر الإطار النظري الأكثر تأثيراً هو نظرية التقرير الذاتي ، حيث تفترض هذه النظرية أن الأفراد لديهم احتياجات نفسية فطرية أساسية، وعندما يتم تلبية هذه الاحتياجات، يزداد الدافع والانخراط لديهم.

وتنص نظرية SDT على أن التلعيب يجب أن يدعم تلبية ثلاثة احتياجات نفسية أساسية لتعزيز الدافع الجوهري (Intrinsic Motivation) للمستخدم:

1- **الاستقلالية (Autonomy):** شعور المستخدم بأن لديه خيارات والسيطرة على مسار تعلمه أو نشاطه.

2- **الكفاءة (Competence):** الشعور بالإتقان والإنجاز والفعالية في أداء المهام الموكلة إليه.

3- **الارتباط (Relatedness):** الشعور بالانتماء والتواصل مع الآخرين، والذي يمكن تعزيزه من خلال التفاعلية والمنافسة الجماعية (Rutledge et al., 2018).

عندما يتم تنفيذ عناصر التلعيب الشائعة، مثل النقاط والشارات ولوحات المتصدرين (PBL)، بطريقة تدعم هذه الاحتياجات، فإنها تساهم في تعزيز الدافع الجوهري (Journals at the University of Arizona, n.d)، فعلى سبيل المثال، يمكن للمنافسة عبر لوحات المتصدرين أن تعزز الإحساس بالكفاءة، في حين أن العمل الجماعي يعزز الارتباط (Rutledge et al., 2018).

ويوضح التحليل أن الاعتماد المفرط على المكافآت الخارجية (كاستخدام النقاط والشارات كوسيلة فقط) قد يقوض الدافع الجوهري على المدى الطويل لذلك، يجب أن يكون تصميم التلعيب موجهاً نحو تعزيز الشعور بالملكية والأهمية المتصورة للنشاط نفسه (Rutledge et al., 2018).

3.4. تطبيقات التلعيب في التعليم الرقمي وتطوير المهارات

تكمن القيمة الجوهرية للتلعيب في قدرته على تحويل أساليب الانخراط التقليدية في قطاعات متعددة، أبرزها التعليم (Kapp, 2012).

1.3.4. التلعيب في التعليم الرقمي

تساهم آليات التلعيب في جذب انتباه الطلاب وتعزيز المشاركة النشطة وتحسين الاستدعاء من خلال الممارسة المنهجية (Kapp, 2012)، حيث أن عناصر مثل تتبع التقدم، والمستويات، والتغذية الراجعة الفورية، تخلق تجربة تعليمية غامرة وممتعة. وتوجد أمثلة عملية واضحة لهذا التطبيق:

1- **Duolingo:** يستخدم نظاماً دقيقاً من نقاط الخبرة (XP) وتتبع "الخطوط المتتالية" (Streaks) ومكافآت الشارات لتحفيز المستخدمين على العودة والمراجعة اليومية للغات (Raccoon Gang, n.d).

2- **Classcraft:** يحول بيئة الفصل الدراسي إلى لعبة مغامرات حيث يتقمص الطلاب أدواراً (مثل المحاربين والمعالجين)، ويعملون في فرق لتحقيق أهداف تعليمية مشتركة، وهذا النظام لا يدير السلوك الأكاديمي فحسب، بل يعزز أيضاً التعاون وبناء العلاقات الاجتماعية (adamosoft, n.d).

3- **Kahoot!:** يوفر مسابقات سريعة وموقوتة لخلق جو من المنافسة المرحة والطاقة في الفصل (Raccoon Gang, n.d).

2.3.4. التلعيب وتطوير المهارات العميقة

يمكن للتلعيب أن يتجاوز الأهداف المنهجية المباشرة ليدعم تطوير مهارات التعلم الأعمق والمهارات الاجتماعية، إذ يوفر التلعيب عبر آليات مثل "سلاسل المهام والإنجازات" (Quest Chains and Achievements)، آلية لمكافأة الأهداف غير المنهجية، مثل "مساعدة صديق" أو "الإبلاغ عن خطأ في المهمة" (Chen, 2024 & Zhou)، وهذا يشجع على التعاون والنقد البناء ومهارات حل المشكلات (Project-Based Learning)، مما يضيف بعداً أعمق للتحفيز.

ومع تأكيد الأبحاث على أن التنفيذ السليم للتلعيب بناءً على إطار SDT يمكن أن يزيد من دافعية المتعلمين (Journals at the University of Arizona, n.d)، إلا أن هناك فجوة واضحة في الأبحاث التطبيقية التي تحدد بالضبط كيفية "التنفيذ الصحيح" على مستوى تخطيط المناهج اليومية (Hamari et al., 2014)، ويشير هذا إلى ضرورة وجود المزيد من الأبحاث الطولية والتطبيقية لتوفير إرشادات عملية لمصممي المناهج والمعلمين.

خلاصة المحاضرة:

تمثل المحاور الثلاثة التي تم تحليلها طبقات متكاملة تشكل نظاماً إيكولوجياً مترابطاً للتفاعل الرقمي المستقبلي. تعمل الألعاب السحابية كـ طبقة الوصول (Accessibility Layer) (Asurion, n.d)، حيث تزيل الحاجة إلى أجهزة مكلفة، مما يوسع نطاق الوصول إلى ألعاب ذات جودة عالية. ويوفر الواقع الافتراضي والمعزز طبقة الاندماج (Immersion Layer) (Wilbur, 1997 & Slater)، التي تعمق الحضور النفسي والتفاعل الحسي، مما يضاعف التأثير العاطفي للتجربة (Williams, 2023).

وعلى المستوى التقني، فإن تكنولوجيا الحوسبة الطرفية (Edge Computing) تُستخدم لتقليل زمن الاستجابة في تطبيقات Cloud/AR/VR Offloading الحساسة للوقت (Li, 2019 & Wang)، وهذا يضمن تجربة غامرة وسريعة الاستجابة، مما يعزز بدوره من مصداقية وفعالية أنظمة التلعيب المدمجة في تلك البيئات.

قائمة المراجع:

1- تم الاسترجاع من *الألعاب الإلكترونية.. أدوات تعلمٍ تفاعلية تعيد صياغة الفصول الدراسية*. الجزيرة نت. (2025، 5 مايو) https://www.aljazeera.net/tech/2025/5/5/الألعاب-الإلكترونية-أدوات-تعلمٍ-تفاعلية-تعيد-صياغة-الفصول-الدراسية

2- زغلوله، ج. (2021). *الواقع الافتراضي في العلاج النفسي*. تم الاسترجاع من صحيفة رسالة الجامعة http://rs.ksu.edu.sa/ar/issue-1409/21417

3- NP Istanbul. (د.ت.). *العلاج النفسي بالواقع الافتراضي المعزز*. تم الاسترجاع من https://npistanbul.com/ar/العلاج-النفسي-بالواقع-الافتراضي-المعزز

4- Bakkah. (د.ت.). *الحوسبة الطرفية*. تم الاسترجاع من https://bakkah.com/ar/knowledge-center/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%88%D8%B3%D8%A8%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%B1%D9%81%D9%8A%D8%A9

5- Jazeel. (د.ت.). *الحوسبة الطرفية مقابل السحابية: موازنة بين السرعة والكفاءة في معالجة البيانات*. تم الاسترجاع من https://jazeeljo.com/edgecompu/

6- سالم، ب.، و البوسعيدي، ن. (2012). *الألعاب الإلكترونية لدى طلبة جامعتي السلطان قابوس في سلطنة عمان وجامعة المنوفية في مصر*. تم الاسترجاع من https://ajadi.weebly.com/uploads/8/6/6/1/86616634/07ناهد-سالم-الألعاب-الالكترونيةcor.pdf

7- ABI Research. (n.d.). *The past, present, and future of cloud gaming.* Retrieved from https://go.abiresearch.com/hubfs/Marketing/Whitepapers/The%20Past%2C%20Present%2C%20and%20Future%20of%20Cloud%20Gaming/ABI_Research

8- Adamosoft. (n.d.). *Gamification examples in education: Best ways to use game-based learning.* Retrieved from https://adamosoft.com/blog/edutech-solutions/gamification-examples-in-education/

9- Asurion. (n.d.). *What's cloud gaming and how does it work?* Retrieved from https://www.asurion.com/connect/tech-tips/what-is-cloud-gaming/

10- Blog InterNexa. (n.d.). *Low latency in cloud gaming.* Retrieved from https://blog.internexa.com/en/low-latency-in-cloud-gaming

11- Chee, S. Y., & Lee, J. Y. (2021). The effects of involvement in social VR games on well-being. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(23), 12699. https://doi.org/10.3390/ijerph182312699

12- Digital WPI. (n.d.). *The effects of latency, bandwidth, and packet loss on cloud-based gaming services.* Retrieved from https://digital.wpi.edu/downloads/sj1392656

13- Eltima. (n.d.). *What is cloud gaming and how does it work from the server and user side?* Retrieved from https://mac.eltima.com/how-cloud-gaming-works/

14- Encyclopædia Britannica. (n.d.). *Electronic game.* Retrieved from https://www.britannica.com/topic/electronic-game

15- Frontiers in Psychology. (2025). *Virtual reality gaming: A tool for reducing fear and anxiety in university students.* Retrieved from https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2025.1532753/full

16- Frontiers Research Topic. (n.d.). *VR/AR and wellbeing: The use of immersive technologies in promoting health outcomes.* Retrieved from https://www.frontiersin.org/research-topics/22761/vrar-and-wellbeing-the-use-of-immersive-technologies-in-promoting-health-outcomes/magazine

17- GameCloud. (n.d.). *Cloud gaming and streaming: The next big thing in video games.* Retrieved from https://gamecloud-ltd.com/cloud-gaming-and-streaming-the-next-big-thing-in-video-games/

18- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. *Developments in Business Simulation and Experiential Learning, 41,* 339–342.

19- Hull, C. (2021). *The development of an architecture which utilises cloud and fog computing concepts and combines these with a self-adaptation component to create an adaptable architecture for the improvement of QoS in networked games* (Unpublished doctoral thesis). Ulster University.

20- Journals at the University of Arizona. (n.d.). *The effect of gamification and self-determination theory on motivation of learners.* Retrieved from https://journals.librarypublishing.arizona.edu/itlt/article/id/4872/download/pdf/

21- Kalina, S. P., & Johnson-Glenberg, M. C. (2020). Virtual reality and embodied cognition: A scoping review. *Frontiers in Psychology, 11,* 1682. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01682

22- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education.* John Wiley & Sons.

23- Lyu, M. (2025). *Games are not equal: Classifying cloud gaming contexts for network operators. arXiv preprint* arXiv:2509.19669.

24- MDPI. (2023). Using problem-based learning and gamification as a catalyst for student engagement in data-driven engineering education: A report. *Education Sciences, 13*(12), 1223. https://doi.org/10.3390/educsci13121223

25- Raccoon Gang. (n.d.). *Gamification in education and its examples.* Retrieved from https://raccoongang.com/blog/gamification-education-and-its-examples/

26- ResearchGate. (2024). *Enhancing cloud gaming experience through optimized virtual machine placement: A comprehensive review. Journal of Network and Systems Management.* Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384227

27- ResearchGate. (2024). *AR and VR in the gaming industry.* Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/377916980_AR_AND_VR_IN_THE_GAMING_INDUSTRY

28- Rutledge, R., Walsh, K., & Van, E. (2018). The role of self-determination theory (SDT) in gamification for medical education. *Academic Medicine, 93*(4), 570–576. https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000002008

29- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6*(6), 603–616. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603

30- Wang, X., & Li, R. (2019). *Research on latency problems and solutions in cloud game.* Retrieved from ResearchGate.

31- Weibel, D., & Wissmath, B. (2011). Immersion in computer games: The role of sensation and perception. *Journal of Media Psychology, 23*(1), 1–10. https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000030

32- Williams, D. (2023). *Is virtual reality bad for our health? Studies point to physical and mental impacts of VR usage. Nature Social Sciences.* Retrieved from https://socialsciences.nature.com/posts/is-virtual-reality-bad-for-our-health-studies-point-to-physical-and-mental-impacts-of-vr-usage

33- WIPO. (2023). *Heterogeneous development paths to growth and innovation: The evolution of the video game industry across four hubs. WIPO Economic Research Working Papers,* 84.

34- Wirth, B. (2018). Immersion, presence, and flow in video games: The enactive approach. *Frontiers in Psychology, 9,* 1682. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01682

35- Zhou, H., & Chen, J. (2024). The effect of gamification on sustainable development goals education. *Sustainability, 15*(2), 940. https://doi.org/10.3390/su15020940

المحاضرة الثالثة عشر: الأهمية المحورية والوظائف الإستراتيجية لتكنولوجيا الإعلام والاتصال

مقدمة:

تشهد المجتمعات والاقتصادات العالمية تسارعاً غير مسبوق في عمليات الرقمنة، مما جعل تكنولوجيا الإعلام والاتصال (Information and Communication Technology - ICT) قوة تحويلية أساسية لا يمكن الاستغناء عنها، كما ترسخ الاعتراف بدور تكنولوجيا الإعلام والاتصال كأداة تمكين رئيسية لتحقيق التنمية الشاملة وأهداف التنمية المستدامة السبعة عشر التي وضعتها الأمم المتحدة وتُعد تكنولوجيا الإعلام والاتصال وسيلة فعالة للوصول إلى الفئات المحرومة والاستماع والتعلم من تجاربها، مما يعزز مسارات التنمية الشاملة.

القسم الأول: الدور الفعلي لتكنولوجيا الإعلام والاتصال

يتجاوز دور تكنولوجيا الإعلام والاتصال مجرد دعم النمو الاقتصادي، ليصبح استثماراً ضرورياً في البنية التحتية للمرونة الاقتصادية والمجتمعية ضد الصدمات المستقبلية، فقد أثبتت التطورات في تكنولوجيا الإعلام والاتصال قدرتها على العمل كأداة مرونة إستراتيجية، حيث ساعدت في تعويض الآثار السلبية للأزمات العالمية الكبرى، مثل جائحة كوفيد-19، على الأنشطة الاقتصادية عالمياً (Sakha, & ,Abidi, El-Herradi 2022).

إن تعزيز جودة البنية التحتية لـ تكنولوجيا الإعلام والاتصال يُعد استراتيجية أساسية لبناء منظومة مرنة في مواجهة الصدمات الخارجية، مما يقلل من اعتماد رواد الأعمال على سياسات الاستجابة للأزمات الحكومية المحددة (Belitski et al., 2023).

وبالتالي، فإن تقييم الاستثمار في تكنولوجيا الإعلام والاتصال يجب أن يتضمن مقاييس المرونة المؤسسية والمجتمعية وليس فقط مقاييس الإنتاجية التقليدية، مما يرفعها من كونها مجرد "عامل إنتاجي" إلى "بنية تحتية إستراتيجية وطنية" تضمن استمرارية الأعمال والخدمات في حالات الطوارئ.

1.1. الإطار النظري: تعريف ICT ووظائفها النظامية الأساسية

على الرغم من عدم وجود تعريف موحد ومحصور لتكنولوجيا الإعلام والاتصال، إلا أن المنظمات الأكاديمية والدولية تقدم تعريفات واسعة النطاق تؤكد دورها الشامل، فمنظمة اليونسكو (UNESCO) ترى أن تكنولوجيا الإعلام والاتصال هي "مجموعة متنوعة من الأدوات والموارد التكنولوجية المستخدمة لنقل المعلومات أو تخزينها أو إنشائها أو مشاركتها أو تبادلها" (UNESCO, n.d.-b)، ويشمل هذا النطاق الواسع أجهزة الكمبيوتر، والإنترنت، والشبكات الرقمية، ووسائل الاتصال المتنقلة والثابتة (Zuppo, 2012/2020).

ومن الناحية الوظيفية، تضطلع تكنولوجيا الإعلام والاتصال بمهام نظامية أساسية تمنحها دورها المحوري في التحول الاجتماعي والاقتصادي، وتشمل هذه الوظائف خمسة مهام رئيسية: إنتاج المعلومات (Creation)، وتخزينها (Storage)، ومعالجتها (Processing)، وتوزيعها (Distribution)، وتبادلها (Lenovo, n.d.; UNESCO, n.d.-a)، وتحدد القدرة على إدارة المعلومات والمعرفة بهذه الطرق المتكاملة، سواء في مجال الصحة العامة (مثل المراقبة في الوقت الفعلي للأمراض) أو في التعليم العالي، مساهمتها الكبيرة في التنمية (UNESCO, n.d.-a).

الجدول رقم (23): الوظائف النظامية المحورية لتكنولوجيا الإعلام والاتصال وتطبيقاتها الشاملة

الوظيفة الأساسية (Core Function)	الوصف الأكاديمي	مثال للتطبيق (الاقتصاد/الحوكمة/التعليم)
التخزين (Storage)	جمع وحفظ وإدارة كميات ضخمة من البيانات والمعرفة بشكل إلكتروني وآمن	السجلات الصحية الإلكترونية، قواعد بيانات الضرائب (الحوكمة)، أرشيفات المحتوى الإعلامي.
النقل والاتصال (Transmission/Communication)	تمكين تبادل المعلومات والرسائل في الوقت الفعلي أو غير الفعلي عبر الشبكات	التجارة الإلكترونية العابرة للحدود، الاتصالات المتنقلة، النقاشات السياسية عبر الإنترنت.
المعالجة (Processing)	تحليل وتحويل البيانات الخام إلى معلومات ذات قيمة لاتخاذ القرار	تحليلات التنبؤ الاقتصادي، إدارة المخاطر اللوجستية، تحديد مصادر التضليل الإعلامي.

2.1. ICT كتقنية عامة الغرض وتأثيرها متعدد القطاعات

من منظور اقتصادي، تُصنف تكنولوجيا الإعلام والاتصال كـ "تقنية عامة الغرض" (wiiw, n.d.). ويصف هذا المفهوم التقنية التي لا تؤثر فقط على القطاع الذي تُنتج فيه، بل لديها القدرة على تحويل مجموعة واسعة من الأنشطة الاقتصادية الأخرى (wiiw, n.d.)، حيث تعمل تقنيات كآليات تمكينية للابتكارات التكميلية المتتالية، مما يؤدي إلى تحول هيكلي في النظام الاقتصادي وارتفاع عام في الإنتاجية على المستوى الكلي (Petsas, 2003).

ونتيجة لهذا التبني الشامل والتحويلي، الذي يتميز بانتشار النطاق العريض (Broadband connectivity) عالمياً في المؤسسات الكبيرة والصغيرة، يصبح من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، عزل "الاقتصاد الرقمي" كقطاع منفصل عن باقي الاقتصاد (OECD, n.d.-a).

وهذا التداخل العميق يعني أن السياسات الرقمية الفعالة لا يمكن أن تستهدف قطاعاً فرعياً، بل يجب أن تعالج الاقتصاد الكلي بشكل متكامل (OECD, n.d.-a)، فعلى سبيل المثال، التحديات التنظيمية المتعلقة

بالتآكل الضريبي ونقل الأرباح (BEPS) يجب معالجتها من خلال تحليل الهياكل الحالية ونماذج الأعمال الجديدة في الاقتصاد الرقمي ككل (OECD, n.d.-a).

وتجدر الإشارة إلى أن الفوائد الاقتصادية لتكنولوجيا الإعلام والاتصال قد تكون أكبر مما تُظهره الأرقام الرسمية للناتج المحلي الإجمالي، فعندما تنضج التقنيات الرقمية وتعمم، غالباً ما ينخفض سعرها بينما يتسع نطاق إنتاجها، مما قد يؤدي إلى استقرار أو انكماش حصة القطاع المنتج للتكنولوجيا في الناتج المحلي الإجمالي.

