الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة– ميلة –

المحاضرة السابعة لمادة: تصميم شبكات اللوجستيك بالذكاء الاصطناعي

موجّهة لطلبة الماستر مالية و تجارة دوليّة

عنوان المحاضرة: تطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) في الشبكات اللوجستية

مقدمة: مفهوم إنترنت الأشياء في اللوجستيات ومكوناته الأساسية

إنترنت الأشياء (IoT) يُشير إلى شبكة من الأجهزة المادية المتصلة بالإنترنت والمزوّدة بالمستشعرات والبرمجيات بهدف جمع البيانات وتبادلها تلقائيًا. في مجال اللوجستيات، يعني ذلك ربط المركبات والشحنات والمستودعات والمعدات بشبكة رقمية واحدة للحصول على رؤية آنية وتحكم أفضل في العمليات.

يشهد قطاع اللوجستيات تحولًا رقميًا جذريًا بفضل إنترنت الأشياء؛ فلم يعد مجرد موضة تقنية عابرة، بل أصبح مكونًا جوهريًا في سلاسل الإمداد الحديثة. من خلال إنترنت الأشياء اللوجستي تستطيع الشركات مراقبة تدفق البضائع بالوقت الحقيقي وتحليل البيانات للتنبؤ بالمشكلات وتحسين كفاءة الشبكة بشكل شامل.

مكونات إنترنت الأشياء الأساسية في اللوجستيات:

يقوم IoT على ثلاثة عناصر رئيسية في السياق اللوجستي:

1. **أجهزة الاستشعار:** تمثل حواس النظام، إذ تجمع البيانات الحرجة من البيئة اللوجستية مثل الموقع ودرجة الحرارة والرطوبة والسرعة، على سبيل المثال، تُثبَّت حساسات في الشاحنات أو الطرود لقياس الموقع الجغرافي، أو في الحاويات المبردة لقياس حرارة البضائع الحساسة.
2. **شبكات الاتصال:** تمثل الأعصاب التي تربط الأجهزة، فتؤمّن الاتصال السريع والموثوق بين المستشعرات وأنظمة المراقبة. تشمل وسائل الاتصال شبكات الهاتف الخلوي(5G/4G) ، والواي فاي، واتصالات الأقمار الصناعية وغيرها، مما يضمن تدفق البيانات بانسيابية محليًا وعلى نطاق عالمي.
3. **منصات معالجة البيانات والتحليلات:** تمثل العقل الذي يستوعب بيانات المستشعرات ويحوّلها إلى معلومات قابلة للتنفيذ. تستخدم أنظمة تحليل البيانات تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لمعالجة الكم الهائل من البيانات اللحظية.هذه التحليلات التنبؤية تمكّن مديري اللوجستيات من اتخاذ قرارات مستنيرة مثل تحسين مسارات التوزيع أو جدولة الصيانة قبل وقوع الأعطال يمكن تلخيص هذه المكونات وعلاقتها باللوجستيات في الجدول التالي:

التقنية/الأداة	دورها في الشبكات اللوجستية
أجهزة الاستشعار(Sensors)	جمع البيانات البيئية والموقعية عن الشحنات والمركبات (مثل تحديد الموقع, الحرارة, الرطوبة)
معرّفاتRFID	تعريف وتتبع العناصر تلقائيًا عبر موجات الراديو، مما يتيح مراقبة المخزون وتحركات الطرود بدقة.
نظام تحديد الموقعGPS	تتبع مواقع المركبات والشحنات آنياً على امتداد رحلة النقل لضمان الشفافية في سلاسل التوريد.
الاتصالات اللاسلكية	ربط الأجهزة بالإنترنت) خلوي، WiFi، أقمار صناعية (لتبادل البيانات فورًا عبر الشبكة اللوجستية.
المنصات السحابية	تخزين ومعالجة البيانات الضخمة المتدفقة من الأجهزة في الوقت الحقيقي؛ تدعم التكامل وتحليلات البيانات الضخمة.
تحليلات البيانات والAI	تحليل البيانات باستخدام خوارزميات ذكية للتنبؤ بالطلب، كشف الأنماط، وجدولة العمليات تلقائيًا.