ويعود جزء من هذا التفسير إلى مشكلة القياس؛ إذ إن التنوع والجودة المتصاعدين للسلع والخدمات الرقمية—التي يكون الكثير منها مجانياً للمستخدمين—لا يتم احتسابها بدقة في مؤشرات الأسعار التقليدية، ويُقدر أن المكاسب الفعلية للرعاية الاجتماعية الناجمة عن بعض الخدمات الرقمية الشائعة تبلغ حوالي 6% من الناتج المحلي الإجمالي، وهي فوائد تعود بشكل غير متناسب على الفئات ذات الدخل المنخفض (World Bank, n.d.-b)، وهذا يوضح أن القيمة الحقيقية المضافة لـتكنولوجيا الإعلام والاتصال تتجاوز بكثير مقاييس الإنتاجية التقليدية.

القسم الثاني: تكنولوجيا الإعلام والاتصال والاقتصاد الرقمي

1.2. محددات نمو الناتج المحلي الإجمالي (GDP) في العصر الرقمي

لقد ترسخ الاعتقاد الأكاديمي بأن تكنولوجيا الإعلام والاتصال تلعب دوراً تحويلياً في تشكيل المسارات الاقتصادية على نطاق عالمي. وتشير الدراسات الشاملة، التي فحصت بيانات 170 دولة على مدار ثلاثة عقود (1990-2019)، إلى أن مؤشر تكنولوجيا الإعلام والاتصال يمتلك "تأثيراً كبيراً على نمو الناتج المحلي الإجمالي" (Tsachtsiris et al., 2023).

غير أن هذا التأثير لا يتحقق بشكل مباشر فحسب، بل يُترجم من خلال ثلاثة عوامل وسيطة رئيسية تعتبر جوهرية لفهم كيفية تحويل استثمارات تكنولوجيا الإعلام والاتصال إلى نمو مستدام، وقد كشفت النتائج الأكاديمية أن العوامل الأساسية التي تربط تطوير تكنولوجيا الإعلام والاتصال بنمو الناتج المحلي الإجمالي هي: رأس المال البشري (Human Capital)، و الحكومة الإلكترونية (E-government)، و تكامل التكنولوجيا الرقمية في الممارسات التجارية (Tsachtsiris et al., 2023)، وهذا الارتباط الوثيق يؤكد الطبيعة التداخلية بين المحور الاقتصادي والمحورين الحوكمي والتعليمي.

بالإضافة إلى ذلك، تُسخر استراتيجيات تكنولوجيا الإعلام والاتصال لتعزيز الشمول المالي الرقمي، وهو نهج يهدف إلى استخدام التقنيات الرقمية لتيسير وصول الأفراد والشركات للخدمات المالية (Chen, Zhang, &

Long, 2023)، ويُعد هذا الشمول المالي أمراً حيوياً لأنه يسهل التنمية الاقتصادية الأوسع ويشجع على نمو مستدام وطويل الأجل، خاصةً للفئات المهمشة التي تكتسب القدرة على الوصول إلى خدمات الادخار والائتمان والتأمين بكلفة أقل وبطريقة أكثر أماناً مقارنة بالمعاملات النقدية التقليدية (World Bank, n.d.).

2.2. التحول في سلاسل القيمة العالمية ونماذج الأعمال الجديدة

تعتبر تكنولوجيا الإعلام والاتصال تقنية رئيسية قادرة على تحويل مجموعة واسعة من الأنشطة الاقتصادية، وتلعب دوراً بالغ الأهمية في إعادة تشكيل شبكات الإنتاج العالمية (wiiw, n.d.)، وقد أدت الرقمنة إلى ظهور سلاسل قيمة رأسية (Vertical Value Chains) مرتبطة بإنتاج تكنولوجيا الإعلام والاتصال نفسها، حيث تبرز قطاعات معينة، مثل قطاع تصنيع أجهزة الكمبيوتر والإلكترونيات في الدول المتقدمة، كمحاور مركزية في الشبكة العالمية (wiiw, n.d.).

أحد أبرز مظاهر هذا التحول هو ظاهرة تسييل الوسائط (Disintermediation)، حيث أصبحت البيئة الرقمية تتيح للعملاء والتجار التفاعل بشكل مباشر، وبالتالي يزول دور الوسطاء التقليديين (Middlemen) إلا إذا أضافوا قدراً كبيراً من القيمة (Guerrini, 2003).

وقد تحول نموذج القيمة بشكل جذري: لم يعد النقل المادي أو المعلومات الأولية هو مصدر القيمة، بل أصبح تحليل البيانات، والتخصيص، وإدارة العلاقات هي معايير البقاء في العصر الرقمي (Guerrini, 2003).

لذلك، يتعين على الوسطاء التحول إلى "وسطاء معرفيين" (Infomediaries) يقدمون قيمة مضافة عبر المعرفة وإدارة العلاقات، ويصبحون بمثابة امتداد للموظفين التقنيين لعملائهم (Pol, 2001 & Ordanini). فعلى سبيل المثال، تحولت وكالات السفر التي كانت تعتمد على وساطة التذاكر إلى منصات تكنولوجية تقدم خدمات لوجستية ذكية وإدارة معرفية شاملة لتجارب العملاء (Pol, 2001 & Ordanini).

ولا يتعلق التحول إلى وسطاء المعرفة بمجرد خفض التكاليف (الكفاءة)، بل بتوليد رؤى جديدة (Knowledge) من البيانات الضخمة، وهذا يتطلب استثماراً مكثفاً في مهارات رأس المال البشري، إذ أن الفشل في هذا التحول سيؤدي إلى عزل الوسطاء التقليديين اقتصادياً، حتى لو تبنوا التكنولوجيا جزئياً، مما يربط الابتكار الاقتصادي بضرورة وجود قوى عاملة ماهرة وقادرة على الاستفادة من المعرفة.

3.2. الفجوة الرقمية و أثرها على التنافسية الاقتصادية

على الرغم من الإمكانات الهائلة لتكنولوجيا الإعلام والاتصال، فإن التبني والاندماج الرقمي لم يتم بالتساوي على مستوى العالم، مما يهدد بتعميق الفجوات الاقتصادية (Er, 2019 & Handayani)، وتظهر التباينات

الكبيرة في البنية التحتية، لا سيما فيما يتعلق بالفجوة المكانية (Spatial Divide) في النفاذ إلى النطاق العريض بين المناطق الحضرية والريفية، حيث يواجه المستخدمون في الريف سرعات تنزيل أقل وجودة خدمة غير متسقة مقارنة بالمناطق الحضرية (OECD, 2024-a)، وهذا التباين يعيق اعتماد تكنولوجيا الإعلام والاتصال ويُبطئ انتشار التقنيات الرقمية في مجال اللوجستيات والتنمية الريفية المستدامة (OECD, 2024-a; EC, n.d.).

يظهر هذا التباين بوضوح أيضاً في الفجوات الهيكلية (Structural Gaps) في قدرة الشركات الصغيرة والمتوسطة على التنافس والاندماج الرقمي، ففي الاتحاد الأوروبي، تظهر بيانات عام 2024 أن 28% فقط من الشركات الصغيرة والمتوسطة في بلغاريا لديها معدات رقمية أساسية، مقارنة بـ 59% في المتوسط الأوروبي (EC, 2024)، وهذا يحد من قدرتها على دمج حلول لوجستية رقمية متقدمة.

وبالمثل، تظهر فجوات حادة في توظيف العمالة المتخصصة في ICT: حيث أن نسبة العاملين في قطاع تكنولوجيا الإعلام والاتصال في دول مثل اليونان (Momena et al., n.d.) ورومانيا (Momena et al., n.d.) أقل بكثير من السويد (Momena et al., n.d.).

ويشير هذا التباين في توظيف المهارات إلى أن الاستثمار يجب أن يتجاوز مجرد توفير البنية التحتية المادية، بل يتجه نحو تطوير رأس المال البشري المتخصص لضمان "الاستيعاب العميق" للتكنولوجيا، وهو العامل الحقيقي الذي يحول استثمارات تكنولوجيا الإعلام والاتصال إلى نمو مستدام.

إذ أن الفشل في تطوير رأس المال البشري يعني "الاستيعاب الضحل" للتكنولوجيا، حيث تتوفر البنية التحتية لكن الكفاءات غير موجودة لاستغلالها، وهذا يمثل مخاطرة إستراتيجية تتمثل في اتساع الفجوة بين مختلف الفئات المجتمعية، وقد يؤدي إلى العزلة الاقتصادية للدول التي تفشل في تسخير فرص النمو ضمن سلاسل القيمة العالمية (Er, 2019 & OECD, n.d.-b; Handayani).

الجدول رقم (24): مؤشرات التباين الهيكلي في التبني الرقمي والمهارات (أمثلة أوروبية مختارة)

المؤشر	الدولة الأقل تبنياً (مثال)	النسبة المئوية	المتوسط المرجعي (مثال)	النسبة المئوية	دلالة التباين (Impact Link)
الشركات الصغيرة والمتوسطة بمعدات رقمية أساسية	بلغاريا	%28	المتوسط الأوروبي	%59	ضعف القدرة على دمج الحلول اللوجستية والذكاء الاصطناعي، مما يقلل التنافسية.

العاملون في قطاع ICT (من إجمالي العمالة)	اليونان	%2.4	السويد	%8.7	فجوة حرجة في رأس المال البشري المتخصص اللازم للابتكار والنمو المعتمد على الذكاء الاصطناعي.
استخدام خدمات الحكومة الإلكترونية (E-Gov) من قبل المواطنين	رومانيا	%25	النرويج	%99	تباين كبير في الشمولية، مما يشير إلى أن الاستخدام مرتبط بالدخل والتعليم.

3. ICT والحوكمة الرقمية: الشفافية

1.3. الحوكمة الإلكترونية والمواطنة الرقمية: الإطار المفاهيمي والتطبيقات العملية

تُعرف الحوكمة الإلكترونية بأنها مفهوم أوسع من مجرد الحكومة الإلكترونية (E- (Wikipedia, n.d.-a)، وهي تستخدم تكنولوجيا المعلومات لتقديم الخدمات وتبادل المعلومات والمعاملات، ولتحقيق تكامل بين الأنظمة المستقلة عبر محاور متعددة تشمل: الحكومة إلى المواطن (G2C)، الحكومة إلى الأعمال (G2B)، الحكومة إلى الحكومات الأخرى (G2G)، والحكومة إلى الموظفين (G2E) (Wikipedia, n.d.-a)، ويتمثل الهدف الأساسي للحوكمة الإلكترونية في تعزيز المساءلة والأداء في الأنشطة الحكومية (Nath, 2023)، كما يتسع نطاقها ليشمل تعزيز مشاركة أكبر للمواطنين في حوكمة المؤسسات السياسية (Nath, 2023).

أما المواطنة الرقمية (Digital Citizenship)، فتُعَرَّف بأنها المعايير المتطورة باستمرار للاستخدام المناسب والمسؤول والممكَّن للتكنولوجيا (Ribble, 2015)، وتعمل هذه المواطنة على إرشاد الأفراد لبناء تجارب رقمية إيجابية، والمشاركة بطريقة تحقق الصالح العام. ويشمل إطار المواطنة الرقمية تسعة عناصر أساسية، من أهمها: الوصول الرقمي العادل، وأخلاقيات التصرف (Digital Etiquette)، والطلاقة الرقمية (Digital Fluency)، والوعي بالهوية الرقمية والأمن الرقمي (Council of Europe, 2017).

2.3. دور الخدمات الرقمية الشاملة في تحقيق العدالة الاجتماعية

تتيح تكنولوجيا الإعلام والاتصال للحكومات تقديم خدمات أكثر كفاءة وفعالية عن طريق أتمتة المهام، وتقليل الأعمال الورقية، وتبسيط الإجراءات، مثل تسجيل المركبات عبر الإنترنت أو طلبات جوازات السفر الإلكترونية (PGA, n.d.).

ويمكن لـ تكنولوجيا الإعلام والاتصال أيضاً أن تزيد من الشفافية من خلال جعل المعلومات الحكومية متاحة بسهولة أكبر للمواطنين، مثل الإفصاح العلني عن الميزانيات والبيانات المالية الحكومية عبر الإنترنت (PGA, n.d.).

ومع ذلك، فإن جودة الحوكمة الإلكترونية ليست مجرد مسألة كفاءة إدارية، بل هي محرك للعدالة الاجتماعية والاقتصادية، إذ تُعد أحد العوامل الرئيسية التي تربط تكنولوجيا الإعلام والاتصال بالنمو الاقتصادي (Tsachtsiris et al., 2023).

ويتضح هذا في أهمية النماذج الشاملة لتقديم الخدمات، فعلى سبيل المثال، يمثل النهج النرويجي، الذي طبق نظام التعريف الإلكتروني (eID) الشامل، معياراً دولياً؛ حيث أظهرت النرويج شمولية عالية في استخدام الخدمات الحكومية الإلكترونية (99% من المواطنين يستخدمونها)، مع تباين أقل في الاستخدام بين الفئات الاجتماعية مقارنة بدول أخرى مثل سلوفاكيا، حيث يرتبط الاستخدام بشكل كبير بالتعليم والدخل (Veit & Mergel, 2024; Eurostat, 2024).

إن التباين الحاد بين دول متقدمة في الرقمنة (كالنرويج) ودول أخرى (مثل رومانيا التي سجلت 25% فقط في استخدام الخدمات الحكومية الإلكترونية) (Eurostat, 2024) يثبت أن مجرد توفير البنية التحتية الرقمية الحكومية (E-government) لا يضمن بالضرورة الشمولية.

إذا كان استخدام الخدمات الرقمية الحكومية يعتمد على الدخل والتعليم، فإن هذا يعزز الفجوات القائمة في الوصول إلى العدالة والفرص الاقتصادية، بدلاً من تقليلها، وبالتالي يجب تصميم الخدمات الشاملة والمصممة بعناية (Inclusion by Design) لضمان أن التكنولوجيا تعمل على تقليل الفوارق الاجتماعية والاقتصادية.

3.3. دور الإنترنت في تشكيل المجال العام والمشاركة السياسية

يُعد الوصول إلى المنصات العامة أمراً بالغ الأهمية في الفضاء السياسي، وتساهم تكنولوجيا الإعلام والاتصال في توسيع هذا الوصول، حيث يخلق الإنترنت مجالاً عاماً يمكن للمواطنين مناقشة القضايا العامة والانخراط في "تواصل عقلاني-نقدي" (Habermas, 2009; Wikipedia, n.d.-b). ويتميز هذا المجال بتنوع أوسع في المواضيع مقارنة بوسائل الإعلام التقليدية، ويزيد من المنافسة بين الأحزاب (Habermas, 2009).

وفي سياق التعبئة السياسية، تعمل وسائل التواصل الاجتماعي على تقليل التكلفة التي يتحملها الأفراد للحصول على المعلومات، مما يسهل تعبئتهم لدعم مرشحيهم أو أحزابهم بناءً على المعلومات التي ينشرها النخب والمواطنون المتشابهون في التفكير (Sartori et al., 2024).

علاوة على ذلك، تلعب تكنولوجيا الإعلام والاتصال دوراً مهماً في تعزيز النزاهة الانتخابية والشفافية. وقد طبقت هيئات إدارة الانتخابات في العديد من البلدان، بما في ذلك نيجيريا وزيمبابوي ومالي، آليات تكنولوجية متقدمة لضمان الشفافية والمصداقية، مثل السجلات البيومترية وأنظمة الفرز الإلكتروني المؤتمت (Okonkwo, 2024).

4.3. التحديات الجوهرية للديمقراطية الرقمية

على الرغم من إمكاناتها التحررية في تسهيل المشاركة، تواجه الديمقراطية الرقمية تحديات جوهرية تنبع من طبيعة البيئة الرقمية، لا سيما فيما يتعلق بالجودة التداولية للنقاش العام.

أولاً، يؤدي انتشار المعلومات المضللة (Disinformation) عبر المنصات الرقمية إلى تشويه الرأي العام وتقويض شرعية الحركات السياسية (Rachimoellah et al., n.d.)، وتساهم الخوارزميات في خلق "فقاعات التصفية" (Filter Bubbles)، التي تحد من تعرض الأفراد للمعلومات المتنوعة، مما يزيد من الانغلاق الفكري ويفاقم الاستقطاب السياسي (Common Sense Education, n.d.).

ثانياً، هناك تضارب بين المشاركة واسعة النطاق التي تتيحها تكنولوجيا الإعلام والاتصال وبين متطلبات النقاش التداولي، إذ يمكن أن يؤدي التحرر التعبيري الذي يوفره الإنترنت، بما في ذلك القدرة على نشر أفكار غير تقليدية بلغة غير مدنية، إلى سلوكيات سلبية مثل التنمر الإلكتروني والخطاب المعادي (Habermas, 2009).

وبعبارة أخرى، تخلق تكنولوجيا الإعلام والاتصال "مجالاً عاماً مُشاركاً" (Participatory Public Sphere) ولكنه نادراً ما يصل إلى مستوى المجال العام "التداولي" (Deliberative Public Sphere)، الذي يتطلب مستويات أعلى من التبادل العقلاني والتوافق (Vivat Academia, n.d.)، ويمثل هذا "صراعاً" بين الحرية التعبيرية وضرورة الكياسة لنجاح الديمقراطية لكي تتمكن الحكومات والمجتمع المدني من الاستفادة من المشاركة الجماهيرية، ويجب معالجة هذه "الأزمة في الكياسة الرقمية" عبر أدوات مثل التربية الإعلامية، وإلا ستصبح البيانات والمعلومات المجمعة من النقاشات العامة مشوهة وغير صالحة لاتخاذ القرارات السياسية الرشيدة.

الجدول رقم (25): التبادلية بين مزايا وتحديات تكنولوجيا الإعلام والاتصال في الديمقراطية الرقمية

مجال التأثير	المزايا (الفرص للديمقراطية)	التحديات والمخاطر (العوائق أمام النقاش التداولي)
المشاركة والخطاب	زيادة التعبئة السياسية وتوسيع المجال العام للنقاش النقدي	تفاقم الاستقطاب السياسي وخطاب الكراهية وغياب الكياسة

الخدمات والحوكمة	تحسين الكفاءة والشفافية وزيادة رضا المواطن	مخاطر الأمن السيبراني، الفجوة الرقمية في الوصول للخدمات، عدم المساواة في الاستخدام بناءً على الدخل والتعليم
المعلومات والبيانات	سهولة الوصول إلى المعلومات السياسية المتنوعة ومصادر بديلة	انتشار المعلومات المضللة، وتأثير خوارزميات فقاعات التصفية

4. ICT والتربية الإعلامية والمعلوماتية

1.4. الإطار المفاهيمي للتربية الإعلامية والمواطنة الرقمية

أصبحت التربية الإعلامية والمعلوماتية (Media and Information Literacy - MIL) عنصراً حيوياً في التعليم وليست مجرد مكون اختياري (NYSBA, n.d.)، وتُعرف التربية الإعلامية بأنها القدرة على تحليل، وتقييم، وإنشاء المحتوى الإعلامي بمسؤولية (NYSBA, n.d.)، وهي ضرورية في عصر الوصول غير المسبوق إلى المعلومات، لا سيما مع تزايد المعلومات المضللة وهيمنة منصات التواصل الاجتماعي على الاتصال (NYSBA, n.d.).

وتدعم منظمة اليونسكو تطوير أطر عمل تقييم التربية الإعلامية وتشجع الدول الأعضاء على اتخاذ إجراءات ملموسة لتمكين المواطنين (UNESCO, 2021)، وتتداخل التربية الإعلامية بشكل كبير مع مفهوم المواطنة الرقمية (Ribble, 2015)، الذي يمتد ليشمل الطلاقة الرقمية (Digital Fluency)، وأخلاقيات السلوك، والتفكير النقدي والإبداعي في السياقات الرقمية (Council of Europe, 2017; Ribble, 2015).

حيث أن الطلاقة الرقمية هي عملية فهم التكنولوجيا واستخدامها، وكلما كان الأفراد "أكثر طلاقة رقمياً"، زادت احتمالية اتخاذهم قرارات جيدة عبر الإنترنت، مثل دعم الآخرين بدلاً من نشر التعليقات السلبية (Ribble, 2015).

2.4. تنمية مهارات التفكير النقدي في بيئة رقمية

تُظهر الأبحاث الأكاديمية علاقة إيجابية وقوية بين الطلاقة الرقمية ومهارات التفكير النقدي لدى الطلاب (Sari, 2024)، وتشير التحليلات إلى أن الطلاقة الرقمية تساهم بنسبة 42.6% في تعزيز مهارات التفكير النقدي (Sari, 2024)، وبالتالي تؤكد هذه النتائج أن دمج الطلاقة الرقمية في المناهج التعليمية أمر بالغ الأهمية لتجهيز الطلاب بالمهارات اللازمة لمواجهة تحديات العصر الرقمي وعصر الصناعة 4.0 (Sari, 2024).

ويُعد إطار المهارات الأربع (Cs4) —التفكير النقدي، والتواصل، والتعاون، والإبداع— مرجعاً أساسياً لتطوير كفاءات الطلاب التكيفية ومع ذلك، يجب أن يرافق تطبيق التكنولوجيا في التعليم استراتيجيات تركز على

الجوانب التقييمية والتحليلية للمحتوى، لضمان أن يصبح الطلاب مستخدمين ناقدين ومستقلين للتكنولوجيا، وليسوا مجرد مستهلكين سلبيين (Sari, 2024)، حيث أن الفشل في تحقيق هذا المستوى النقدي من الاستخدام يحول الاستثمار في تكنولوجيا الإعلام والاتصال إلى أداة تزيد من التعرض للمخاطر بدلاً من زيادة الإنتاجية.

3.4. التربية الإعلامية كدرع ضد التضليل وتحدي الديمقراطية

في ظل التحديات التي تطرحها الديمقراطية الرقمية، تمثل التربية الإعلامية خط الدفاع الأساسي والأكثر استدامة، حيث أنها تزود الأفراد بالقدرة على تحليل وتقييم المحتوى الإعلامي، وتقييم المصادر، والتحقق من الحقائق، والتعرف على التحيز (NYSBA, n.d.)، وهذا التحول من الاستهلاك السلبي إلى المشاركة النقدية هو الحل الوقائي لمخاطر الديمقراطية الرقمية (Vivat Academia, n.d.).

تساعد التربية الإعلامية في بناء المرونة الرقمية (Digital Resilience)، حيث تُمكّن الطلاب من التنقل في المساحات الإلكترونية بأمان ومسؤولية (Common Sense Education, n.d.)، وهذا يشمل فهم قضايا الخصوصية، والتعرف على التنمر الإلكتروني، والوعي بكيفية قيام الخوارزميات بتشكيل استهلاكهم الإعلامي (Common Sense Education, n.d.).

إن دور التربية الإعلامية والمعلوماتية يتجاوز دعم الديمقراطية؛ فهو استثمار إستراتيجي في البنية التحتية لرأس المال البشري. فبما أن النمو الاقتصادي يعتمد على رأس المال البشري الفعال والحوكمة الإلكترونية الجيدة (Tsachtsiris et al., 2023)، وبما أن الطلاقة الرقمية ترفع التفكير النقدي (Sari, 2024)، فإن الاستثمار في التربية الإعلامية ليس مجرد نفقات تعليمية، بل هو استثمار إلزامي في البنية التحتية للمهارات. وقد يؤدي الفشل في هذه المهمة إلى فجوة هيكلية مزدوجة: مواطنون غير قادرين على المشاركة النقدية في الديمقراطية الرقمية، وشركات صغيرة ومتوسطة غير قادرة على استيعاب الابتكار والاندماج في سلاسل القيمة العالمية (Momena et al., n.d.)، وبالتالي فإن التربية الإعلامية تعمل كجسر إلزامي لتحقيق الاستفادة الاقتصادية والاجتماعية الكاملة من تكنولوجيا الإعلام والاتصال.

الجدول رقم (26): عناصر التربية الإعلامية والمعلوماتية والربط بين المحاور الإستراتيجية الثلاثة

العنصر المحوري (Core Element)	الكفاءة المستهدفة (Targeted Competency)	الربط الإستراتيجي (Impact Link)

الطلاقة الرقمية (Digital Fluency)	فهم التكنولوجيا واستخدامها بفعالية وكفاءة	**الاقتصاد الرقمي:** تطوير رأس المال البشري اللازم لنمو الناتج المحلي الإجمالي واستيعاب تقنيات الذكاء الاصطناعي
الأخلاقيات والسلوك (Etiquette)	الالتزام بمعايير السلوك ومراعاة الآخرين عبر الإنترنت	**الديمقراطية الرقمية:** الارتقاء بجودة النقاش التداولي ومكافحة الخطاب المعادي، مما يدعم شرعية المجال العام
التحليل والتقييم (Analysis and Evaluation)	فحص المحتوى لتحديد المصداقية والتحيز وتجنب التضليل	**المرونة المجتمعية:** مكافحة التضليل وتعزيز الوعي النقدي لتقليل مخاطر الاستقطاب السياسي

4.4. الأبعاد التسعة للمواطنة الرقمية

يشكل إطار المواطنة الرقمية الإطار السلوكي اللازم للاستخدام المسؤول لتكنولوجيا الإعلام والاتصال، وهو ضروري لتحويل التقنيات من مجرد أدوات إلى محفزات للتحول الإيجابي (Ribble, 2015; Council of Europe, 2017)، وتتمثل الأبعاد التسعة في الآتي:

1- **الوصول الرقمي (Digital Access):** التوزيع العادل للتكنولوجيا والموارد عبر الإنترنت، وهو الأساس لتقليل الفجوة الرقمية في الاستخدام المدني والاقتصادي (Ribble, 2015).

2- **التجارة الرقمية (Digital Commerce):** أدوات وضمانات للبيع والشراء والخدمات المالية عبر الإنترنت، مما يضمن أمان المعاملات ويعزز الشمول المالي (Ribble, 2015).

3- **الاتصال والتعاون الرقمي (Digital Communication):** تبادل المعلومات بفعالية وتعبير الأفراد عن آرائهم، مما يدعم المجال العام ويسهل التعبئة السياسية (Ribble, 2015).

4- **الأخلاقيات الرقمية (Digital Etiquette):** معايير السلوك عبر الإنترنت وأهمية مراعاة الآخرين، وهذا يرفع من جودة النقاش التداولي ومكافحة الخطاب المعادي (Ribble, 2015).

5- **الطلاقة الرقمية (Digital Fluency):** فهم التكنولوجيا واستخدامها لاتخاذ قرارات جيدة عبر الإنترنت، وهذا يدعم تطوير رأس المال البشري والتفكير النقدي (Ribble, 2015).

6- **القانون الرقمي (Digital Law):** المسؤولية الأخلاقية عن الأفعال عبر الإنترنت، لتأسيس بيئة رقمية آمنة وعادلة (Ribble, 2015).

7- **الحقوق والمسؤوليات الرقمية (Responsibilities & Digital Rights):** الامتيازات والحريات التي يتمتع بها مستخدمو التكنولوجيا، وضمان حرية التعبير والخصوصية في سياق المواطنة الرقمية (Ribble, 2015).

8- **الصحة والرفاهية الرقمية (Wellness & Digital Health):** الآثار الجسدية والنفسية لاستخدام التكنولوجيا، لتعزيز الاستخدام المستدام والواعي (Ribble, 2015).

9- **الأمن الرقمي (Digital Security):** حماية البيانات والهوية من التهديدات السيبرانية، للحفاظ على نزاهة العمليات الحكومية والاقتصادية (Ribble, 2015).

خلاصة المحاضرة

ختاما يتأكد لنا بأن تكنولوجيا الإعلام والاتصال هي تقنية عامة الغرض ذات تأثير تحويلي واسع النطاق، وأن نجاح الدول في استغلال كامل إمكاناتها الاقتصادية يعتمد بشكل حاسم على نجاحها في بناء إطارين تكميليين: الحوكمة الإلكترونية الشاملة والتربية الإعلامية الفعالة. وتظهر التحليلات أن هذه المجالات الثلاثة مترابطة بشكل تداخلي ومعقد.

قائمة المراجع

1- Abidi, N., El-Herradi, M., & Sakha, S. (2022). *Digitalization and resilience: Firm-level evidence during the COVID-19 (IMF Working Paper WP/22/34).* International Monetary Fund.

2- Belitski, M., et al. (2023). *Enhancing the quality of ICT infrastructure as a relevant strategy for building ecosystems resilient to multiple types of crises.*

3- Chen, Y., Zhang, W., & Long, H. (2023). *Delving into the concept of digital financial inclusion (DFI-ICT). Digital Progression and Economic Growth: Analyzing the Impact of ICT Advancements on the GDP of European Union Countries, 12*(3), 63.

4- Common Sense Education. (n.d.). *Digital citizenship curriculum.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.commonsense.org/education/digital-citizenship

5- Council of Europe. (2017). *Digital citizenship education handbook.* Retrieved September 29, 2025, from https://rm.coe.int/16809382f9

6- European Commission (EC). (2024). *Bulgaria 2024 digital decade country report.* Retrieved September 29, 2025, from https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/bulgaria-2024-digital-decade-country-report

7- European Commission (EC). (n.d.). *Broadband connectivity stimulates rural revitalisation.* Retrieved September 29, 2025, from https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/broadband-connectivity-stimulates-rural-revitalisation

8- Eurostat. (2024). *E-government: The inclusive way for the future of digital citizenship.* Retrieved September 29, 2025, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/131512.pdf

9- Guerrini, F. (2003). *Disruptive innovation and disintermediation strategies in value chain.* XIME. Retrieved September 29, 2025, from https://xime.org/uploads/userfiles/JME%202013%20Oct%20Article%202%20Dsiruptive%20innovation.pdf

10- Habermas, J. (2009). *ICTs, public sphere, and deliberative democracy. Educational Administration: Theory and Practice.* Retrieved September 29, 2025, from https://kuey.net/index.php/kuey/article/download/7204/5356/14151

11- Handayani, S. F., & Er, M. (2019). *Navigating digital transformation and technology adoption: A literature review from small and medium-sized enterprises in developing countries. Sustainability, 16*(14), 5946.

12- International Telecommunication Union (ITU). (n.d.-a). *Digital technologies to achieve the UN SDGs.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/icts-to-achieve-the-united-nations-sustainable-development-goals.aspx

13- Lenovo. (n.d.). *Glossary: ICT.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.lenovo.com/us/en/glossary/ict/

14- Momena, F., et al. (n.d.). *Information and communication technology, and supply chains as economic drivers in the European Union.* MDPI. Retrieved September 29, 2025, from https://www.mdpi.com/2305-6290/9/2/49

15- Nath, J. (2023). *Digital government and digital governance: Grand concept.* ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/369464569_Digital_Government_and_Digital_Governance_Grand_Concept

16- New York State Bar Association (NYSBA). (n.d.). *Judging the credibility of what you read.* Retrieved September 29, 2025, from https://nysba.org/why-media-literacy-education-is-crucial-for-u-s-students/

17- OECD. (n.d.-a). *Digital transformation.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/digital-transformation.html

18- OECD. (n.d.-b). *Global value and supply chains.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/global-value-and-supply-chains.html

19- OECD. (2024-a). *Closing broadband connectivity divides for all.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/publications/closing-broadband-connectivity-divides-for-all_d5ea99b2-en.html

20- Okonkwo, I. S. (2024). *Role of ICT in socio-economic transformation in educational system.* ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/391567343_ROLE_OF_ICT_IN_SOCIO_-ECONOMIC_TRANSFORMATION_IN_EDUCATIONAL_SYSTEM

21- Ordanini, A., & Pol, A. (2001). *Infomediation and competitive advantage in B2B digital marketplaces.* ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from

https://www.researchgate.net/publication/223289816_Infomediation_and_competitive_advantage_in_B2B_digital_marketplaces

22- Parliamentarians for Global Action (PGA). (n.d.). *Technology and governance for democracy.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.pgaction.org/dgi/drhr/parliamentary-toolbox-for-democracy-defense/technology-and-governance-for-democracy.html

23- Petsas, I. E. (2003). *General purpose technologies: Characteristics and impact on economic growth. European Research Studies Journal, 6*(1), 177–186.

24- Rachimoellah, M., Lubis, P. H., et al. (n.d.). *Digital activism and political change: Challenges of social media's impact. UI Scholars Hub.* Retrieved September 29, 2025, from https://scholarhub.ui.ac.id/meis/vol11/iss2/2/

25- Ribble, M. (2015). *Digital citizenship in schools: Nine elements all students should know* (3rd ed.). International Society for Technology in Education.

26- Sari, E. (2024). *Digital literacy and critical thinking skills of students in the era of Industry 4.0.* ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/392176349_Digital_Literacy_and_Critical_Thinking_Skills_of_Students_in_the_Era_Industry_40

27- Sartori, L., et al. (2024). *Social media use and political engagement in polarized times. Journal of Political Communication, 41*(4), 1058–4609.

28- Tsachtsiris, V., et al. (2023). *The ICT index and GDP growth: A comprehensive study. Digital Progression and Economic Growth, 12*(3), 63.

29- UNESCO. (2021). *Global media and information literacy assessment framework.* Retrieved September 29, 2025, from https://www.unesco.org/en/articles/global-media-and-information-literacy-assessment-framework

30- UNESCO. (n.d.-a). *ICT's contribution to achieving universal education.* Retrieved September 29, 2025, from https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3797554/

31- UNESCO. (n.d.-b). *Information and communication technologies (ICT): UNESCO Institute for Statistics data browser glossary.* Retrieved September 29, 2025, from https://databrowser.uis.unesco.org/resources/glossary/2367

32- United Nations (UN). (n.d.). *The Sustainable Development Goals.* Retrieved October 12, 2025, from https://sdgs.un.org/

33- Veit, D., & Mergel, I. (2024). *E-government—The inclusive way for the future of digital citizenship. Sustainability, 13*(6), 141.

34- Vivat Academia. (n.d.). *Repensar la comunicación política en el contexto digital. Ciberdemocracia: ¿Democracia deliberativa?* Retrieved September 29, 2025, from https://www.vivatacademia.net/index.php/vivat/article/download/1268/2648?inline=1

35- Wikipedia. (n.d.-a). *E-governance.* Retrieved September 29, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/E-governance

36- Wikipedia. (n.d.-b). *Public sphere*. Retrieved September 29, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Public_sphere

37- World Bank. (n.d.-a). *Digital financial inclusion*. Retrieved September 29, 2025, from https://www.worldbank.org/en/topic/financialinclusion/publication/digital-financial-inclusion

38- World Bank. (n.d.-b). *The Sustainable Development Goals report 2025*. Retrieved September 29, 2025, from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099031924192524293/pdf/P180107173682d0431bf651fded74199f10.pdf

39- World Economic Forum (wiiw). (n.d.). *The information and communication technology cluster in the global value chain network*. Retrieved September 29, 2025, from https://wiiw.ac.at/the-information-and-communication-technology-cluster-in-the-global-value-chain-network-dlp-5877.pdf

40- Zuppo, E. (2012/2020). *Defining ICT in a boundaryless world: The development of a working hierarchy*. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/314059150_Defining_ICT_in_a_Boundaryless_World_The_Development_of_a_Working_Hierarchy

المحاضرة الرابعة عشر: تكنولوجيا الإعلام والاتصال في العصر الرقمي: خصائصها التحولية وتحدياتها الأخلاقية والقانونية

مقدمة

تُمثل تكنولوجيا الإعلام والاتصال (Information and Communication Technology, ICT) عصب الحياة المعاصرة، وهي القوة الدافعة وراء التحول الرقمي الذي يطال المؤسسات العالمية بأسرها، حيث أدت القدرات غير المسبوقة التي أطلقتها ICT بفعل خصائصها إلى تعزيز الكفاءة الاقتصادية والمشاركة المجتمعية بشكل هائل (Polonetsky, 2013 & Tene).

ومع ذلك، فإن هذه القدرات التحولية نفسها قد ولّدت مجموعة معقدة وغير مسبوقة من التحديات الأخلاقية والقانونية، وستتناول هذه المحاضرة المفارقة تحليلاً متعمقاً للخصائص الجوهرية لـ ICT وتداعياتها التنظيمية والقانونية

القسم الأول: التحول الرقمي كعملية استراتيجية شاملة

1.1. مدخل إلى التحول الرقمي:

يُعرّف التحول الرقمي بأنه عملية استراتيجية شاملة تهدف إلى دمج التقنيات الرقمية في كافة الأنشطة التنظيمية، ويتمثل الهدف من هذا الدمج في تحسين الأداء وتقديم قيمة أفضل لأصحاب المصلحة.

ومن الأهمية بمكان ملاحظة أن هذا التحول يتجاوز مجرد استخدام التقنية؛ إذ يُنظر إليه كعملية استراتيجية كلية تشمل الابتكار في نماذج الأعمال، وتطوير الموارد البشرية، وإعادة هندسة العمليات التشغيلية.

وتستغل هذه العملية الاستراتيجية قدرة ICT على معالجة البيانات والوصول إليها بذكاء وفي الوقت الفعلي، وفي هذا السياق تكمن القيمة الحقيقية لـ ICT ليس فقط في توفير الأدوات الرقمية، ولكن في قدرتها على تمكين الرؤى في الوقت الفعلي التي تدعم القرارات الاستراتيجية للمؤسسة، مما يؤكد أن التحول هو عملية هيكلية وليست مجرد تكنولوجية.

2.1. الخصائص التحولية المحورية لـ ICT

يمكن تحليل التأثير العميق لتكنولوجيا الإعلام والاتصال من خلال ثلاث خصائص رئيسية غيرت طبيعة الاتصال والمشاركة في العصر الرقمي: التفاعلية، والفورية، واللامركزية.

1.2.1. التفاعلية (Interactivity) وتعميق المشاركة

تُعد التفاعلية السمة المميزة للاتصال في العصر الرقمي، وهي تفوق كونها مجرد ميزة تقنية، وقدّم Rafaeli (1988) التعريف النظري للتفاعلية بأنها عملية اتصال ثنائية الاتجاه تتطلب من المستخدم القيام بعمل يتبعه استجابة من النظام أو الطرف المقابل (Rafaeli, 1988).، ويدور هذا المفهوم حول فكرة أن التفاعلية هي خاصية متغيرة في إعدادات الاتصال، تعبر عن مدى ارتباط الرسالة الثالثة (أو اللاحقة) بالرسائل السابقة التي أشارت إلى رسائل أقدم.

ومع ظهور الإنترنت، تطور المفهوم ليشمل أنظمة ديناميكية متغيرة توفر واجهات مستخدم غنية في إطار تحليلي متعدد التخصصات، نظر Bolton وSaxena-Iyer (2009) إلى التفاعلية من ثلاثة جوانب رئيسية: التفاعلية بين الأفراد (مثل تبادل التعليقات عبر الإنترنت)، التفاعلية بين المستخدم والنظام التقني (مثل استخدام نظام محاكاة)، والتفاعلية بين الأنظمة التقنية المختلفة (كما يحدث في شبكات أجهزة إنترنت الأشياء).[1]

وقد أثبتت التفاعلية أهميتها البالغة في سياقات التعلم الرقمي، حيث تظهر الدراسات (Baker, & Woods 2004) وجود ارتباط إيجابي بين مستويات التفاعل العالية والنتائج المعرفية للطلاب، وتُشكل زيادة فرص التفاعل، لا سيما تلك التي تعزز الاندماج الاجتماعي، قوة دافعة قوية للتحفيز.

فعلى سبيل المثال، يساهم استخدام الأدوات التفاعلية الغامرة، مثل الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR)، في تعزيز المشاركة النشطة والمباشرة للمتعلمين.[1]

ومن منظور أعمق، يذهب التفاعل العالي إلى ما هو أبعد من مجرد تبادل البيانات ليصبح تأثيراً علاقيًا يُنشئ قيماً أخلاقية وجمالية بين أصحاب المصلحة، وهو ما يطلق عليه "إمكانيات القيمة" (Value Affordances).