✓ **تطبيقات إنترنت الأشياء في المجالات اللوجستية المختلفة:**

في قطاع النقل(Transportation)

يلعب إنترنت الأشياء دورًا محوريًا في رقمنة عمليات النقل وجعلها أكثر ذكاءً. عبر تركيب أجهزة GPS وحساسات على الشاحنات وحاويات الشحن، أصبح بالإمكان تتبع الشحنات لحظيًا أثناء انتقالها على الطرق أو عبر السكك الحديدية والبحر .هذا التتبع الآني يزوّد مديري النقل بمعلومات دقيقة عن موقع كل مركبة وحالة كل شحنة، مما يسمح بإدارة المسارات بفعالية والتعامل السريع مع أية انحرافات أو تأخيرات طارئة. على سبيل المثال، يستطيع النظام إرسال تنبيه في حال خروج شاحنة عن المسار المحدد أو مواجهتها ازدحامًا مروريًا، ليتم تعديل مسارها بشكل ديناميكي نحو طريق بديل أسرع. إضافة إلى الموقع، يمكن للحساسات على المركبات مراقبة أداء المحرك واستهلاك الوقود وظروف القيادة. تستفيد الشركات من هذه البيانات في تحسين سلوك السائقين (مثل التنبيه عند التسارع المفاجئ أو الفرملة القوية) لتحقيق قيادة أكثر أمانًا وكفاءة في استهلاك الوقود .كما تُستخدم حساسات الاهتزاز والحرارة في الشاحنات لمراقبة الحالة الميكانيكية لها والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، فيما يُعرف بـ الصيانة التنبؤية للمركبات. هذه الصيانة الاستباقية تقلل فترات التوقف غير المخطط لها وتُطيل عمر الشاحنات.

من أهم تطبيقات IoT في النقل تحسين مسارات التسليم. تعتمد أنظمة إدارة الأسطول الحديثة على بيانات لحظية حول حركة السير والطقس وحالة الطرق لتخطيط المسار الأمثل لكل شاحنة بشكل تفاعلي .هذا يعني إمكانية إعادة توجيه السائقين أثناء الرحلة لتجنب الاختناقات أو الحوادث، مما يقلّص زمن الوصول بشكل ملحوظ. بالفعل، أتاحت حلول التتبع اللحظي وتقليل زمن التأخير بنسبة 25% من خلال اكتشاف المشكلات مبكرًا ومعالجتها .كذلك ساهمت الخوارزميات الذكية في خفض استهلاك الوقود بنحو 10-15% عبر تحسين تخطيط المسارات والحد من المسافات المقطوعة.

باختصار، يوفر IoT في النقل رؤية غير مسبوقة للأسطول: يمكن للشركة أن تعرف أين تقع كل شاحنة وماذا تنقل وفي أي ظروف، وكل ذلك آنياً. هذا يؤدي إلى تسليم أكثر موثوقية وسرعة، وتقليل التكاليف التشغيلية (وقود، صيانة)، فضلاً عن رفع مستوى السلامة على الطرق عبر المراقبة المستمرة لسلوك القيادة وحالة المركبة.

✓ **في التخزين وإدارة المخزون(Storage & Warehousing)**

يُعد المستودع الذكي أحد أبرز ثمرات تطبيقات إنترنت الأشياء في التخزين. تقوم الشركات بتجهيز مخازنها بحساسات متنوعة وبتقنيات التعرّف باستخدام RFID (Radio Frequency Identification) للحصول على صورة لحظية للمخزون وحركة البضائع داخل المستودع.