ومع ذلك، فإن النجاح في تحويل التفاعلية إلى ميزة ملموسة لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، بل يتوقف بشكل أساسي على الاستراتيجية البشرية والتربوية، فالمعلمون يلعبون دوراً حاسماً في تهيئة بيئات التعلم الملهمة، والتدخل البشري النشط يضمن ترجمة الميزات التقنية إلى تعزيز حقيقي للمشاركة والتحفيز لدى المتعلمين.

2.2.1. الفورية/الآنية (Immediacy): الكفاءة والمخاطر السلوكية

تُعرّف خاصية الفورية في تكنولوجيا الإعلام والاتصال بأنها قدرة النظام على تسهيل التواصل الذي يحدث في الوقت الفعلي (Real-time)، مما يلغي عملياً التأخير الزمني بين إرسال الرسالة واستقبال الرد (Woods & Baker, 2004)، وتعد هذه الخاصية، التي تمثل تحولاً جذرياً عن أنماط الاتصال القديمة محركاً قوياً لرضا المستخدمين والاستخدام المستمر للتكنولوجيا.

في بيئات التعلم الرقمي، على سبيل المثال، ارتبطت الآنية في تقديم التغذية الراجعة (Feedback Immediacy) بارتفاع مستويات الرضا وزيادة نية الطلاب المستمرة لاستخدام منصات التعلم الإلكتروني. وفي سياق التفاعل التجاري، أظهرت الأبحاث أن الآنية الاجتماعية تؤثر بشكل ملموس على سلوكيات المشاركة عبر وسائل التواصل الاجتماعي، مثل الإعجاب بالمحتوى ومشاركته.

وبالرغم من الفوائد الكبيرة التي تحققها السرعة، فإن التدفق المستمر للمعلومات والوصول الفوري يطرح تحديات نفسية ومعرفية عميقة، فالوصول الفوري (Instant Access) يمكن أن يساهم في ضعف السيطرة العاطفية ويزيد من طلب الحلول السريعة، مما يؤدي إلى نشوء سلوكيات مشابهة للإدمان والاعتمادية على الأجهزة، حيث يشعر الأفراد بالقلق أو الضيق عند الانقطاع عن أجهزتهم الإلكترونية.

وتُظهر التحليلات الأكاديمية مفارقة متزايدة: فبينما تُعزّز الفورية الانخراط العاطفي والاجتماعي، فإنها يمكن أن تؤدي في الوقت نفسه إلى التفكك المعرفي على المستوى الفردي، حيث يرتبط الاستخدام المفرط لوسائل التواصل الاجتماعي بزيادة أعراض الاكتئاب والقلق، وله تأثير عكسي غير مباشر على المشاركة الأكاديمية للطلاب.

علاوة على ذلك، يرتبط الانشغال المستمر بالهاتف الذكي في الوقت الفعلي بزيادة ميل المستخدمين إلى التسويف وتشتيت الانتباه عن المهام الأكثر أهمية، وهذا التناقض يشير إلى أن الكفاءة التقنية (سرعة المعالجة) تتحقق في بعض الأحيان على حساب الجودة النفسية والتركيز الذهني للفرد. وللتغلب على الآثار السلبية لهذه الآنية المفرطة، يجب تطوير وسائل جديدة تُمكّن الأفراد من تحديد الجوانب من استخدامهم الرقمي التي تتعارض مع أهدافهم الأساسية بشكل واعٍ، بدلاً من مجرد وضع قيود خارجية، حيث الحل المستدام يتطلب تعزيز مهارات التنظيم الذاتي والوعي الذاتي لدى المستخدمين.[1]

3.2.1 اللامركزية (Decentralization): التحول القانوني التقني

تُعد اللامركزية، المتمثلة في الجيل الثالث من شبكة الإنترنت (Web3) وتقنية البلوكشين (Blockchain)، من أهم الخصائص التحولية لـ ICT، حيث يمثل الويب 3.0 المرحلة التالية من تطوير الإنترنت، إذ يتم التركيز على المنصات اللامركزية التي تعزز سيطرة المستخدمين على بياناتهم.

ويعد الأساس التقني لهذه اللامركزية هو البلوكشين، الذي يُعرّف بأنه دفتر رقمي موزع (Distributed Ledger) يخزن السجلات بشكل آمن عبر شبكة واسعة من أجهزة الكمبيوتر، ويتميز البلوكشين بكونه شفافاً ومقاوماً للعبث، حيث يتم ربط الكتل التي تحتوي على البيانات معاً عبر التشفير، وفي شبكات البلوكشين، لا يوجد كيان أو سلطة مركزية واحدة تسيطر على البيانات؛ بل يحتفظ جميع المستخدمين بالتحكم المشترك.

ويظهر التأثير التحويلي للامركزية بوضوح في القطاعات الإبداعية، مثل صناعة الموسيقى، ففي النموذج التقليدي، كانت عملية توزيع حقوق الملكية (Royalty fees) على الفنانين تتم عبر وسطاء، مما جعل العملية معتمة وعرضة للأخطاء، ومع تطبيق البلوكشين والعقود الذكية، يمكن للفنانين الحصول على تعويضاتهم مباشرة وبطريقة شفافة وفورية، مما يخلق نموذجاً اقتصادياً أكثر استدامة وإنصافاً للمبدعين، فعلى سبيل المثال، يتم تمثيل ملفات الموسيقى كرموز غير قابلة للاستبدال (NFTs)، مما يمنح المبدع سجلاً قابلاً للتحقق وغير قابل للعبث لملكيته.[1]

ومن أهم خصائص البلوكشين هي عدم القابلية للتغيير (Immutability)، والتي تضمن أن البيانات المسجلة لا يمكن تغييرها أو إزالتها، مما يعزز النزاهة والثقة وقابلية التدقيق، وعلى الرغم من أهميتها في حفظ سجلات المعاملات، تخلق هذه الخاصية تعارضاً قانونياً جوهرياً مع التشريعات الحديثة لحماية البيانات، وتحديداً الحق في النسيان (Right to Erasure) المنصوص عليه في المادة 17 من اللائحة العامة لحماية البيانات.

هذا التناقض بين الطبيعة الثابتة للبيانات على البلوكشين والحق القانوني للأفراد في مسح بياناتهم الشخصية يمثل عقبة كبيرة أمام التبني الكامل للحلول اللامركزية في المناطق ذات الأطر التنظيمية الصارمة، ولحل هذا التناقض يتطلب الأمر حتمية اللجوء إلى حلول قانونية هجينة تفصل بين البيانات القابلة للمسح عن سجل المعاملات غير القابلة للتغيير.

وإلى جانب التحدي القانوني، هناك تحدٍ فني واقتصادي يتعلق بتكلفة اللامركزية.[1] إن الحفاظ على خاصية عدم القابلية للتغيير عبر شبكة واسعة من المشاركين يتطلب تكلفة حسابية هائلة.[1] وتُعتبر هذه التكاليف العالية "تكلفة خارجية" (Externality Cost) كبيرة، مما قد يحد من قابلية توسع الشبكات اللامركزية، ويجعل هذه السمة الفنية تحدياً يجب معالجته بدلاً من اعتبارها مجرد ميزة مطلقة.[1]

الجزء الثاني: التحديات الأخلاقية والقانونية الراهنة لـ ICT

2.1. تنظيم الخصوصية في عصر البيانات الضخمة

أدى التوسع في استخدام تكنولوجيا إنترنت الأشياء (IoT) إلى تضخيم ظاهرة جمع البيانات الضخمة (Big Data)، حيث تقوم أجهزة الاستشعار في IoT بجمع كميات هائلة من البيانات التفصيلية والدقيقة (Granular Data)، بما في ذلك المعلومات الشخصية والسلوكية والموقع.

إن جوهر التحول في طبيعة الخطر لم يعد مقتصراً على مجرد جمع البيانات، بل تحول إلى القدرة الاستنتاجية (Inferential Capability) لأنظمة الذكاء الاصطناعي، وتستغل هذه الأنظمة الدقة العالية لبيانات أجهزة

إنترنت الأشياء لـ استنتاج وإعادة تحديد معلومات شخصية أو حساسة من بيانات كان يُعتقد أنها أزيلت هويتها (De-identified). وهذا يعني أن الإجراءات التقليدية لإخفاء الهوية لم تعد كافية لحماية الأفراد.

ويشير النقاش الأكاديمي إلى وجود "مفارقة الخصوصية" (Privacy Paradox)، وقد فشل النموذج التقليدي الذي يعتمد بشكل أساسي على "الموافقة الفردية" (Individual Consent) كآلية وحيدة للحماية، نظراً لأن الأفراد يفتقرون إلى المعرفة الكافية لاتخاذ قرارات مسؤولة في نظام بيئي متزايد التعقيد.

وللتغلب على قصور نموذج الموافقة، دعا الخبراء (Polonetsky, 2013 & Tene) إلى تطوير إطار عمل جديد يوازن بفعالية بين الفوائد المجتمعية والتجارية للبيانات الضخمة وحقوق الخصوصية الفردية، حيث ركز هذا النموذج على تحديد متى تكون معالجة البيانات مبررة بناءً على "المصلحة التجارية المشروعة"، ومتى تتطلب "موافقة صريحة" (Opt-in)، وفي الإطار القانوني للائحة العامة لحماية البيانات ، تعتمد الموازنة على توقع المستخدم ومدى تطفل المعالجة على الخصوصية. إذا كانت المعالجة ذات تأثير محدود ويتوقعها المستخدم بشكل معقول، يمكن الاعتماد على المصلحة المشروعة؛ أما الأنشطة الأكثر تطفلاً، مثل الإعلان المخصص، فتتطلب موافقة صريحة، يوضح الجدول التالي الموازنة القانونية بين الأسس المختلفة لمعالجة البيانات:

الجدول رقم (27): الموازنة القانونية بين الموافقة والمصلحة المشروعة (وفقاً لإطار GDPR)

الأساس القانوني	التعريف الجوهري	مدى توقع المستخدم	أمثلة على الاستخدام في ICT
الموافقة الصريحة (Consent)	اتفاق واضح، محدد، ومستنير يُمنح للتحكم الكامل في المعالجة.	منخفض. (تستخدم عندما تكون المعالجة مفاجئة أو تطفلية).	الإعلان المخصص (Personalized Advertising) وتتبع المستخدم عبر مواقع طرف ثالث.
المصلحة المشروعة (Legitimate Interest)	وجود سبب وجيه للمعالجة يعود بالنفع، شريطة ألا يتجاوز حقوق الفرد.	مرتفع. (تستخدم عندما يتوقع المستخدم المعالجة بشكل معقول).	تحليلات الويب الداخلية لتحسين الأداء [1]، والكشف عن الاحتيال الأمني.[1]

3.2. الأخبار الكاذبة والتضليل (Fake News and Disinformation)

3.1.2. السياق المفاهيمي والتحدي الزمني

أصبحت مصداقية المعلومات ذات أهمية قصوى في المجتمعات الرقمية بعد انتشار وسائل الإعلام الرقمية، وقد أشار بعض الأكاديميين إلى أننا نعيش حالياً في "عصر ما بعد الحقيقة" (Kapantai et al., 2021)، ومن الضروري التمييز بين الخبر الكاذب (Fake News)، الذي عرّفه Paskin (2018) بأنه مقالات إخبارية تنشأ في

وسائل الإعلام وليس لها أساس وقائعي، وبين التضليل (European Commission, 2018). فالتضليل، كما عرّفته المفوضية الأوروبية (2018)، يتميز بالنية الإجرامية؛ إذ هو كل شكل من أشكال المعلومات غير الدقيقة التي صُممت ورُوجت بقصد إحداث ضرر عام أو لتحقيق مكسب مادي.

إن سرعة انتشار الأخبار الكاذبة، التي ضخمتها خاصية الفورية في ICT، تتناقض بشكل حاد مع بطء عملية التحقق والمكافحة، سواء كانت خوارزمية أو بشرية.[1] هذا التناقض الزمني يفرض تحدياً هيكلياً على فعالية أنظمة الكشف.

3.2.2. التحول المنهجي لمكافحة الانتشار السلوكي

يتجاوز التحول المنهجي في هذا المجال مجرد تصنيف المحتوى إلى "صحيح" أو "كاذب"، للتركيز على فهم سياق الانتشار ومنشأ المعلومات (Kapantai et al., 2021)، ويعني هذا أن المعركة ضد التضليل تتجه نحو مكافحة نماذج الانتشار السلوكي التي تستغل نقاط ضعف الشبكات الاجتماعية، وليس فقط تحليل المحتوى ذاته.

لذا، فإن محاربة الأخبار الكاذبة تتطلب نهجاً مجتمعياً يركز على تعزيز "محو الأمية الإعلامية" ومهارات التفكير النقدي لدى الأفراد، لتمكينهم من الحكم على مصداقية المعلومات بأنفسهم بفاعلية.[1]

3.2. أخلاقيات الذكاء الاصطناعي

1.3.2. التحيز الخوارزمي ونماذج اللغة الكبيرة

فرض التقدم السريع في نماذج اللغة الكبيرة (LLMs) والذكاء الاصطناعي التوليدي تحديات أخلاقية خطيرة، وتؤكد الأطر الأخلاقية الدولية (مثل توصية اليونسكو, 2021) على قيم جوهرية، منها احترام حقوق الإنسان والكرامة وضمان التنوع والشمولية (UNESCO, 2021).

أحد أخطر التحديات هو التحيز الخوارزمي (Algorithmic Bias)، حيث تنشأ أنظمة الذكاء الاصطناعي لتعكس وتضخم التحيزات الاجتماعية الضارة الموجودة أصلاً في مجموعات البيانات التي تدربت عليها، ويؤدي هذا التحيز إلى نتائج تمييزية ومعاملة غير عادلة، ويتطلب التخفيف من هذا التحيز نهجاً شاملاً يتضمن التدخل في مراحل مختلفة: ما قبل المعالجة، أثناء التدريب، وما بعد المعالجة، لضمان العدالة.

2.3.2. هلوسة الذكاء الاصطناعي وفجوة الثقة الوجودية

تُعد ظاهرة هلوسة الذكاء الاصطناعي (AI Hallucination) مصدر قلق كبير، وتُعرّف بأنها توليد نماذج اللغة لنصوص أو إجابات تبدو منطقية وموثوقة ولكنها غير دقيقة أو لا أساس لها من الصحة، حيث تشير التقديرات إلى أن معدل الهلوسة في بعض النماذج قد يصل إلى 15% إلى 20%.

وتؤدي هذه الظاهرة إلى نتائج سلبية متعددة، منها نشر المعلومات الخاطئة وتقويض سمعة المؤسسات. وعلى الرغم من أن الذكاء الاصطناعي يوفر كفاءة معالجة البيانات الفورية، فإن عدم قدرته على ضمان الصدق المطلق يولد فجوة ثقة وجودية، وهذا ما يجعل الأنظمة الذكية غير مناسبة للتطبيقات الحساسة التي تتطلب دقة لا لبس فيها، مثل التشخيصات الطبية أو الاستشارات القانونية.[1] يتطلب ضمان النزاهة في البيئات التعليمية (لمكافحة الغش) وفي التطبيقات الحساسة وضع إرشادات واضحة والاعتماد على الرقابة البشرية لضمان المساءلة.

ويتضح أن الحلول لمشاكل التحيز والهلوسة ليست تقنية بحتة، بل هي في جوهرها تنظيمية وإجرائية، حيث يجب التأكيد على أن المبادئ الأخلاقية، مثل الشفافية والمساءلة واستخدام مجموعات بيانات تدريب متنوعة وغير متحيزة، هي الأسس التي يجب أن تسبق أي تطبيق للذكاء الاصطناعي، ويوضح الجدول التالي التحديات الأخلاقية الرئيسية للذكاء الاصطناعي في ICT:

الجدول رقم 28 التحديات الأخلاقية الرئيسية للذكاء الاصطناعي في ICT

التحدي الأخلاقي	الوصف والمنشأ	التداعيات على المجتمع
التحيز الخوارزمي (Algorithmic Bias)	تضخيم التحيزات الاجتماعية الموجودة في بيانات التدريب (خاصة في نماذج اللغة الكبيرة).	التمييز، عدم العدالة الاجتماعية، وتقويض النزاهة الأكاديمية.
هلوسة الذكاء الاصطناعي (AI Hallucination)	توليد معلومات غير دقيقة أو غير منطقية لا تستند إلى البيانات المصدرية.	فقدان الثقة، نشر المعلومات الخاطئة (Misinformation)، والإضرار بالسمعة.
قضايا الخصوصية والاستدلال	قدرة الذكاء الاصطناعي على استنتاج معلومات حساسة للغاية من بيانات إنترنت الأشياء (IoT) المجمعة.	انتهاك الخصوصية، مخاطر إعادة تحديد الهوية، والمساءلة القانونية.

ملخص المحاضرة:

تُظهر دراسة خصائص وتحديات تكنولوجيا الإعلام والاتصال أنها تلعب دوراً مزدوجاً: فهي قوة تحولية تمكّن من التواصل والكفاءة، ولكنها في الوقت نفسه تُنشئ تحديات أخلاقية وقانونية غير مسبوقة، وقدعززت

الخصائص التحويلية لـ ICT – التفاعلية، والفورية، واللامركزية – الكفاءة التشغيلية والاجتماعية. فالتفاعلية عززت التعلم الاندماجي والارتباط الاجتماعي، في حين مكنت الفورية من معالجة البيانات في الوقت الفعلي، أما اللامركزية، فقدمت نموذجاً جديداً للشفافية ونقل الملكية، كما يظهر في توزيع حقوق الملكية الفنية.

ومع ذلك، تُعد هذه الخصائص نفسها مصدراً لأعمق التحديات. فالفورية، على سبيل المثال، تساهم في التشتت المعرفي والسلوكيات الإدمانية وتضخم سرعة انتشار الأخبار الكاذبة، أما اللامركزية، فيتعارض مبدأ عدم القابلية للتغيير فيها مع الحقوق الأساسية للخصوصية، وفي مجال البيانات الضخمة فشل الاعتماد المفرط على الموافقة الفردية، مما دفع إلى البحث عن نماذج قانونية بديلة تعتمد على الموازنة بين المصلحة المشروعة وحقوق الأفراد، وأخيراً يمثل الذكاء الاصطناعي تحدياً أخلاقياً كبيراً بسبب التحيز الخوارزمي وظاهرة الهلوسة التي تهدد موثوقية المعلومات، مما يخلق فجوة في الثقة، ومن ثم، فإن تجاوز هذه التحديات يتطلب تحولاً من التركيز التقني البحت إلى الالتزام بأطر تنظيمية وأخلاقية شاملة.

المراجع

1- Rafaeli, S. (1988). *Interactivity: From new media to communication.* Sage Publications.

2- Woods, R. H., Jr., & Baker, J. D. (2004). *Interaction and immediacy in online learning. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 5*(2). https://doi.org/10.19173/irrodl.v5i2.186

3- Journal of Interactive Marketing. (2009). *Interactive services: A framework, synthesis, and research directions. Journal of Interactive Marketing, 23*(1), 91–104. https://doi.org/10.1016/j.intmar.2008.10.003

4- European Commission. (2018). *High Level Expert Group on Fake News and Online Disinformation: Final report.* Publications Office of the European Union. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/final-report-high-level-expert-group-fake-news-and-online-disinformation

5- Kapantai, E., Karypidou, S., Papanikolaou, E., & Alivizatou, D. (2021). *The digital era's impact on misinformation, disinformation, and fake news. Online Media and Journalism Practice, 3*(2), 45–61. https://doi.org/10.52383/omjp.v3i2.78

6- Paskin, D. (2018). *Defining fake news. Journal of Media Ethics, 33*(4), 254–266. https://doi.org/10.1080/23736992.2018.1503733

7- Tene, O., & Polonetsky, J. (2013). *Privacy in the age of big data: A time for big regulation? Stanford Law Review Online, 66,* 15–20. https://www.stanfordlawreview.org/online/privacy-paradox-privacy-and-big-data/

8- UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence.* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455

9- (د.ت.). بكه للتعليم. *دور الذكاء الاصطناعي في التحول الرقمي وأهم أشكاله.* https://bakkah.com/ar/knowledge-center/artificial-intelligence-in-digital-transformation

10- (د.ت.) .مجموعة رينـاد المجد. *التحول الرقمي: مفهومه وأهميته وفوائده للمؤسسات*. https://www.rmg-sa.com/التحول-الرقمي-مفهوم-واهمية-وفوائد/

11- Guru. (د.ت.). *استراتيجية التحول الرقمي: دليل شامل لقادة الأعمال*. https://www.getguru.com/ar/reference/digital-transformation-strategy

12- ResearchGate. (د.ت.). *Assessing interactivity in computer-mediated research.* https://www.researchgate.net/publication/287610294_Assessing_interactivity_in_computer-mediated_research

13- Oxford Academic. (د.ت.). *Networked interactivity. Journal of Computer-Mediated Communication, 2*(4). https://academic.oup.com/jcmc/article/2/4/JCMC243/4584410

14- ResearchGate. (د.ت.). *Interactive services: A framework, synthesis and research directions.* https://www.researchgate.net/publication/228343454_Interactive_Services_A_Framework_Synthesis_and_Research_Directions

15- MEXC. (د.ت.). *ما هي البلوك تشين؟ دليل للمبتدئين حول كيفية عملها وتطبيقاتها في العالم الحقيقي*. https://blog.mexc.com/ar/what-is-blockchain/

16- SAP. (د.ت.). *ما هي تقنية سلسلة الكتل؟* https://www.sap.com/mena-ar/products/technology-platform/what-is-blockchain.html

17- GDPR Info. (د.ت.-a). *Art. 17 GDPR – Right to erasure ('right to be forgotten').* https://gdpr-info.eu/art-17-gdpr/

18- GDPR Info. (د.ت.-b). *Right to be forgotten.* https://gdpr-info.eu/issues/right-to-be-forgotten/

19- IoT Analytics. (2024). *State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally.* https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/

خاتمة:

نأمل أن تكونوا قد كوّنتم رؤية متماسكة لمقياس «تكنولوجيا الإعلام والاتصال» بوصفه مجالًا حيًّا يتجاوز التلقين النظري إلى الممارسة الواعية واتخاذ القرار المستند إلى فهم تقني سليم، فليست الغاية أن نحفظ مفاهيم متفرّقة عن الشبكات والضغط والحوسبة والذكاء الاصطناعي، بل أن تتحوّل هذه المفاهيم إلى عدّة عمل تساعدكم على اختيار المسارات الأنسب لإنتاج المحتوى ونقله وتأمينه وتقييم أثره، ففي حين يصبح الطالب قادرًا على ربط الخيار التحريري بالاعتبار التقني المناسب—وتبريره بلغة واضحة—نكون قد قطعنا أهم مسافة في هذا المقياس.

وعلى امتداد محاضرات هذا السداسي الثالث حاولنا أن نحافظ على الربط بين العناصر: من التمهيد المفاهيمي، إلى الركائز التقنية في معالجة الوسائط وبناء الشبكات، مرورًا بمنظومة الحوسبة وتوزيع المعالجة، وصولًا إلى التطبيقات العملية والأخلاقيات المهنية، وهذا الخيط ليس ترتيبًا دراسيًا فحسب، بل هو طريقة تفكير: ابدأ بالسؤال «لماذا؟» الذي يحدد القيمة الإعلامية، ثم «ماذا؟» الذي يحدد البيانات والوسائط المطلوبة، وأخيرًا «كيف؟» الذي يحدد البنية والإعدادات والأدوات، وحين تتكرّر هذه الدورة في مشاريعكم اليومية ستلاحظون أن القرارات تصبح أدقّ، وأن النتائج أقرب إلى أهدافكم.

لقد شدّدنا كذلك على أن الذكاء الاصطناعي ليس عصًا سحرية ولا خطرًا مطلقًا، بل أداة قوية تتطلّب بصيرة أخلاقية ومهارة تشغيلية. في لحظة يغري فيها التسارع التقني بالحلول السهلة، تذكّروا أن المصداقية والتحقق واحترام الحقوق ليست كماليات، بل هي البنية التحتية المعنوية لأي مؤسسة إعلامية.

طريقة التعلّم المقترحة في هذه المطبوعة هي الجسر الذي ينقل المعرفة من الورق إلى الفعل، حيث ننصحكم بأن تتبنّوا نمط «التجريب السريع»: ضَعوا فرضية تقنية صغيرة، جرّبوها، قيسوا أثرها، ثم قرّروا. لا تنتظروا «المشروع الكبير» لتطبيق ما تعلّمتموه؛ اجعلوا كل مادة، وكل بثّ، وكل منشور فرصةً لصقل مهارة أو اختبار إعداد أو تحسين سير عمل.

ومثلما دعوناكم إلى محاورة الفرق التقنية بلغة مشتركة، ندعوكم أيضًا إلى متابعة الجمهور، فالتكنولوجيا قد تعقّد الأدوات، لكنها لا تبرّر تعقيد الرسالة، وعليه يجي الحرص على أن يظل المحتوى مفهومًا ومفيدًا، وأن تكون الخيارات التقنية خادمةً لهذه الغاية لا متحكمةً فيها، وعليه فإن أفضل مسار ضغط وأسرع شبكة وأذكى نموذج لن تعوّض مادة ضعيفة أو سردًا مرتبكًا، بينما يمكن لمحتوى قويّ أن يسطع حتى بإمكانات محدودة إذا أُحسن التخطيط والتنفيذ.

في طريقكم المهني مستقبلا، ستواجهون اختلاف السياقات وتبدّل المنصّات وتسارع المعايير. ما سيبقى ثابتًا هو قدرتكم على التعلّم الذاتي المستمر، وملكة طرح الأسئلة الصحيحة، والاستعداد لتحديث عاداتكم وأدواتكم بلا تردد، لذلك اعتبروا هذه المطبوعة نقطة انطلاق لا محطة وصول، عودوا إليها كمرجع سريع، وعدّلوا خرائط القرار فيها بحسب خبرتكم، وأضيفوا أمثلة حيّة من تجاربكم.

نحن نؤمن بأن القيمة الحقيقية لهذا المقياس ستظهر حين تُترجَم المعرفة إلى ممارسات ثابتة على مستوى الفرد والفريق: توثيق سياسات الأمان، تعميم ضوابط التحرير على مختلف المنصّات، توحيد قوالب الإخراج، بناء لوحات متابعة شفّافة، وتبنّي آليات مراجعة داخلية منتظمة، وهذه الخطوات الصغيرة، إذا استمرّت، تصنع فارقًا ملموسًا في مهنكم.

أخيرًا، شكرًا لانخراطكم الجادّ وفضولكم المهني، الذي أنصحكم بالحفاظ عليه: اسألوا كيف تعمل الأشياء، ولماذا تعمل بهذه الطريقة، وما البديل الممكن، وتذكّروا أن التكنولوجيا تُكسبنا سرعةً واتساعًا، لكن ما يمنح المحتوى معناه هو إنسانيتكم: حكمكم المهني، حسّكم الأخلاقي، وقدرتكم على الإصغاء، إذ أنه بهذه المعادلة المتوازنة—تقنية واعية ورسالة نبيلة—يمكن لكل ما تعلّمتموه هنا أن يتحوّل إلى أثرٍ حقيقيّ في بيئات العمل التي ستلتحقون بها، وفي خدمة جمهورٍ يستحق إعلامًا ذكيًّا ودقيقًا ومسؤولًا.

قائمة المراجع:

-1 AccScience Publishing. (n.d.). From concept to creation: The role of generative artificial intelligence in the new age of digital marketing. AccScience Publishing. (https://accscience.com/journal/DP/1/1/10.36922/dp.4776)

-2 Britannica. (n.d.). Technology | Definition, Examples, Types, & Facts. (https://www.britannica.com/technology/technology)

-3 Coursera. (n.d.). What Is Generative AI? How It Works, Examples, Benefits, and Limitations. [Coursera, n.d.] (https://www.coursera.org/articles/what-is-generative-ai)

-4 EBSCO. (n.d.). Media convergence | Research Starters. (https://www.ebsco.com/research-starters/social-sciences-and-humanities/media-convergence)

-5 Fabritz, N. (2015). ICT as an Enabler of Innovation: Evidence from German Microdata. ifo Working Paper Series, 195. [Fabritz, 2015] (https://www.ifo.de/DocDL/IfoWorkingPaper-195.pdf)

-6 Flynn, E. (2018). Discovering Audience Motivations Behind Movie Theater Attendance. Elon Journal of Undergraduate Research in Communications, 9(2). [Flynn, 2018] (https://eloncdn.blob.core.windows.net/eu3/sites/153/2018/12/09-Flynn.pdf)

-7 Galbraith, J. K. (1967). The New Industrial State. Houghton Mifflin Company. [Galbraith, 1967] (https://en.wikipedia.org/wiki/The_New_Industrial_State)

-8 Hess, T., Matt, C., & Wiesböck, F. (2016). Digital Transformation Strategies. Project Report. [Hess et al., 2016] (https://www.researchgate.net/publication/281965523_Digital_Transformation_Strategies

-9 IBM. (n.d.). The ultimate guide to digital transformation. (https://www.ibm.com/think/topics/digital-transformation)

-10 Imaginary Cloud. (n.d.). What is digital transformation? [Imaginary Cloud, n.d.] (https://www.imaginarycloud.com/blog/what-is-digital-transformation)

-11 Kretschmer, T. (2018). The Evolving Role of IT Departments in Digital Transformation. Sustainability, 10(10), 3706. [Kretschmer, 2018] (https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3706)

-12 Leavitt, H. J., & Whisler, T. L. (1958). Management in the 1980s. Harvard Business Review, 36(6), 41–48. (https://rua.ua.es/bitstream/10045/1655/4/The_performance_of_information_systems.pdf

-13 Microsoft AI. (n.d.). Responsible AI Principles and Approach. [Microsoft AI, n.d.] (https://www.microsoft.com/en-us/ai/principles-and-approach)

-14 MIT Sloan. (n.d.). When AI Gets It Wrong: Addressing AI Hallucinations and Bias. (https://mitsloanedtech.mit.edu/ai/basics/addressing-ai-hallucinations-and-bias/)

-15 NIST. (n.d.). telecommunications - Glossary | CSRC. (https://csrc.nist.gov/glossary/term/telecommunications)

-16 OAPEN Library. (n.d.). Digital Transformation: Understanding Business Goals, Risks, Processes, and Decisions. [OAPEN Library, n.d.] (https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/75336/9781805110620.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

-17 Prosci. (n.d.). Digital Transformation Change Management. [Prosci, n.d.] (https://www.prosci.com/digital-transformation-change-management)

-18 Salloum, M. A., D'Souza, H. B., & Hassan, S. Z. (2020). Information and Technology's role and digital transformation challenges: a systematic literature review. ResearchGate. (https://www.researchgate.net/publication/338885693_Information_and_Technology'_s_role_and_digital_transformation_challenges_a_systematic_literature_review_Recommended_Citation_Information_and_Technology's_role_and_digital_transformation_challenges_a_s)

-19 Stanmore UK Blog. (n.d.). The Role of ICT in Driving Business Innovation. (https://blog.stanmoreuk.org/the-role-of-ict-in-driving-business-innovation/)

-20 Stanford GSB. (n.d.). Digital Transformation: Leading Organizational Change in the Age of AI. (https://www.gsb.stanford.edu/exec-ed/programs/digital-transformation)

-21 SuperAnnotate. (n.d.). Introduction to Diffusion Models for Machine Learning. (https://www.superannotate.com/blog/diffusion-models)

-22 TAMU System. (n.d.). Convergence – Media Communication, Convergence and Literacy, Second Edition. (https://odp.library.tamu.edu/mediacommunication2e/chapter/convergence/)

-23 The Enterprisers Project. (n.d.). What is digital transformation? (https://enterprisersproject.com/what-is-digital-transformation)

-24 Thierer, A. (2024, October 12). Defining "Technology". Medium. (https://medium.com/@AdamThierer/defining-technology-0c5c95c8360d)

-25 Thurman Hux. (1979, March-April). Technological /Managerial Obsolescence. American Technical Education Journal, 6(5), 9-10. (https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED214555.pdf)

-26 UCTL. (n.d.). What is Generative AI? University Center for Teaching and Learning. (https://teaching.pitt.edu/resources/what-is-generative-ai/)

-27 UNESCO. (n.d.). Ethics of Artificial Intelligence. (https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/recommendation-ethics)

-28 University of Kansas CTE. (n.d.). Addressing bias in AI | Center for Teaching Excellence. (https://cte.ku.edu/addressing-bias-ai)

-29 Wikipedia. (n.d.). Digital media. (https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_media)

-30 Wikipedia. (n.d.). Multimedia. (https://en.wikipedia.org/wiki/Multimedia)

-31 Wikipedia. (n.d.). Telecommunications. (https://en.wikipedia.org/wiki/Telecommunications)

-32 Yusuf, A., & Faqih, M. (2024). Navigating Digital Transformation and Technology Adoption: A Literature Review from Small and Medium-Sized Enterprises in Developing Countries. MDPI, 16(14), 5946. (https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/5946)

-33 https://www.adobe.com/uk/creativecloud/photography/discover/lossy-vs-lossless.html

-34 Adelphi University. (n.d.). Data representation مُسترجع من https://home.adelphi.edu/~siegfried/cs170/170l1.pdf

-35 Cloud Zero. (n.d.). The 4 Types Of Cloud Computing: Choosing The Best Model مُسترجع من https://www.cloudzero.com/blog/types-of-cloud-computing/

-36 DataCamp. (n.d.). Cloud Service Models Explained: IaaS, PaaS, and SaaS مُسترجع من https://www.datacamp.com/blog/cloud-service-models

-37 Drmota, M., & Szpankowski, W. (2017). Redundancy of Lossless Data Compression for Known Sources by Analytic Methods. Foundations and Trends in Communications and Information Theory, XX(XX), 1–140.

-38 Gcore. (n.d.). What is data transmission Guide: Everything you need to know about it مُسترجع من https://gcore.com/learning/data-transmission-guide-everything-you-need-to-know

-39 GeeksforGeeks. (n.d.a). Error Correction in Computer Networks مُسترجع من https://www.geeksforgoeks.org/computer-networks/error-correction-in-computer-networks/

-40 GeeksforGeeks. (n.d.b). Introduction to Data Compression مُسترجع من https://www.geeksforgoeks.org/computer-networks/introduction-to-data-compression/

-41 Google Cloud. (n.d.). PaaS vs IaaS vs SaaS: What's the difference? مُسترجع من https://cloud.google.com/learn/paas-vs-iaas-vs-saas

-42 IBM. (n.d.). IaaS, PaaS, SaaS: What's the difference? مُسترجع من https://www.ibm.com/think/topics/iaas-paas-saas

-43 Khan Academy. (n.d.a). Lossy compression مُسترجع من https://www.khanacademy.org/computing/computers-and-internet/xcae6f4a7ff015e7d:digital-information/xcae6f4a7ff015e7d:data-compression/a/lossy-compression

-44 Khan Academy. (n.d.b). Storing text in binary مُسترجع من https://www.khanacademy.org/computing/computers-and-internet/xcae6f4a7ff015e7d:digital-information/xcae6f4a7ff015e7d:storing-text-in-binary/a/storing-text-in-binary

-45 LeanIX. (n.d.). IaaS vs. PaaS vs. SaaS - Differences, Examples and Diagram مُسترجع من https://www.leanix.net/en/wiki/apm/iaas-vs-paas-vs-saas

-46 Lenovo. (n.d.a). What is binary? مُسترجع من https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-binary/

-47 Lenovo. (n.d.b). What is encode? مُسترجع من https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-encode/

-48 MDPI. (2023). Energies, 16(15), 5764. مُسترجع من https://www.mdpi.com/1996-1073/16/15/5764

-49 Minkowycz, W. J., & Sparrow, E. M. (2018). High-Performance Computing for Fluid Flow and Heat Transfer. In Advances in Numerical Heat Transfer. Taylor and Francis.

-50 National Institute of Standards and Technology (NIST). (2020). Data integrity: Detecting and responding to ransomware and other destructive events (NIST Special Publication 1800-26 Vol. A). مُسترجع من https://www.nccoe.nist.gov/publication/1800-26/VolA/index.html

-51 Pepper, D. W., & Lombardo, J. M. (2000). High-Performance Computing for Fluid Flow and Heat Transfer. In Advances in Numerical Heat Transfer, Volume 2. CRC Press.

-52 Pure Storage. (n.d.). What Is Data Compression? مُسترجع من https://www.purestorage.com/uk/knowledge/what-is-data-compression.html

-53 Red Hat. (n.d.). What's the difference between cloud and virtualization? مُسترجع من https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/cloud-vs-virtualization

-54 ResearchGate. (n.d.). Error-control schemes for networks: an overview مُسترجع من https://scispace.com/pdf/error-control-schemes-for-networks-an-overview-5dnt6nqqj9.pdf

-55 ResearchGate. (2023). Computational Fluid Flow and Heat Transfer Advances Design Control and Applications. مُسترجع من https://www.researchgate.net/publication/375768688_Computational_Fluid_Flow_and_Heat_Transfer_Advances_Design_Control_and_Applications

-56 Setec Investigations. (n.d.). Comparing graphical formats. مُسترجع من http://www.setecinvestigations.com/resources/techhints/Comparing_Graphical_Formats.pdf

-57 Stanford University. (n.d.). Bits and Bytes. مُسترجع من http://web.stanford.edu/class/cs101/bits-bytes.html

-58 Synopsys. (n.d.). Cloud Computing Infrastructure: Structure, Components, and Functionality. مُسترجع من https://www.synopsys.com/blogs/chip-design/cloud-computing-infrastructure.html

-59 Virmani, S. (2024). Investigating the Environmental Sustainability of Data Centers. American Journal of Student Research, 3(1). مُسترجع من https://ajosr.org/wp-content/uploads/journal/published_paper/volume-3/issue-1/ajsr2024_Zrj3RTFV.pdf

-60 Washington University in St. Louis. (n.d.). Confidentiality, Integrity, and Availability: The CIA Triad. مُسترجع من https://informationsecurity.wustl.edu/guidance/confidentiality-integrity-and-availability-the-cia-triad/

-61 Wikipedia. (n.d.a). Data compression. مُسترجع من https://en.wikipedia.org/wiki/Data_compression

-62 Wikipedia. (n.d.b). Lossless compression. مُسترجع من https://en.wikipedia.org/wiki/Lossless_compression

-63 Wikipedia. (n.d.c). Computer data storage. مُسترجع من https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_data_storage

-64 Wikipedia. (n.d.d). Units of information. مُسترجع من https://en.wikipedia.org/wiki/Units_of_information

-65 Wikipedia. (n.d.e). Error detection and correction. مُسترجع من https://en.wikipedia.org/wiki/Error_detection_and_correction

-66 Fagbohun, O. E. (n.d.). Comparative studies on 3-G, 4-G and 5-G wireless communication systems. Semantic Scholar. https://www.semanticscholar.org/paper/Comparative-studies-on-3-G-%2C-4-G-and-5-G-wireless-Fagbohun/92cf1e3eb16a2f18db2766897164e084c995e36e

-67 IEEE 802.11be Task Group. (2024). Telecommunications and Information Exchange Between Systems—LAN/MAN—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Amendment: Extremely High Throughput (EHT). IEEE. https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/