فمثلًا، تُثبَّت رقاقات RFID على صناديق المنتجات وعلى الأرفف الذكية، وعند نقل أي صندوق أو تغيّر مخزون رف معين، يتم تحديث السجل آليًا. هذا يوفر دقة شبه تامة في بيانات المخزون دون حاجة للجرد اليدوي المستمر .تشير التقارير الحديثة إلى أن أتمتة المخزون بمستشعرات الـ IoTارفعت دقة عمليات التجميع (Picking) إلى حوالي 99.5%، مما يعني انخفاض الأخطاء البشرية في تحضير الطلبات لأدنى حد .وبالنسبة لشركة لوجستية كبرى مثلDHL ، أدى اعتماد المستودعات الذكية المزودة بـ IoTإلى زيادة دقة تنفيذ الطلبات بنسبة 95% تقريبًا بفضل التتبع الفوري وتقليل العمليات الورقية.

إلى جانب تتبع كميات المخزون، تساهم المستشعرات البيئية في إدارة ظروف التخزين. فمثلًا، في مخازن الأدوية أو الأغذية المبردة، تقيس حساسات الحرارة والرطوبة باستمرار حالة الجو داخل المستودع. أي تغير خارج النطاق المسموح يُطلق إنذارًا أو يُعدل أنظمة التبريد تلقائيًا للحفاظ على جودة البضائع. هذا النوع من الرقابة اللحظية يقلل تلف المخزون ويحافظ على شروط التخزين المثالية دون تدخل يدوي مستمر.

من جهة أخرى، تسمح حلول إنترنت الأشياء في التخزين بتحقيق إدارة آلية للمخزون .(Just-in-Time) إذ يمكن للمنصة السحابية تحليل بيانات المبيعات والاستهلاك وربطها بمستويات المخزون الحالية، فتتنبأ بموعد الحاجة لإعادة الطلب من مورد معين .بل ويمكن للنظام إصدار طلب شراء تلقائي عندما ينخفض مخزون مادة معينة دون حد معيّن، أو تنبيه المدير اللوجستي لإعادة التخزين .هذه الآلية تمنع كلاً من الانقطاع في المخزون نتيجة النقص، وكذلك التكدّس بسبب الإفراط في التخزين، مما يحقق توازنًا فعالًا يُخفض التكاليف.

أيضًا، غيرت الروبوتات الذاتية المدعومة بإنترنت الأشياء وجه العمليات داخل المستودعات. ففي المستودعات المتقدمة) مثل مستودعات أمازون وAlibaba، تتحرك مئات من الروبوتات الموجهة آليًا (AGVs) على الأرض لتنفيذ مهام نقل البضائع للموظفين أو لخطوط التغليف. هذه الروبوتات مزودة بمستشعرات حركة وتواصل لاسلكي فيما بينها ومع نظام إدارة المستودع لضمان التنسيق وتجنب التصادم .والنتيجة هي تسريع هائل لعمليات مناولة البضائع وتقليل جهد العامل البشري في البحث والمشي داخل المستودع. فعلى سبيل المثال، استعانت Alibaba في أحد مراكزها بحوالي 700 روبوت AGV تعمل بتقنيات IoT لتتبع مساراتها ومنع التصادم؛ مما قلّل متوسط خطوات المشي للموظفين بنحو 50 ألف خطوة يوميًا وزاد كفاءة العمل 30% .أما شركة أمازون فطبّقت نظامًا روبوتيًا) مثل ذراع Sequoia وغيرها (أدى إلى تسريع عمليات تخزين وجرد المخزون بنسبة تصل إلى 75% بالمقارنة بالأساليب التقليدية .يُبرز هذا كيف يُمكن للدمج بين IoT والروبوتات أن يحسّن سرعة ودقة التخزين بشكل غير مسبوق.

✓ **في التوزيع والخدمات اللوجستية للوجهة الأخيرة(Distribution & Last-Mile Delivery)**

يمتد تأثير إنترنت الأشياء إلى شبكات التوزيع ونقل المنتجات من مراكز التخزين إلى العملاء (الوجهة الأخيرة). أحد أهم تطبيقاته هنا هو التتبع الآني للمركبات أثناء مرحلة التوزيع المحلي. تستطيع أنظمة IoT تزويد المشرفين بموقع كل مركبة توصيل في المدينة في الزمن الحقيقي .هذا يعني إمكانية إعادة جدولة عمليات التسليم بمرونة: فإذا طرأ طلب عاجل أو إلغاء لدى عميل، يمكن لمسؤول التوزيع أن يجد أقرب مركبة ويوجهها فورًا للتعامل مع الموقف. هذه المرونة في التسليم – أو ما يسمى نظم التسليم المرن – تعتمد كليًا على توافر بيانات آنية دقيقة عن أسطول التوزيع. وقد بدأت شركات النقل السريع اعتماد لوحات تحكم لحظية تعرض مواقع الدراجات النارية والشاحنات الخفيفة، مما يتيح تعديل خطط التسليم خلال اليوم وفقًا للظروف.كما يظهر IoT بوضوح في حلول التوصيل المبتكرة التي برزت مؤخرًا. على سبيل المثال، يجري اختبار الطائرات المُسيَّرة (Drones) والمركبات الذاتية القيادة في توصيل الطرود الصغيرة ضمن المناطق الحضرية المزدحمة .تعتمد هذه الحلول على شبكة من أجهزة الاستشعار (للملاحة وتجنب العوائق) واتصال مستمر بالإنترنت لتلقّي تعليمات التوصيل ومشاركة موقعها. ومع أن هذه التقنيات لا تزال في مراحلها الأولى، إلا أنها تعد بتبسيط عمليات التوصيل وخفض تكلفتها في المستقبل، خاصة للمناطق التي يصعب على الشاحنات الوصول إليها. مثال آخر هو الخزائن الذكية المنتشرة في مواقع استراتيجية داخل المدن، حيث يمكن لعامل التوصيل فتح خزانة معينة عبر اتصال IoT ووضع الطرد بها ليأتي الزبون لاستلامه .هذه الخزائن مجهزة بحساسات تمكنها من إعلام العميل فور وضع الطرد، كما تضمن أمان عملية التسليم دون الحاجة لتواجد المستلم شخصيًا في وقت معين. هكذا توفر الخزائن مرونة في الاستلام للعملاء وتخفف العبء عن شركات التوصيل في إعادة المحاولات عند غياب العملاء.

إلى جانب ذلك، تسهم المنصات السحابية اللوجستية المبنية على IoT في تحقيق تواصل محكم بين كافة الأطراف أثناء التوزيع. فالشركة وشركاؤها والعملاء جميعًا يمكنهم الوصول إلى معلومات التتبع آنيا عبر تطبيقات أو مواقع إلكترونية. هذا الشفافية تُحسّن تجربة العميل بشكل كبير؛ إذ بات بوسع العميل تتبع سيارة التوصيل على الخريطة ومعرفة الوقت المتوقع للوصول بدقة، مما يعزز الثقة ويرفع مستوى الرضا .من جهة المشغّلين، يساعد التتبع الآني في تجنب حالات الفشل في التسليم (Missed ETAs)عبر إجراءات استباقية – كالاتصال بالعميل للتنسيق – وبالتالي تقليل نسبة الطرود المرتجعة أو المتأخرة. وتشير دراسات إلى أن أنظمة التتبع الفوري قلّصت معدلات التأخير في التسليم بحوالي 25% عبر تحديد المشاكل مبكرًا ومعالجتها، وهذا تحسن ملموس يعني وصول الطرود أسرع وبتوقيتات أكثر دقة.

ومن التطورات اللافتة أيضا استخدام تقنيات الواقع المعزز (AR) في مراكز الفرز والتوزيع. يتم تزويد العمال بنظارات AR متصلة بالإنترنت لتقديم تعليمات فورية حول الفرز أو الوجهة المناسبة لكل طرد أثناء مسح رمزه، مما يرفع سرعة ودقة التوزيع .ويمكن اعتبار هذه النظارات والهواتف المتصلة امتدادًا لتقنيات IoT لأنها تتفاعل مع البيانات المجمعة لحظيًا لتوجيه الموظفين بفعالية.