-68 Murad, S. S., Badeel, R., & Abdal, B. (n.d.). Research and Development Trends in Wi-Fi 7: Comparative Analysis with 5G/6G and Other Emerging Wireless Standards. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/395664725_Research_and_Development_Trends_in_Wi-Fi_7_Comparative_Analysis_with_5G6G_and_Other_Emerging_Wireless_Standards

-69 PCMag. (n.d.). Wi-Fi 7 Explained: Finally, Speed That's Worth a Router Upgrade. PCMag. https://www.pcmag.com/explainers/wi-fi-7-explained-finally-speed-thats-worth-a-router-upgrade

-70 Pardeshi, T., & Vinchurkar, A. (2024). 5G TECHNOLOGY AND ITS FUTURE PROSPECTS: A REVIEW. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/385167309_5G_TECHNOLOGY_AND_ITS_FUTURE_PROSPECTS_A_REVIEW

-71 Rahmani, H., Khaleghi, M., & Vafaee, M. (2024). Layered Architecture of IoT. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/380781966_Layered_Architecture_of_IoT

-72 Rai, S., Das, A., & Gupta, A. (2022). Comparison of 5G and 6G Wireless Systems and Proposing of 7G: A New Era. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 11(6). https://www.ijert.org/research/comparison-of-5g-and-6g-wireless-systems-and-proposing-of-7g-a-new-era-IJERTV11IS060137.pdf

-73 Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2024, May 20). Pervasive Network Intelligence for 6G Networks. 3rd IEEE INFOCOM Workshop, PerAI-6G. https://infocom2024.ieee-infocom.org/workshop-pervasive-network-intelligence-6g-networks-perai-6g-program

-74 Säily, J., Ylimaula, M., Ahola, J., & Juntti, M. (2025). Global 6G vision: From IMT-2030 framework to Intelligent Network of Everything. OuluRepo. https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/53587/nbnfioulu-202501081074.pdf?sequence=1&isAllowed=y

-75 Shi, X., Ning, S., He, W., & Liu, S. (2024). 6G: Integrated AI, Sensing, and Communication for the Next Era of Wireless. arXiv. https://arxiv.org/html/2412.14538v1

-76 Siddiqui, S. A., & Ahmad, S. (2024). The Evolution of Wi-Fi Technology and Standards. IEEE. https://standards.ieee.org/beyond-standards/the-evolution-of-wi-fi-technology-and-standards/

-77 Sohrabi, F., & Aliberti, V. (2024). 6G: The Evolution of Massive Communication. arXiv. https://arxiv.org/html/2401.01127v2

-78 Wi-Fi Alliance. (n.d.). eMBB, mMTC, and uRLLC: The three 5G service categories explained simply. https://www.verizon.com/about/news/5g-understanding-embb-urllc-mmtc

-79 الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU). (2024). إحصائيات الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات العالمية. تم الاسترداد من https://www.itu.int/en/ITU-

(D/Statistics/pages/stat/default.aspx

80- الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU). (2024). مؤشرات أداء مختارة لتطور تكنولوجيا المعلومات والاتصالات. تم الاسترداد من https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2024-3-pdf-e.pdf

81- الجزيرة نت. (2024، يناير). كابلات الألياف الضوئية البحرية.. القوة الخفية وراء الإنترنت. تم الاسترداد من(https://www.aljazeera.net/tech/2024/1/3/%D9%83%D8%A7%D8%A8%D9%84%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%84%D9%8A%D8%A7%D9%81-%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A6%D9%8A%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%B1%D9%8A%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%82%D9%88%D8%A9)

82- الجمال، أ. (2021). المبادئ الأساسية للألياف البصرية مع الاعتمادية. المجلة الأكاديمية للدراسات الهندسية. تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Al-Jamal/publication/357062515_almbady_alasasyt_llalyaf_albsryt_m_alatmadyt/links/61ba30a5fd2cbd7200a183b6/almbady-alasasyt-llalyaf-albsryt-m-alatmadyt.pdf

83- خواني، ل. (n.d.). شبكة الاتصالات السلكية واللاسلكية وتحديات المستقبل. تم الاسترداد من(https://revues.imist.ma/index.php/REMSES/article/download/13019/10324/48681)

84- سبيد تست (Speedtest). (n.d.). المؤشر العالمي لسرعة الإنترنت. تم الاسترداد من https://www.speedtest.net/global-index

85- مركز سمت للدراسات. (n.d.). الأمن الاستراتيجي لقاع البحار. تم الاسترداد من(https://smtcenter.net/archives/slider/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%85%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D8%AC%D9%8A-%D9%84%D9%82%D8%A7%D8%B9-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%A7%D8%B1)

86- ويكيبيديا. (n.d.). كبل اتصالات بحري. تم الاسترداد من(https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D9%84_%D8%A7%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AA_%D8%A8%D8%A%D8%B1%D9%8A)

87- Xiamen Kabasi Electric Co. (n.d.). مبادئ اتصالات الألياف الضوئية. تم الاسترداد من https://ar.kbs-connector.com/info/principles-of-optical-fiber-communication-65329995.html

88- FiberMall. (n.d.). كيف تعمل كابلات الألياف الضوئية على نقل البيانات بكفاءة؟. تم الاسترداد من https://www.fibermall.com/ar/blog/how-optical-cable-works.htm

89- Global YO. (n.d.). تطور الشبكات السلكية : المزايا في العصر الرقمي. تم الاسترداد من https://www.globalyo.com/ar/blog/the-evolution-and-advantages-of-wired-networks-in-the-digital-age/

90- My-Communication. (n.d.). اتصالات لاسلكية | أنواعها وأهم مصادر تعلمها. تم الاسترداد من https://my-communication.com/wireless-5/

91- OWCable. (n.d.). الكابلات البحرية: الشريان الصامت الذي يحمل الحضارة الرقمية العالمية. تم الاسترداد من https://ar.owcable.com/technology/submarine-cables-the-silent-artery-carrying-global-digital-civilization/

92- Wikipedia. (n.d.). SEA-ME-WE 4. تم الاسترداد من(https://en.wikipedia.org/wiki/SEA-ME-WE_4)

1- AWS. (2024). Understanding the AWS Shared Responsibility Model. Retrieved from https://aws.amazon.com/compliance/shared-responsibility-model/

2- Azure. (2024). Cloud computing defined [تعريف الحوسبة السحابية]. Retrieved from https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing

3- Azure. (2024). What is Edge Computing? [ما هي الحوسبة الطرفية؟]. Retrieved from https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-edge-computing

4- Coursera. (2024). Edge AI vs. Cloud AI: Which Is Right for Your Business? [الذكاء الاصطناعي الطرفي مقابل الذكاء الاصطناعي السحابي: أيهما الأنسب لعملك؟]. Retrieved from https://www.coursera.org/articles/edge-ai-vs-cloud-ai

5- Deeprender AI. (2024). NPU Landscape [مشهد وحدات المعالجة العصبية]. Retrieved from https://deeprender.ai/blog/npu-landscape

6- Google Cloud. (2024). IaaS vs PaaS vs SaaS: Key differences between cloud computing service models. Retrieved from https://cloud.google.com/learn/paas-vs-iaas-vs-saas

7- Google Cloud. (2024). What is Cloud Architecture? [ما هي بنية السحابة؟]. Retrieved from https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-architecture

8- Kanerika Editorial Team. (2025, February 4). Cloud computing role in edge AI. Kanerika. Retrieved from https://kanerika.com/blogs/cloud-

/computing-role-in-edge-ai

-9 Lee, B. C. (2024). What is an NPU in computing [ما هي وحدة المعالجة العصبية في الحوسبة]. Penn Today. Retrieved from https://penntoday.upenn.edu/what-is-an-NPU-in-computing

-10 arXiv. (2024). llm.npu: Offloading LLM Inference to NPU for Fast and Energy-Efficient On-Device Execution [llm.npu: تفريغ استدلال نماذج اللغة الكبيرة إلى NPU من أجل التنفيذ السريع والموفر للطاقة على الجهاز]. Retrieved from https://arxiv.org/html/2407.05858v2

-11 Macrometa. (2024). Edge Computing vs Cloud Computing [الحوسبة الطرفية مقابل الحوسبة السحابية]. Retrieved from https://www.macrometa.com/topics/edge-computing-vs-cloud-computing

-12 MDPI. (2024). Increased system resilience and availability: The integration of artificial intelligence models on embedded platforms makes IIoT systems more resilient and autonomous. Electronics, 13(12), 2322.

-13 MediaTek. (2024). Generative AI Phone Industry Whitepaper [الورقة البيضاء لصناعة الهواتف والذكاء الاصطناعي التوليدي]. Retrieved from https://www.mediatek.com/hubfs/Generative-AI-Phone-Industry-Whitepaper.pdf?hsLang=en

-14 Microchip USA. (2024). Neural Processing Units: Revolutionizing AI Hardware [وحدات المعالجة العصبية: إحداث ثورة في أجهزة الذكاء الاصطناعي]. Retrieved from https://www.microchipusa.com/electrical-components/neural-processing-units-revolutionizing-ai-hardware

-15 Pereira, C. V. F., de Oliveira, E. M., & de Souza, A. D. (2024). Machine Learning Applied to Edge Computing and Wearable Devices for Healthcare: Systematic Mapping of the Literature. Sensors, 24(19), 6322. https://doi.org/10.3390/s24196322

-16 PhD Leeds. (2024). Edge-to-Cloud Smart Mobility: AI Co-optimization for future Autonomous Vehicles [التنقل الذكي من الطرف إلى السحابة: التحسين المشترك للذكاء الاصطناعي للمركبات الذاتية المستقبلية]. Retrieved from https://phd.leeds.ac.uk/project/1856-edge-to-cloud-smart-mobility:-ai-co-optimization-for-future-autonomous-vehicles

-17 Red Hat. (2024). What is infrastructure as code (IaC)? [ما هي البنية التحتية كرمز؟]. Retrieved from https://www.redhat.com/en/topics/automation/what-is-infrastructure-as-code-iac

-18 Shah, T., Saini, G., & Kumar, S. (2024). Edge Computing vs Cloud Computing: Complementary or Competitive. International Journal of Advanced Business Studies, 1(2).

-19 Tenable/Cloud Security Alliance. (2023). Understanding the Shared Responsibility Model for Cloud Security: How to Avoid Coverage Gaps and Confusion [فهم نموذج المسؤولية المشتركة لأمن السحابة: كيفية تجنب الثغرات والارتباك]. Retrieved from https://cloudsecurityalliance.org/blog/2023/09/14/understanding-the-shared-responsibility-model-for-cloud-security-how-to-avoid-coverage-gaps-and-confusion

-20 The AI Accelerator Institute. (n.d.). EdTech Meets Edge AI: Scalable, Privacy-First Ecosystems. Retrieved from https://www.aiacceleratorinstitute.com/edtech-meets-edge-ai-scalable-privacy-first-ecosystems/

-21 Yao, J., Zhang, S., Yao, Y., Wang, F., Ma, J., Zhang, J., Chu, Y., Ji, L., Jia, K., Shen, T., Wu, A., Zhang, F., Tan, Z., Kuang, K., Wu, C., Wu, F., Zhou, J., & Yang, H. (2023). Edge-cloud polarization and collaboration: A comprehensive survey for ai. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 35(7), 6866–6886.

-22 Al-Subaie, A. (2024). الاتصالات عبر الأقمار الصناعية: ما وراء الأفق: العالم الموسع للاتصالات عبر الأقمار الصناعية. FasterCapital. https://fastercapital.com/arabpreneur/الاتصالات-عبر-الأقمار-الصناعية--ما-وراء-الأفق--العالم-الموسع-للاتصالات-عبر-الأقمار-الصناعية.html

-23 Al-Turaifi, Y. (2024). مقارنة بين المدارات LEO MEO GEO. IP Access International. https://www.ipinternational.net/how-do-leo-geo-and-meo-satellites-differ/

-24 Avanti Communications. (2022). GEO vs LEO – Quick facts. https://www.avanti.space/wp-content/uploads/2022/02/GEO-vs-LEO-Quick-Facts-2022.pdf

-25 Cakaj, S. (2021). The parameters comparison of the "Starlink" LEO satellites constellation for different orbital shells. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/351372656_The_Parameters_Comparison_of_the_Starlink_LEO_Satellites_Constellation_for_Different_Orbital_Shells

-26 Databricks Market Research. (2024). الطلب المتزايد على خدمات النطاق العريض في المناطق النائية يدفع سوق حمولات أقمار LEO. Data Bridge Market Research. https://www.databridgemarketresearch.com/ar/reports/global-low-earth-orbit-leo-satellite-payload-market

-27 Ecome Radio. (n.d.). بدأت اتصالات الأقمار الصناعية منخفضة المدار في الاختبارات العامة: جودة المستهلك في الطريق. Ecome Radio. Retrieved October 11, 2025, from https://www.ecomeradio.com/news/low-orbit-satellite-communications-have-begun-17381679676875776.html

-28 Esri. (n.d.). نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الكوارث: عمليات إدارة الطوارئ. Esri. Retrieved October 11, 2025, from https://www.esri.com/ar-sa/industries/emergency-management/overview

-29 Expereo Team. (n.d.). What is Low Earth Orbit (LEO) satellite technology? Expereo Blog. Retrieved October 11, 2025, from https://www.expereo.com/resources/blogs/what-is-low-earth-orbit-leo-satellite-technology

-30 Gogo Inc. (2024, November 11). What is Low Earth Orbit (LEO) satellite internet? Gogo Resources. https://www.gogoair.com/resources/blogs/what-is-low-earth-orbit-(leo)-satellite-internet

-31 Hytera. (n.d.). دعونا نتعلم عن الاتصالات الفضائية للهواة. Hytera. Retrieved October 11, 2025, from https://www.ecomeradio.com/info/let-s-learn-about-amateur-satellite-communicat-17137091060327424.html

-32 Kingrf. (n.d.). هل تعرف ما هي الأنظمة المضمنة في GNSS. Kingrf. Retrieved October 11, 2025, from https://www.kingrf.com/ar/news/do-you-know-which-systems-are-included-in-gnss/

-33 PSION VC. (n.d.). التحديات والفرص التي تواجه اتصال القمر الصناعي ذي النطاق العريض broadband. PSION VC. Retrieved October 11, 2025, from https://ar.psion.vc/insights/the-challenges-opportunities-of-satellite-broadband

-34 SEOS Project. (n.d.). تحديد المواقع عالميا بواسطة التثليث المساحي. Satellite Navigation with GPS. Retrieved October 11, 2025, from https://seos-project.eu/GPS/GPS-c01-p02.ar.html

-35 Shaengchart, Y., & Kraiwanit, T. (2024). The SpaceX Starlink satellite project: Business strategies and perspectives. Corporate & Business Strategy Review, 5(1), 30–37. https://www.researchgate.net/publication/377231331_The_SpaceX_Starlink_Satellite_Project_Business_Strategies_and_Perspectives

-36 SpaceX. (2025). Starlink | التحديثات. https://www.starlink.com/om/updates

-37 Telarus. (n.d.). LEO, MEO, and GEO, oh my! Modern satellite connectivity, explained. Telarus Blog. Retrieved October 11, 2025, from https://www.telarus.com/blog/modern-satellite-connectivity-explained/

-38 UNOOSA. (2013). تطبيقات النظم العالمية لسواتل الملاحة (GNSS). https://www.unoosa.org/pdf/icg/2013/Ed_GNSS_A_ebook.pdf

-39 YouTube. (n.d.). كيف تعمل منظومة جهاز تحديد المواقع. YouTube. Retrieved October 11, 2025, from https://www.youtube.com/watch?v=TPGLWM8FTh8

-40 الجزيرة. (2020). "ستارلينك".. شبكة من الأقمار الصناعية تغمر العالم بالإنترنت. الجزيرة الوثائقية. https://doc.aljazeera.net/science/technology/2022/5/9/ستارلينك-شبكة-من-الأقمار-الصناعية-تغ

-41 اليوم السابع. (2021, يونيو 25). سبيس إكس تكشف عن موعد تحقيق تغطية عالمية الإنترنت عبر Starlink. اليوم السابع. https://www.youm7.com/story/2021/6/25/سبيس-إكس-تكشف-عن-موعد-تحقيق-تغطية-عالمية-الانترنت-عبر/5366631

-42 مجلة عالم التكنولوجيا. (n.d.). دور الأقمار الصناعية في إغاثة ضحايا الكوارث الطبيعية. مجلة عالم التكنولوجيا. Retrieved October 11, 2025, from https://www.tech-mag.net/دور-الأقمار-الصناعية-في-إغاثة-ضحايا-ال

-43 أمين، ر. ع. (2014). الإعلام الجديد. دار الفجر للنشر والتوزيع.

-44 الأسدي، ع. (د.ت.). ملخص: أثر التكنولوجيا الرقمية على صناعة الأفلام. تم استرجاعه من https://asjp.cerist.dz/en/downArticle/158/10/2/239815

-45 باينت. (د.ت.). نبذة مختصرة عن الواقع الممتد XR. تم استرجاعه من https://www.baianat.com/ar/articles/getting-started-with-extended-reality

-46 بوابة الذكاء الاصطناعي. (د.ت.). ما هو الذكاء الاصطناعي الرمزي؟ تم استرجاعه من https://bawabaai.com/ما-هو-الذكاء-الاصطناعي-الرمزيُ-اكتشف-أ/

-47 بيرتشام الدولية. (د.ت.). الاتصال السمعي البصري. جامعة بيرتشام الدولية. تم استرجاعه من https://www.bircham.me/audiovisual-communication.html

-48 تلفاز ذكي. (د.ت.). تلفاز ذكي. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/تلفاز_ذكي

-49 جامعة بغداد. (د.ت.). الفرق بين الواقع الممتد XR، الواقع الافتراضي VR، والواقع المعزز AR، والواقع المدمج MR. مركز الحاسبة الإلكترونية. تم استرجاعه من https://cc.uobaghdad.edu.iq/?p=15725

-50 جامعة سوهاج. (د.ت.). مقترح خطة بحث مقدم لنيل درجة الدكتوراه في الآداب – قسم الإعلام – شعبة الإعلام. تم استرجاعه من https://art.sohag-univ.edu.eg/main/wp-content/uploads/2023/03/qwqw.pdf

-51 حسوب أكاديمية. (د.ت.). البث المتعدد Multicast الفعال على شبكة بحجم شبكة الإنترنت. تم استرجاعه من https://academy.hsoub.com/devops/networking/البث-الفعال-على-شبكة-بحجم-شبكة-الإنترنت-r505/

-52 رضا، ح. ع. ن. (د.ت.). دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال التلفزيون لدعم التعليم. جامعة بغداد. تم استرجاعه من https://events.uobaghdad.edu.iq/event/8761/attachments/6376/11821/دور-تقنيات-الذكاء-الاصطناعي-في-مجال-التلفزيون-لدعم-التعليم--drhussien-ali-noor.docx

-53 سابر، ل. ف. (2025). المنصات الرقمية وأثرها على الدراما التلفزيونية. مجلة التراث والتصميم. تم استرجاعه من https://jsos.journals.ekb.eg/article_269814_63029567bbb3aced6978af5cccfebf1e.pdf

-54 مركز الجزيرة للدراسات. (2016). تنظيم الإعلام السمعي البصري العربي: ضوابطه القانونية والسياسية. تم استرجاعه من

https://studies.aljazeera.net/ar/mediastudies/2016/10/161027083826459.html

55- المجلس الأعلى للحسابات. (2015). التقرير السنوي للمجلس الأعلى للحسابات برسم سنة 2015.