✓ **في سلاسل التوريد الصناعية والصيانة التنبؤية(Industrial Supply Chains)**

في البيئة الصناعية والإنتاجية، يلعب إنترنت الأشياء دور البنية التحتية لـ"المصنع الذكي" وسلسلة التوريد الصناعية المتصلة. يتم توصيل المعدات والآلات في خطوط الإنتاج بحساسات تراقب حالتها التشغيلية بشكل مستمر، مثل قياس الاهتزاز ودرجات الحرارة وضغط الزيت في الماكينات الثقيلة. هذه البيانات المستمرة تمكن من تطبيق مفهوم الصيانة التنبؤية: فبدلًا من

الانتظار حتى يتعطل الجهاز أو الالتزام بجداول صيانة ثابتة، يقوم النظام بتحليل أنماط أداء الآلة والتنبؤ بموعد حدوث العطل قبل وقوعه فعليًا .على سبيل المثال، إذا بدأت آلة ما تُظهر ارتفاعًا طفيفًا في الاهتزاز عن المعدل الطبيعي، ترسل المستشعرات هذه القراءات إلى منصة تحليلية تستخدم خوارزميات تعلم آلي للتنبؤ بأن هذا الاهتزاز مؤشر على حاجة محمل (Bearing)معين للتغيير قريبًا. وبناءً على ذلك يتم جدولة صيانة استباقية في الوقت المناسب. هذا الأسلوب أدى وفق دراسات صناعية إلى خفض زمن توقف الآلات غير المخطط له بنسبة تتراوح بين 30% و50% في بعض القطاعات، فضلًا عن تحقيق وفورات تصل إلى 25% في تكاليف الصيانة وقطع الغيار من خلال تفادي الأعطال الكبيرة .ومن الأمثلة الواقعية، تمكنت شركة مكدونالد (Nestlé) للأغذية من استخدام مستشعرات IoT عبر مصانعها للتنبؤ بالأعطال، مما ساهم في خفض الأعطال المفاجئة ورفع موثوقية خطوط الإنتاج .

كما تستخدم شركات الصناعات التحويلية IoT في تتبع المواد الخام والمخزون في المصانع. توضع رقاقات RFID على مكونات التصنيع والمواد الخام لتتبع حركتها من المخازن إلى خطوط الإنتاج. هذا يحقق رؤية متكاملة للمخزون في الوقت الحقيقي ويمنع توقف الإنتاج بسبب نقص مفاجئ في مادة معينة. فعلى سبيل المثال، عندما ينخفض مستوى مخزون أحد المكونات في الموقع الإنتاجي إلى تحت حد معين، يمكن للنظام طلب المزيد تلقائيًا أو تنبيه قسم المشتريات. أتمتة سلسلة التوريد الداخلية بهذا الشكل تعزز مفهوم التصنيع في الوقت المناسب(JIT) ، فتتجنب تكدس المخزون وتوقف الخطوط معًا.

إلى جانب ذلك، تساعد تقنيات IoT في مراقبة أداء الأصول الصناعية الثقيلة (كالأوناش والرافعات وسيور النقل) لضمان السلامة الصناعية. فحساسات الإجهاد والوزن يمكنها تنبيه المهندسين إذا كان رافعة تحمل وزنًا زائدًا عن الحد أو إذا كان سير النقل يعمل خارج نطاق الحمولة الآمنة. هذا يسمح بتلافي الحوادث قبل حدوثها ويؤمن بيئة عمل أكثر أمانًا. أيضًا، الكاميرات الذكية المتصلة بالشبكة باتت تُستعمل لفحص جودة المنتجات على خطوط التجميع باستخدام رؤية حاسوبية متقدمة) نوع من IoT مع (AI) ، مثلما فعلت شركة BMW حيث وظفت كاميرات مدعومة بذكاء اصطناعي لاكتشاف العيوب في سياراتها فورًا أثناء التصنيع.

مثال آخر ضمن سلاسل التوريد الصناعية هو ما قامت به شركة Tesla في مصانعها المتقدمة؛ فقد زرعت الآلاف من الحساسات في خطوط الإنتاج لمراقبة أداء كل محطة عمل وآلة بشكل لحظي .ويتم بث هذه القراءات إلى نظام تحليلات مركزي يوفّر للإدارة لوحة تحكم آنية حول كفاءة المصنع. ساعد ذلك Tesla في رفع جودة الإنتاج ومعدل خروج السيارات من خطوطها لتصبح من بين الأعلى في صناعة السيارات الكهربائية .كما أن سيارات Tesla نفسها هي أجهزة IoT متنقلة، حيث تجمع بيانات عن أدائها وترسلها سحابيًا لتحليلها، ما يمكّن الشركة من اكتشاف أي مشاكل في دفعات الإنتاج وإرسال تحديثات برمجية (OTA)لحلها سريعًا. هذا التكامل بين IoT في التصنيع والمنتج النهائي يبرز القوة الكامنة في الترابط الرقمي عبر سلسلة القيمة الصناعية بأكملها.

- ✓ **في التجارة الإلكترونية وسلاسل الإمداد الموجهة للعميل(E-Commerce Logistics)**

أحدث النمو الهائل للتجارة الإلكترونية تحديات وفرصًا خاصة في مجال اللوجستيات. يلعب إنترنت الأشياء دورًا أساسيًا في تمكين سرعة ومرونة سلاسل الإمداد للتجارة الإلكترونية لضمان تلبية توقعات العملاء الحديثين (كالتوصيل في نفس اليوم أو خلال 24 ساعة). أحد أبرز التطبيقات هنا هو تحسين تجربة العميل أثناء انتظار الشحنة. حيث توفر شركات التجارة الإلكترونية) مثل Amazon وعلي بابا (خاصية التتبع اللحظي للطلبات بفضل بيانات IoT المجمعة من أساطيل التوصيل

والمستودعات. بات بإمكان العميل الآن معرفة بالضبط أين وصل طلبه والوقت المتوقع لوصوله، مما يقلل حالة عدم اليقين ويزيد ثقة العملاء في الخدمة .هذا المستوى من الشفافية لم يكن ممكنًا قبل عصر إنترنت الأشياء، وهو الآن معيار أساسي يتوقعه المتسوقون عبر الإنترنت.

داخل مراكز تلبية طلبات التجارة الإلكترونية(Fulfillment Centers) ، يعتمد تحقيق التوصيل السريع على تشغيل آلي مكثف مدعوم بالـ .IoTفهذه المراكز تتعامل مع آلاف الطلبات في الساعة، واستخدام التقنيات التقليدية كان سيحدّ من سرعتها. أما مع انتشار الروبوتات وأنظمة الفرز الذكية المتصلة، أصبحت معظم العمليات آلية تقريبًا. على سبيل المثال، تدير Cainiao)الذراع اللوجستي لمجموعة (Alibaba مستودعات ضخمة مزودة بروبوتات تتولى 70% من العمل تلقائيًا من فرز وتعبئة ونقل

.هذه الروبوتات والمعدات تتواصل باستمرار عبر شبكة IoT مع نظام إدارة المخازن، مما يختزل الزمن اللازم لتجهيز الطلب ويضمن دقة التنفيذ. ونتيجةً لذلك استطاعت Alibaba التعامل مع أرقام مذهلة خلال مهرجانات التسوق. فقد تمكنت خلال يوم العزّاب 11.11 من عام واحد من معالجة 2.3 مليار طلب خلال 24 ساعة بفضل تحليلات تنبؤية لتخطيط المخزون مسبقًا وتقنيات IoT على طول سلسلة الشحن من المستودع إلى الزبون .أسهم ذلك في تقليل زمن التسليم بشكل ملحوظ رغم الحجم الضخم للطلبات.