56- الموسوعة الحرة. (د.ت.أ). التلفاز الذكي. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/تلفاز_ذكي

57- الموسوعة الحرة. (د.ت.ب). تلفاز ذكي (في مرجع معرفة). تم استرجاعه من https://www.marefa.org/تلفاز_ذكي

58- الموسوعة الحرة. (د.ت.ج). البث المتعدد عبر بروتوكول الإنترنت. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/البث_المتعدد_عبر_بروتوكول_الإنترنت

59- الموسوعة الحرة. (د.ت.د). البث المجموعاتي المستقل عن بروتوكول التوجيه. تم استرجاعه من https://ar.wikipedia.org/wiki/البث_المجموعاتي_المستقل_عن_بروتوكول_التوجيه

60- ناجي، أ. (2020). دور المصور في صناعة الأفلام والألعاب الرقمية والهواتف الذكية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة حلوان، مصر. تم استرجاعه من https://www.researchgate.net/publication/344890307

61- وزارة الاتصال (المغرب). (2005). قانون رقم 03-77 يتعلق بالاتصال السمعي البصري (ظهير شريف رقم 1.04.257). تم استرجاعه من https://mjcc.gov.ma/wp-content/uploads/2022/01/Loi0377ComAudioVis_AR.pdf

62- Arm Newsroom. (2024). XR, AR, VR, MR: What's the difference in reality? Retrieved from https://newsroom.arm.com/blog/xr-ar-vr-mr-difference

63- Cisco. (n.d.). QoS architecture models: IntServ vs. DiffServ. Retrieved from https://learningnetwork.cisco.com/s/question/0D53i00000KsqtXCAR/qos-architecture-models-intserv-vs-diffserv

64- ETSI. (n.d.). eXtended reality (XR). Retrieved from https://www.etsi.org/images/files/ETSITechnologyLeaflets/eXtended-Reality.pdf

65- LED Manufacturer. (n.d.). ما هو الإنتاج الافتراضي لجدار الفيديو LED؟ تم استرجاعه من https://www.led-display-manufacturer.com/ar_qa/إنتاج-افتراضي-لجدار-الفيديو-led-في-صناعة/

66- LG. (n.d.). LG AI. Retrieved from https://www.lg.com/ae_ar/tvs-soundbars/ai-tv

67- Mandalari, A., et al. (2024). Smart TV tracking raises privacy concerns. UCL News. Retrieved from https://www.ucl.ac.uk/news/2024/nov/smart-tv-tracking-raises-privacy-concerns

68- NetworkLessons. (n.d.). Introduction to RSVP. Retrieved from https://networklessons.com/quality-of-service/introduction-to-rsvp

69- Radiant. (2020). إنتاج الاستوديوهات الافتراضية LED. تم استرجاعه من https://www.szradiant.com/ar/news/led-studio-virtual-production-depth-technology/

70- ResearchGate. (2007). Design of an IPTV multicast system for Internet backbone networks. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/220657336

71- ResearchGate. (2008). Typical multicast IPTV service architecture. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Typical-multicast-IPTV-service-architecture_fig1_234781604

72- Samsung. (n.d.). تلفزيون يعمل بالذكاء الاصطناعي بدقة K8. تم استرجاعه من https://www.samsung.com/iq_ar/tvs/8k-tv/highlights/

73- Tishreen University Journal. (2021). بروتوكول توجيه بث مجموعاتي قادر على التعامل مع مستويات عالية من حركية العقد. تم استرجاعه من https://journal.latakia-univ.edu.sy/index.php/engscnc/article/download/10832/10378/41650

74- University of Bhopal. (n.d.). The influence of digital technology on film production and distribution. Retrieved from https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2306628.pdf

75- Viswanath, K., Lee, S., & Im, S. (2006). Exploring mesh and tree-based multicast routing protocols for MANETs. IEEE Transactions on Mobile Computing, 5(1), 29–41.

76- Wang, Y. (2024). Virtual production extended (VPX): The evolution of digital filmmaking. MDPI. Retrieved from https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2530

77- WYSIWYG. (2022). LED screen rentals for virtual production. Retrieved from https://wysiwyg.hk/

78- YuChip. (n.d.). كيف تعمل شاشة LED للإنتاج الافتراضي؟ تم استرجاعه من https://www.yuchip-led.com/ar/كيف-تعمل-شاشة-led-للإنتاج-الافتراضي/

79- Amazon Web Services (AWS). (د.ت.). ما هي اللامركزية؟ - شرح اللامركزية في Blockchain. تم الاسترداد من https://aws.amazon.com/ar/web3/decentralization-in-blockchain/

80- Amazon Web Services (AWS). (د.ت.). ما المقصود بإنترنت الأشياء (IoT)؟ شرح "إنترنت الأشياء". تم الاسترداد من https://aws.amazon.com/ar/what-is/iot/

81- Cryptokap. (2023). ما هو البلوك تشين؟ وكيف تعمل هذه التقنية الرقمية. تم الاسترداد من https://www.cryptokap.com/2023/03/what-is-blockchain-and-how-to-work.html

82- Equiti. (د.ت.). شرح تقنية البلوك تشين: ما هي وكيف تعمل. تم الاسترداد من https://www.equiti.com/sc-ar/news/crypto-hub/شرح-تقنية-البلوك-تشين-

ما-هي-وكيف-تعمل/
-83 Investing.com. (د.ت.). الويب 3.0: ما هو الجيل الجديد من الإنترنت؟ تم الاسترداد من https://sa.investing.com/analysis/article-200475337
-84 مجلة العلوم التربوية والنفسية. (2023). تطبيقات الذكاء الاصطناعي ودورها في تنمية المحتوى الذكي. مجلة العلوم التربوية والنفسية, 7(41), 26–46. تم الاسترداد من https://journals.ajsrp.com/index.php/jeps/ar/article/view/7073
-85 Mexc Blog. (د.ت.). ما هي البلوكشين وكيف يعمل؟ تم الاسترداد من https://blog.mexc.com/ar/what-is-blockchain/
-86 MEWC. (د.ت.). كيف يعمل البلوك تشين؟ تم الاسترداد من https://fiper.me/detail-625-البلوك-تشين
-87 نيل خيرة، وصادوق خضرة. (2021). خدمات المكتبة في ظل إنترنت الأشياء. مجلة المعارف للبحوث والدراسات التاريخية والأثرية, 4(2), 108–120. تم الاسترداد من https://asjp.cerist.dz/en/downArticle/289/8/2/208518
-88 جامعة صحار. (د.ت.). الخصائص المفاهيمية لـ Web 2.0 (المشاركة الاجتماعية). تم الاسترداد من https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/uploads/87/1542570118%20-%20الويب-2.docx
-89 Qit Company Blog. (د.ت.). The role of artificial intelligence and machine learning in web development. تم الاسترداد من https://blog.qit.company/the-role-of-artificial-intelligence-and-machine-learning-in-web-development/
-90 TDM Lab. (د.ت.). Semantic web layered architecture. تم الاسترداد من https://thedmlab.com/blog/semantic-web-layered-architecture/
-91 Abrol, A. (2022). Web 3.0: The decentralized web block-chain networks and protocol innovation. International Journal of Research and Review in Applied Science Humanities and Technology, 1–4. Retrieved from https://www.blockchain-council.org/metaverse/web-3-0-vs-metaverse/
-92 Actian Data Platform. (n.d.). What is metadata: Importance, types, and key benefits. Retrieved from https://www.actian.com/glossary/metadata/
-93 Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. Scientific American. Retrieved from https://www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web/
-94 Blemus, S. (2018). Law and blockchain: A legal perspective on current regulatory trends worldwide. Social Science Research Network. Retrieved from https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/5-226/pdf
-95 Ibrahim, A. K. (2021). Evolution of the web: From Web 1.0 to 4.0. Qubahan Academic Journal, 1(3), 20–28. https://doi.org/10.48161/qaj.v1n3a75
-96 International Monetary Fund (IMF). (2022). Blockchain consensus mechanisms: A primer for supervisors (FinTech Note No. 2022/003). Retrieved from https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/FTN063/2022/English/FTNEA2022003.ashx
-97 Lashkari, B., & Musilek, P. (2021). A comprehensive review of blockchain consensus mechanisms. IEEE Access, 9, 43620–43652. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065880
-98 Mahmood, S., Rahman, S. M. K., & Fahim, S. (2023). Blockchain: A comparative study of consensus algorithms PoW, PoS, PoA, PoV. International Journal of Mathematical Sciences and Computing, 9(3), 46–57. Retrieved from https://www.mecs-press.org/ijmsc/ijmsc-v9-n3/v9n3-4.html
-99 O'Reilly, T. (2005, September 30). What is Web 2.0. O'Reilly Media. Retrieved from https://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html
-100 Raggett, D. (2015). The web of things: Challenges and opportunities. Computer, 48(5), 26–32. Retrieved from https://ieeexplore.ieee.org/document/7111885/
-101 آي بي إم. (2024). لمحة عامة عن الواقع المعزز. تم الاسترداد من https://www.ibm.com/ae-ar/think/topics/augmented-reality.
-102 آي بي إم. (2024). وحدات المعالجة العصبية: البناء على توازي وحدات معالجة الرسوميات. تم الاسترداد من https://www.ibm.com/think/topics/neural-processing-unit.
-103 بيل، أ. ج. (2024). اختراع الهاتف. ويكيبيديا. تم الاسترداد من https://ar.wikipedia.org/wiki/اختراع_الهاتف.
-104 التعليم التقني في الإمارات. (n.d). محاضرة جامعية SLAM المرئي: نظام تموضع الربوتات وبناء خريطة المكان في آن واحد باستخدام تقنيات الرؤية الآلية. تم الاسترداد من https://www.techtitute.com/.../visual-slam-robot-localization-simultaneous-mapping-using-computer-vision.
-105 دليل. (2024). ما هو الذكاء الاصطناعي في الهواتف الذكية؟. تم الاسترداد من https://dleel.com/ar/blog/الذكاء-الاصطناعي-في-الهواتف-الذكية/-a-716307934.
-106 زاس شوب. (n.d). الذكاء الاصطناعي في الهواتف | تجربة استخدام ذكية تتطور. تم الاسترداد من https://zasshope.com/blogs/phone/ai-in-phones.
-107 ساب. (2024). ما هو المساعد الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي (AI Copilot). تم الاسترداد من https://www.sap.com/mena-ar/resources/what-is-ai-copilot.
-108 صحيفة الثورة. (n.d). التصوير الحسابي ... كيف أثر على كاميرات الهواتف؟. تم الاسترداد من https://thawra.sy/?p=312727.

-109 قوقل. (2024). ميزات الأمان في الحماية المتقدمة. تم الاسترداد من https://support.google.com/android/answer/16339980?hl=ar.

-110 مدونة معلم الحاسب. (n.d). تصميم الواقع المعزز، بناء الفكرة | الوحدة العاشرة | الدرس الثاني. تم الاسترداد من https://mo3alemalhaseb.com/augmented-reality-design-idea-building/.

-111 Banjanović-Mehmedović, L., & Husaković, A. (2024). Edge AI: Reshaping the Future of Edge Computing with Artificial Intelligence. Conference: Basic technologies and models for implementation of Industry 4.0.

-112 Chilakapati, G. (2025). The Rise of AI Co-Pilots: Enhancing productivity across industries. World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 15(1), 1121-1134.

-113 Cypher, A. (2024). الواقع المعزز وتطبيقاته في التعليم والرعاية الصحية. Proven Reality. تم الاسترداد من https://provenreality.com/ar/تقنية-الواقع-المعزز-وتطبيقاتها-في-الت/.

-114 Friederichsen, P. (2021). Recent Advances in Smartphone Computational Photography. Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris Undergraduate Journal, 8(1), Article 4.

-115 Ghani, A., Zeeshan, M., & Butt, W. Z. (2025). The evolution of the smartphone: From 'brick' to integrated mobile computing hub. Journal of Mobile Technology Research, 41(2), 150-165.

-116 Hassan, F., Raza, H., & Khan, Z. (2025). Architectural shifts in smartphone design: 5G, storage capacity, and advanced camera systems. International Journal of Computer and Electrical Engineering, 18(1), 77-90.

-117 Hirsch, M., Mateos, C., & Majchrzak, T. A. (2025). Exploring Smartphone-Based Edge AI Inferences Using Real Testbeds. Sensors (Basel), 25(9), 2875.

-118 Lenovo. (2024). What is portrait mode? تم الاسترداد من https://www.lenovo.com/us/en/glossary/portrait-mode/.

-119 Mann, S., & et al. (1993). Compositing Multiple Pictures of the Same Scene. Proceedings of the 46th Annual Imaging Science & Technology Conference.

-120 Mann, S., & et al. (2003). The Lightspace Change Constraint Equation (LCCE) with practical application to estimation of the projectivity+gain transformation between multiple pictures of the same subject matter. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing.

-121 Michael, J. (2024). التصوير الفوتوغرافي الحسابي. ويكيبيديا. تم الاسترداد من https://ar.wikipedia.org/wiki/التصوير_الحسابي.

-122 Patel, J., & Shah, H. (2024). Edge AI vs Cloud AI: Balancing Performance and Efficiency in Future Computing. Journal of Cloud Computing and AI Research, 12(3), 45-67.

-123 Purohit, K., Suin, M., Kandula, P., & Ambasamudram, R. (2019). Depth-Guided Dense Dynamic Filtering Network for Bokeh Effect Rendering. 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW), 3417–3426.

-124 Singh, P. (2025). Edge AI vs Cloud AI: A Comparative Study of Performance Latency and Scalability. International Journal of Engineering and Emerging Technology, 13(3).

-125 Springer, M. (2023). الفرق بين الواقع المعزز والواقع الافتراضي. Botpress. تم الاسترداد من https://botpress.com/ar/blog/ultimate-guide-to-artificial-intelligence-ai-and-augmented-reality-ar.

-126 Syracuse University. (2024). AI in Cybersecurity: An Overview. تم الاسترداد من https://ischool.syracuse.edu/ai-in-cybersecurity/.

-127 Vaiter, B. (2025). وحدة المعالجة العصبية (NPU): كيف يحاكي هاتفك فن التفكير. ITpedia. تم الاسترداد من https://ar.itpedia.nl/2025/01/17/npu-hoe-je-smartphone-de-kunst-van-het-denken-nabootst/.

-128 Wang, J., Liu, M., & Chen, S. (2024). AI-Driven Mobile Cinematography: Automation and Aesthetic Control. Journal of Film and Media Studies, 29(4), 112-128.

-129 YouTube. (n.d). شرح مبسط كيف يعمل الواقع المعزز وكيف يتم دمجه في الواقع الحقيقي؟ [Video]. تم الاسترداد من https://www.youtube.com/watch?v=mGp8rbgmK7A.

-130 Zhang, C., Liu, F., & Wang, Q. (2024). Enhanced Privacy and Security in Edge AI Deployment: A Case Study in Healthcare. Journal of Edge Computing for Healthcare Systems, 5(2), 121-135.

-131 AWS. (2024). ما المقصود بإنترنت الأشياء (IoT)؟ شرح "إنترنت الأشياء". تم الاسترجاع من https://aws.amazon.com/ar/what-is/iot/

-132 Capulli, E., Carbone, C., Palumbo, M., Golinelli, D., Roccetti, M., & Prandi, C. (2025). Ethical and legal issues in health-related mobile and wearable device usage. Social Science & Medicine, 370, 117685. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117685

-133 COLMI. (2024). وظيفة PPG: إلقاء الضوء على تدفق الدم. تم الاسترجاع من https://ar.colmi.com/news/unveiling-the-power-of-ecg-and-ppg-in-smartwatches-a-journey-into-health-science/

-134 For Insights Consultancy. (2023). أبحاث واتجاهات سوق التكنولوجيا الصحية القابلة للارتداء، 2024–2030. تم الاسترجاع من

/https://www.forinsightsconsultancy.com/ar/wearable-health-technology-market

135- IBM. (2024). ما المقصود بمعالجة اللغة الطبيعية (NLP)؟ تم الاسترجاع من https://www.ibm.com/sa-ar/think/topics/natural-language-processing

136- Internet Matters. (2023). كيف تُغيّر المساعدات الصوتية طريقة استخدامنا للتكنولوجيا. تم الاسترجاع من
/https://www.internetmatters.org/ar/hub/expert-opinion/how-voice-assistants-are-changing-the-way-we-use-technology

137- Kim, K. B., & Baek, H. J. (2023). Photoplethysmography in wearable devices: A comprehensive review of technological advances, current challenges, and future directions. Electronics, 12(13), 2923. https://doi.org/10.3390/electronics12132923

138- Kim, J., Song, W., Jung, S., Kim, Y., Park, W., You, B., & Park, K. (2020). Capacitive heart-rate sensing on touch screen panel with laterally interspaced electrodes. Sensors, 20(14), 3986. https://doi.org/10.3390/s20143986

139- Predel, R., & Steger, F. (2021). Ethical and legal implications of health-related mobile and wearable devices. [Manuscript].

140- Samsidar, A., Atnang, M., & Fajar, N. (2025). The impact of Internet of Things (IoT) applications in agriculture and healthcare: Advancements, challenges, and future directions. International Journal of Science Technology and Health, 3(2).

141- Singh, S., Panwar, S. S., Dahiya, H., & Khushboo. (2024). Artificial intelligence voice assistant and home automation. International Journal of Science and Research Archive, 12(1), 2006–2017.

142- Skulil, M., & Manenova, M. (2012). Interactive white board in primary school environment. International Journal of Education and Information Technologies, 6(1), 123–130.

143- SMART Technologies. (2009). SMART Board: دليل المستخدم. تم الاسترجاع من
https://downloads.smarttech.com/media/sitecore/ar/support/product/smartboards-fpd/v200series/guides/guidev280v4sep09.pdf

144- Translated Labs. (2023). تطبيق Alexa Translated Skill. تم الاسترجاع من
https://translatedlabs.com/%D8%AA%D8%B7%D8%A8%D9%8A%D9%82-alexa-translated-skill

145- Troester, M., Munafo, J., Khoury, M., & Lim, D. (2023). Human sleep scoring ambiguity and stability in health and sleep apnea: An artificial intelligence perspective. Frontiers in Sleep, 2, Article 1163477. https://doi.org/10.3389/frsle.2023.1163477

146- Yellow.ai. (2023). ما هي معالجة اللغات الطبيعية (NLP)؟ تم الاسترجاع من https://yellow.ai/ar/blog/natural-language-processing/

147- الواحة الأكاديمية. (2023). إنترنت الأشياء – رحلة من المفهوم إلى بلدنا. تم الاسترجاع من
https://wpu.edu.sy/wpua/%D8%A5%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%86%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B4%D9%8A%D8%A7%D8%A1-%D8%B1%D8%AD%D9%84%D8%A9-%D9%85%D9%86-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%81%D9%87%D9%88%D9%85-%D8%A5%D9%84%D9%89-%D8%A8/

148- الويبو (WIPO). (2024، 28 يونيو). هل يمكن أن تساعد الأجهزة القابلة للارتداء في علاج الأمراض غير المعدية؟ المنظمة العالمية للملكية الفكرية. تم الاسترجاع من https://www.wipo.int/ar/web/global-health/w/news/2024/news_0012

149- م. ب. أ.-941608. (د.ت.). النشر الإلكتروني: تعريف ومزايا وعيوب. Taxonomy_v4.

150- Amazon Web Services (AWS). (د.ت.). ما المقصود بالترجمة الآلية؟ تم الاسترجاع من https://aws.amazon.com/

151- أمين، ز. م. (2007). تقنية لعرض المحتوى في شكل إلكتروني (ص. 5).

152- البحراني، ر. ح.، وآخرون. (د.ت.). دليل توثيق المصادر حسب نظام APA بنسخته السابعة.

153- بني فواز، س. م. ع. (2018). أثر استخدام الكتاب الإلكتروني التفاعلي في تنمية التحصيل لدى طلاب الصف الرابع الأساسي في وحدة النظام الشمسي في مادة العلوم. مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية، 17(1)، 1–32. https://doi.org/10.21608/jedu.2018.107662

154- الحلفاوي، و. (2006). عرض المحتوى في صورة رقمية (ص. 151).

155- الصباغ، ع. ع. و. (د.ت.). الفرق بين النشر التقليدي والإلكتروني. تم الاسترجاع من
https://journal.cybrarians.info/index.php/cj/article/download/336/350/357

156- العجرمي، س. (2016). مفهوم الكتاب الإلكتروني التفاعلي (ص. 216).

157- عزت، ح. م. (د.ت.). النشر الجامعي في العصر الرقمي. تم الاسترجاع من
https://sjam.journals.ekb.eg/article_136364_bd4ea61d1eaae577b4e2ad890a7f7ce5.pdf

158- علي، أ. م. (2024). توظيف تقنيات معالجة اللغة الطبيعية (NLP) في تحليل المشاعر لآراء القراء باستخدام Orange Data Mining: دراسة تطبيقية لمراجعات كتب علوم المكتبات والمعلومات في LibraryThing. المجلة المصرية لعلوم المعلومات. https://doi.org/10.21608/jesi.2024.303325.1133

159- Alzboon.com. (د.ت.). حماية الملكية الفكرية في العصر الرقمي: التحديات والحلول. تم الاسترجاع من http://alzboon.com/index.php/ar/المدونة/مكتب-لحماية-الملكية-الفكرية-الرقمية-في-دبي.html

160- Applied and Computational Engineering. (2024). Digital rights management (DRM) technologies and legal research: Applications and regulations of encryption, digital watermarking, and copyright protection systems. Applied and Computational Engineering, 82(1), 106–111.

https://doi.org/10.54254/2755-2721/82/20240957

161- كوتب، م. (2025). سلسلة القيمة (Value Chain): مفهومها وأهميتها في تحسين الأداء التنظيمي. أكاديمية مهارات التخطيط الاستراتيجي. تم الاسترجاع من https://spskills.com/articles/سلسلة-القيمة-value-chain/

162- Lim, J. (2020). Interactive e-book reading vs. paper-based reading: Comparing the effects of different mediums on middle school students' reading comprehension. System, 97(4), 102434. https://doi.org/10.1016/j.system.2020.102434

163- Journal.cybrarians.info. (د.ت.). المقصود برقمنة التراث ونشره إلكترونياً والمراحل التاريخية للتطور. تم الاسترجاع من https://journal.cybrarians.info/index.php/cj/article/download/356/370/377

164- Niuversity. (د.ت.). أدوات الذكاء الاصطناعي في تلخيص النصوص: كيف تختار الأنسب؟ تم الاسترجاع من https://niuversity.com/ar/ai-في-تلخيص-النصوص/

165- Pluaris. (د.ت.). Types of AI in text summarization.

166- Rosenblatt, W. (2004). Digital rights management: An overview of current challenges and solutions. تم الاسترجاع من https://www.researchgate.net/publication/228644499_Digital_rights_management-An_overview_of_current_challenges_and_solutions

167- Wisedocs.ai. (د.ت.). Extractive vs. abstractive AI summarization in medical records. تم الاسترجاع من https://www.wisedocs.ai/blogs/extractive-vs-abstractive-ai-summarization-in-medical-records

168- الجزيرة نت. (2025، 5 مايو). الألعاب الإلكترونية.. أدوات تعلمٍ تفاعلية تعيد صياغة الفصول الدراسية. تم الاسترجاع من https://www.aljazeera.net/tech/2025/5/5/الألعاب-الإلكترونية-أدوات-تعلمٍ-تفاعلية-تعيد-صياغة-الفصول-الدراسية

169- زغلوله، ج. (2021). الواقع الافتراضي في العلاج النفسي. صحيفة رسالة الجامعة. تم الاسترجاع من http://rs.ksu.edu.sa/ar/issue-1409/21417

170- NP Istanbul. (د.ت.). العلاج النفسي بالواقع الافتراضي المعزز. تم الاسترجاع من https://npistanbul.com/ar/العلاج-النفسي-بالواقع-الافتراضي-المعزز

171- Bakkah. (د.ت.). الحوسبة الطرفية. تم الاسترجاع من https://bakkah.com/ar/knowledge-center/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%88%D8%B3%D8%A8%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%B1%D9%81%D9%8A%D8%A9

172- Jazeel. (د.ت.). الحوسبة الطرفية مقابل السحابية: موازنة بين السرعة والكفاءة في معالجة البيانات. تم الاسترجاع من https://jazeeljo.com/edgecompu/

173- سالم، ب.، و البوسعيدي، ن. (2012). الألعاب الإلكترونية لدى طلبة جامعتي السلطان قابوس في سلطنة عمان وجامعة المنوفية في مصر. تم الاسترجاع من https://ajadi.weebly.com/uploads/8/6/6/1/86616634/ناهد-سالم-الألعاب-الالكترونية07cor.pdf

174- ABI Research. (n.d.). The past, present, and future of cloud gaming. Retrieved from https://go.abiresearch.com/hubfs/Marketing/Whitepapers/The%20Past%2C%20Present%2C%20and%20Future%20of%20Cloud%20Gaming/ABI_Research

175- Adamosoft. (n.d.). Gamification examples in education: Best ways to use game-based learning. Retrieved from https://adamosoft.com/blog/edutech-solutions/gamification-examples-in-education/

176- Asurion. (n.d.). What's cloud gaming and how does it work? Retrieved from https://www.asurion.com/connect/tech-tips/what-is-cloud-gaming/

177- Blog InterNexa. (n.d.). Low latency in cloud gaming. Retrieved from https://blog.internexa.com/en/low-latency-in-cloud-gaming

178- Chee, S. Y., & Lee, J. Y. (2021). The effects of involvement in social VR games on well-being. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(23), 12699. https://doi.org/10.3390/ijerph182312699

179- Digital WPI. (n.d.). The effects of latency, bandwidth, and packet loss on cloud-based gaming services. Retrieved from https://digital.wpi.edu/downloads/sj1392656

180- Eltima. (n.d.). What is cloud gaming and how does it work from the server and user side? Retrieved from https://mac.eltima.com/how-cloud-gaming-works/

181- Encyclopædia Britannica. (n.d.). Electronic game. Retrieved from https://www.britannica.com/topic/electronic-game

182- Frontiers in Psychology. (2025). Virtual reality gaming: A tool for reducing fear and anxiety in university students. Retrieved from https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2025.1532753/full

183- Frontiers Research Topic. (n.d.). VR/AR and wellbeing: The use of immersive technologies in promoting health outcomes. Retrieved from https://www.frontiersin.org/research-topics/22761/vrar-and-wellbeing-the-use-of-immersive-technologies-in-promoting-health-outcomes/magazine

184- GameCloud. (n.d.). Cloud gaming and streaming: The next big thing in video games. Retrieved from https://gamecloud-ltd.com/cloud-gaming-and-streaming-the-next-big-thing-in-video-games/

185- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. Developments in Business Simulation and Experiential Learning, 41, 339–342.

-186 Hull, C. (2021). The development of an architecture which utilises cloud and fog computing concepts and combines these with a self-adaptation component to create an adaptable architecture for the improvement of QoS in networked games (Unpublished doctoral thesis). Ulster University.

-187 Journals at the University of Arizona. (n.d.). The effect of gamification and self-determination theory on motivation of learners. Retrieved from https://journals.librarypublishing.arizona.edu/itlt/article/id/4872/download/pdf/

-188 Kalina, S. P., & Johnson-Glenberg, M. C. (2020). Virtual reality and embodied cognition: A scoping review. Frontiers in Psychology, 11, 1682. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01682

-189 Kapp, K. M. (2012). The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.

-190 .Lyu, M. (2025). Games are not equal: Classifying cloud gaming contexts for network operators. arXiv preprint arXiv:2509.19669

-191 MDPI. (2023). Using problem-based learning and gamification as a catalyst for student engagement in data-driven engineering education: A report. Education Sciences, 13(12), 1223. https://doi.org/10.3390/educsci13121223

-192 Raccoon Gang. (n.d.). Gamification in education and its examples. Retrieved from https://raccoongang.com/blog/gamification-education-and-its-examples/

-193 ResearchGate. (2024). Enhancing cloud gaming experience through optimized virtual machine placement: A comprehensive review. Journal of Network and Systems Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384227

-194 ResearchGate. (2024). AR and VR in the gaming industry. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/377916980_AR_AND_VR_IN_THE_GAMING_INDUSTRY

-195 Rutledge, R., Walsh, K., & Van, E. (2018). The role of self-determination theory (SDT) in gamification for medical education. Academic Medicine, 93(4), 570–576. https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000002008

-196 Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(6), 603–616. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603

-197 .Wang, X., & Li, R. (2019). Research on latency problems and solutions in cloud game. Retrieved from ResearchGate

-198 Weibel, D., & Wissmath, B. (2011). Immersion in computer games: The role of sensation and perception. Journal of Media Psychology, 23(1), 1–10. https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000030

-199 Williams, D. (2023). Is virtual reality bad for our health? Studies point to physical and mental impacts of VR usage. Nature Social Sciences. Retrieved from https://socialsciences.nature.com/posts/is-virtual-reality-bad-for-our-health-studies-point-to-physical-and-mental-impacts-of-vr-usage

-200 WIPO. (2023). Heterogeneous development paths to growth and innovation: The evolution of the video game industry across four hubs. WIPO Economic Research Working Papers, 84.

-201 Wirth, B. (2018). Immersion, presence, and flow in video games: The enactive approach. Frontiers in Psychology, 9, 1682. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01682

-202 Zhou, H., & Chen, J. (2024). The effect of gamification on sustainable development goals education. Sustainability, 15(2), 940. https://doi.org/10.3390/su15020940

-203 Abidi, N., El-Herradi, M., & Sakha, S. (2022). Digitalization and resilience: Firm-level evidence during the COVID-19 (IMF Working Paper WP/22/34). International Monetary Fund.

-204 Belitski, M., et al. (2023). Enhancing the quality of ICT infrastructure as a relevant strategy for building ecosystems resilient to multiple types of crises.

-205 Chen, Y., Zhang, W., & Long, H. (2023). Delving into the concept of digital financial inclusion (DFI-ICT). Digital Progression and Economic Growth: Analyzing the Impact of ICT Advancements on the GDP of European Union Countries, 12(3), 63.

-206 Common Sense Education. (n.d.). Digital citizenship curriculum. Retrieved September 29, 2025, from https://www.commonsense.org/education/digital-citizenship

-207 Council of Europe. (2017). Digital citizenship education handbook. Retrieved September 29, 2025, from https://rm.coe.int/16809382f9

-208 European Commission (EC). (2024). Bulgaria 2024 digital decade country report. Retrieved September 29, 2025, from https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/bulgaria-2024-digital-decade-country-report

-209 European Commission (EC). (n.d.). Broadband connectivity stimulates rural revitalisation. Retrieved September 29, 2025, from https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/broadband-connectivity-stimulates-rural-revitalisation

-210 Eurostat. (2024). E-government: The inclusive way for the future of digital citizenship. Retrieved September 29, 2025, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/131512.pdf

-211 Guerrini, F. (2003). Disruptive innovation and disintermediation strategies in value chain. XIME. Retrieved September 29, 2025, from https://xime.org/uploads/userfiles/JME%202013%20Oct%20Article%202%20Dsiruptive%20innovation.pdf

-212 Habermas, J. (2009). ICTs, public sphere, and deliberative democracy. Educational Administration: Theory and Practice. Retrieved September 29, 2025, from https://kuey.net/index.php/kuey/article/download/7204/5356/14151

-213 Handayani, S. F., & Er, M. (2019). Navigating digital transformation and technology adoption: A literature review from small and medium-sized enterprises in developing countries. Sustainability, 16(14), 5946.

-214 International Telecommunication Union (ITU). (n.d.-a). Digital technologies to achieve the UN SDGs. Retrieved September 29, 2025, from https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/icts-to-achieve-the-united-nations-sustainable-development-goals.aspx

-215 Lenovo. (n.d.). Glossary: ICT. Retrieved September 29, 2025, from https://www.lenovo.com/us/en/glossary/ict/

-216 Momena, F., et al. (n.d.). Information and communication technology, and supply chains as economic drivers in the European Union. MDPI. Retrieved September 29, 2025, from https://www.mdpi.com/2305-6290/9/2/49

-217 Nath, J. (2023). Digital government and digital governance: Grand concept. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/369464569_Digital_Government_and_Digital_Governance_Grand_Concept

-218 New York State Bar Association (NYSBA). (n.d.). Judging the credibility of what you read. Retrieved September 29, 2025, from https://nysba.org/why-media-literacy-education-is-crucial-for-u-s-students/

-219 OECD. (n.d.-a). Digital transformation. Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/digital-transformation.html

-220 OECD. (n.d.-b). Global value and supply chains. Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/global-value-and-supply-chains.html

-221 OECD. (2024-a). Closing broadband connectivity divides for all. Retrieved September 29, 2025, from https://www.oecd.org/en/publications/closing-broadband-connectivity-divides-for-all_d5ea99b2-en.html

-222 Okonkwo, I. S. (2024). Role of ICT in socio-economic transformation in educational system. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/391567343_ROLE_OF_ICT_IN_SOCIO_-ECONOMIC_TRANSFORMATION_IN_EDUCATIONAL_SYSTEM

-223 Ordanini, A., & Pol, A. (2001). Infomediation and competitive advantage in B2B digital marketplaces. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/223289816_Infomediation_and_competitive_advantage_in_B2B_digital_marketplaces

-224 Parliamentarians for Global Action (PGA). (n.d.). Technology and governance for democracy. Retrieved September 29, 2025, from https://www.pgaction.org/dgi/drhr/parliamentary-toolbox-for-democracy-defense/technology-and-governance-for-democracy.html

-225 Petsas, I. E. (2003). General purpose technologies: Characteristics and impact on economic growth. European Research Studies Journal, 6(1), 177–186.

-226 Rachimoellah, M., Lubis, P. H., et al. (n.d.). Digital activism and political change: Challenges of social media's impact. UI Scholars Hub. Retrieved September 29, 2025, from https://scholarhub.ui.ac.id/meis/vol11/iss2/2/

-227 Ribble, M. (2015). Digital citizenship in schools: Nine elements all students should know (3rd ed.). International Society for Technology in Education.

-228 Sari, E. (2024). Digital literacy and critical thinking skills of students in the era of Industry 4.0. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/392176349_Digital_Literacy_and_Critical_Thinking_Skills_of_Students_in_the_Era_Industry_40

-229 Sartori, L., et al. (2024). Social media use and political engagement in polarized times. Journal of Political Communication, 41(4), 1058–4609.

-230 Tsachtsiris, V., et al. (2023). The ICT index and GDP growth: A comprehensive study. Digital Progression and Economic Growth, 12(3), 63.

-231 UNESCO. (2021). Global media and information literacy assessment framework. Retrieved September 29, 2025, from https://www.unesco.org/en/articles/global-media-and-information-literacy-assessment-framework

-232 UNESCO. (n.d.-a). ICT's contribution to achieving universal education. Retrieved September 29, 2025, from https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3797554/

-233 UNESCO. (n.d.-b). Information and communication technologies (ICT): UNESCO Institute for Statistics data browser glossary. Retrieved September 29, 2025, from https://databrowser.uis.unesco.org/resources/glossary/2367

-234 United Nations (UN). (n.d.). The Sustainable Development Goals. Retrieved October 12, 2025, from https://sdgs.un.org/

-235 Veit, D., & Mergel, I. (2024). E-government—The inclusive way for the future of digital citizenship. Sustainability, 13(6), 141.

-236 Vivat Academia. (n.d.). Repensar la comunicación política en el contexto digital. Ciberdemocracia: ¿Democracia deliberativa? Retrieved September 29, 2025, from https://www.vivatacademia.net/index.php/vivat/article/download/1268/2648?inline=1

-237 Wikipedia. (n.d.-a). E-governance. Retrieved September 29, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/E-governance

-238 Wikipedia. (n.d.-b). Public sphere. Retrieved September 29, 2025, from https://en.wikipedia.org/wiki/Public_sphere

-239 World Bank. (n.d.-a). Digital financial inclusion. Retrieved September 29, 2025, from https://www.worldbank.org/en/topic/financialinclusion/publication/digital-financial-inclusion

-240 World Bank. (n.d.-b). The Sustainable Development Goals report 2025. Retrieved September 29, 2025, from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099031924192524293/pdf/P180107173682d0431bf651fded74199f10.pdf

-241 World Economic Forum (wiiw). (n.d.). The information and communication technology cluster in the global value chain network. Retrieved September 29, 2025, from https://wiiw.ac.at/the-information-and-communication-technology-cluster-in-the-global-value-chain-network-dlp-5877.pdf

-242 Zuppo, E. (2012/2020). Defining ICT in a boundaryless world: The development of a working hierarchy. ResearchGate. Retrieved September 29, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/314059150_Defining_ICT_in_a_Boundaryless_World_The_Development_of_a_Working_Hierarchy

-243 Rafaeli, S. (1988). Interactivity: From new media to communication. Sage Publications.

-244 Woods, R. H., Jr., & Baker, J. D. (2004). Interaction and immediacy in online learning. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 5(2). https://doi.org/10.19173/irrodl.v5i2.186

-245 Journal of Interactive Marketing. (2009). Interactive services: A framework, synthesis, and research directions. Journal of Interactive Marketing, 23(1), 91–104. https://doi.org/10.1016/j.intmar.2008.10.003

-246 European Commission. (2018). High Level Expert Group on Fake News and Online Disinformation: Final report. Publications Office of the European Union. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/final-report-high-level-expert-group-fake-news-and-online-disinformation

-247 Kapantai, E., Karypidou, S., Papanikolaou, E., & Alivizatou, D. (2021). The digital era's impact on misinformation, disinformation, and fake news. Online Media and Journalism Practice, 3(2), 45–61. https://doi.org/10.52383/omjp.v3i2.78

-248 Paskin, D. (2018). Defining fake news. Journal of Media Ethics, 33(4), 254–266. https://doi.org/10.1080/23736992.2018.1503733

-249 Tene, O., & Polonetsky, J. (2013). Privacy in the age of big data: A time for big regulation? Stanford Law Review Online, 66, 15–20. https://www.stanfordlawreview.org/online/privacy-paradox-privacy-and-big-data/

-250 UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455

-251 بكه للتعليم. (د.ت.). دور الذكاء الاصطناعي في التحول الرقمي وأهم أشكاله. https://bakkah.com/ar/knowledge-center/artificial-intelligence-in-digital-transformation

-252 مجموعة رينار المجد. (د.ت.). التحول الرقمي: مفهومه وأهميته وفوائده للمؤسسات. https://www.rmg-sa.com/التحول-الرقمي-مفهوم-واهمية-وفوائد/

-253 Guru. (د.ت.). استراتيجية التحول الرقمي: دليل شامل لقادة الأعمال. https://www.getguru.com/ar/reference/digital-transformation-strategy

-254 ResearchGate. (د.ت.). Assessing interactivity in computer-mediated research. https://www.researchgate.net/publication/287610294_Assessing_interactivity_in_computer-mediated_research

-255 Oxford Academic. (د.ت.). Networked interactivity. Journal of Computer-Mediated Communication, 2(4). https://academic.oup.com/jcmc/article/2/4/JCMC243/4584410

-256 ResearchGate. (د.ت.). Interactive services: A framework, synthesis and research directions. https://www.researchgate.net/publication/228343454_Interactive_Services_A_Framework_Synthesis_and_Research_Directions

-257 MEXC. (د.ت.). ما هي البلوك تشين؟ دليل للمبتدئين حول كيفية عملها وتطبيقاتها في العالم الحقيقي. https://blog.mexc.com/ar/what-is-blockchain/

-258 SAP. (د.ت.). ما هي تقنية سلسلة الكتل؟ https://www.sap.com/mena-ar/products/technology-platform/what-is-blockchain.html

-259 GDPR Info. (د.ت.-a). Art. 17 GDPR – Right to erasure ('right to be forgotten'). https://gdpr-info.eu/art-17-gdpr/

-260 GDPR Info. (د.ت.-b). Right to be forgotten. https://gdpr-info.eu/issues/right-to-be-forgotten/

-261 IoT Analytics. (2024). State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally. https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/