كذلك ساعد IoT شركات التجارة الإلكترونية على تحسين عمليات "الميل الأوسط" و"الأخير". فمثلاً، تستخدم أمازون خوارزميات توجيه ذكية تعتمد على بيانات آنية (حالة المرور، كثافة الطلبات في كل منطقة) لتوزيع شحناتها بكفاءة على مراكز التوزيع المحلية وشبكات السائقين المستقلين .(Amazon Flex) ويتم تحديث خطط التوصيل خلال اليوم وفقًا للتغيرات بفضل اتصال جميع العناصر بالمنصة السحابية. كما نفذت أمازون خدمة التسليم داخل المنزل (Amazon Key) التي تتيح لعمال التوصيل فتح باب منزل العميل عبر قفل ذكي متصل بالإنترنت لوضع الطرد بأمان عند عدم تواجد العميل – تطبيق آخر يجمع بين IoT (أقفال ذكية وكاميرات مراقبة متصلة) وخدمات لوجستية مبتكرة لتحسين تجربة العميل.

ولا يقتصر الأمر على التوصيل، بل يمتد أيضًا إلى خدمة ما بعد البيع والتفاعلات الذكية. فبعض الأجهزة المنزلية (كآلات القهوة الذكية أو الطابعات المتصلة) أصبحت قادرة على طلب المستلزمات تلقائيًا عبر الإنترنت عندما توشك على النفاد (مثل كبسولات القهوة أو حبّر الطابعة)، وذلك باستخدام خدمات إنترنت الأشياء المرتبطة بأنظمة مزودي هذه المواد. هذا الربط بين أجهزة المستهلك وإنترنت الأشياء ومنصات التجارة الإلكترونية يخلق تجربة سلسة حيث تتم تلبية احتياجات العميل تلقائيًا دون جهد منه. ورغم أن هذه الممارسات لا تزال ناشئة، إلا أنها تعطي لمحة عن المستقبل حيث يتكامل IoT بعمق مع تجارب التجارة الإلكترونية لتصبح أكثر خصوصية واستباقية في خدمة العميل.

بشكل عام، مكّن إنترنت الأشياء قطاع التجارة الإلكترونية من بناء سلاسل إمداد عالية الكفاءة والاستجابة قادرة على التعامل مع أحجام الطلبات الهائلة وضغوط سرعة التسليم، مع المحافظة على جودة الخدمة وتجربة العميل الممتازة. ومع ازدياد توقعات العملاء اليوم بالشفافية والسرعة، أصبح استخدام IoT ضرورة استراتيجية لتلبية هذه التوقعات والحفاظ على الميزة التنافسية في سوق التجارة الإلكترونية.

.

❖ أدوات ومنصات إنترنت الأشياء المستخدمة في اللوجستيات

تعتمد تطبيقات إنترنت الأشياء في المجالات السابقة على منظومة من الأدوات والمنصات التقنية التي تجعل الاتصال وجمع البيانات والتحليل ممكنًا. وفيما يلي نظرة على أهم تلك الأدوات والتقنيات المستخدمة في القطاع اللوجستي:

- ✓ **حساسات متنوعة (Sensors):** وتشمل الحساسات البيئية (لقياس الحرارة والرطوبة والضوء داخل المخازن أو الحاويات) وحساسات الموقع والسرعة) مثل وحدات (GPS وحساسات الحالة التشغيلية (كالاهتزاز والضغط في الآلات). هذه المستشعرات تمثل مصدر البيانات الخام لمنظومة الـIoTاللوجستية، وتكمن أهميتها في قدرتها على رقمنة الحالة الفيزيائية للعناصر اللوجستية باستمرار. على سبيل المثال، حساس حرارة في شاحنة مبردة يرسل بيانات آنية إلى السحابة حول درجة الحرارة داخل مقطورة الشحن، لتنبيه المشغل إذا ارتفعت فوق الحد المسموح لحماية الشحنة .كذلك حساسات التسارع والجيروسكوب في المركبات ترصد أسلوب قيادة السائق (من تسارع وكبح وانعطاف) لتحسين السلامة والاقتصاد في الوقود .بدون هذه الحساسات يفقد النظام "حواسه" ولا يستطيع فهم ما يحدث ميدانيًا، لذا فهي حجر الزاوية في كل تطبيقاتIoT.
- ✓ **معرّفات التردد الراديوي (RFID):** وهي رقاقات إلكترونية صغيرة يمكن لصقها على الطرود والوحدات المخزنية، وتُقرأ عن بعد عبر قارئات خاصة باستخدام موجات الراديو. تسمح RFID بتعريف وتتبع العناصر تلقائيًا بدون تدخل بشري أو رؤية مباشرة، ما يجعلها مثالية للمخازن ومحطات العبور المزدحمة .فبمجرد مرور صناديق المنتجات عبر بوابة المستودع المزوّدة بقارئRFID ، يتم تسجيل دخولها أو خروجها آليًا في نظام المخزون. تستخدم كبرى الشركات اللوجستية هذه التقنية للتعامل مع ملايين الطرود يوميًا بكفاءة. على سبيل المثال، اعتمدت Cainiao (لوجستيات علي بابا) على ملصقات شحن إلكترونية) شكل من (RFID توفر شفافية كاملة في الوقت الحقيقي عبر سلسلة الشحن، بل ومكّنتها من تسريع إجراءات الجمارك رقميًا والتعرف الفوري على أي شحنة وتأريخ رحلتها .تكنولوجيا RFIDقلّلت بشكل كبير من الأخطاء البشرية في إدخال البيانات ومن فقدان الشحنات، وساهمت في تسريع عمليات الفرز خاصة في مواسم الذروة.
- ✓ **أجهزة و أنظمة تحديد الموقع (GPS & Telematics)** توفر أجهزة GPS المثبتة على المركبات أو حتى الطرود بيانات الموقع الجغرافي الدقيقة لحظة بلحظة .إلى جانبها، تتضمن أنظمة التليماتيك (Telematics) في الشاحنات وحدات اتصال خلوية تنقل معلومات أوسع (مثل سرعة المركبة واتجاهها وتشخيص أعطال المحرك) إلى منصة مركزية. هذه الأدوات هي التي تجعل التتبع اللحظي للطرود والمركبات ممكنًا، وتتيح مثلاً للعملاء معرفة الوقت المقدر لوصول طردهم بدقة. كما أنها العمود الفقري لأنظمة إدارة الأساطيل التي تعرض خريطة حية لكافة المركبات

بعض التقنيات الأخرى مثل البلوتوث منخفض الطاقة (BLE) وشبكات تحديد الموقع الداخلية تُستخدم أيضًا لتعقّب الأصول داخل المراكز اللوجستية حيث لا يصل GPS (مثال: نظام تحديد الموقع داخل المستودع لتتبع أدوات النقل الآلي). إن توفر هذه التقنيات يعني عدم وجود نقطة عمياء في رحلة البضاعة، سواء داخل منشأة أو عبر القارات.

- ✓ **المنصات السحابية و إنترنت الأشياء الصناعية (IoT Platforms & Cloud):** وهي برمجيات البنية التحتية التي تستقبل تدفقات البيانات الضخمة من المستشعرات والأجهزة، وتقوم بتخزينها وتحليلها وعرضها للمستخدمين .توفر الشركات الكبرى مثل أمازون (AWS IoT) ومايكروسوفت (Azure IoT) ومنصات أخرى خدمات سحابية متكاملة

لإدارة أساطيل أجهزة الـIoT، بدءًا من الاتصال الآمن، مرورًا بقاعدة البيانات الضخمة، إلى أدوات تحليلات البيانات ولوحات التحكم المرئية. هذه المنصات تدعم تكامل بيانات المستودعات مع بيانات النقل مع بيانات سلاسل التوريد في نظام واحد موحد. مثلاً، منصة Captain Peter من Maersk تربط كل حساسات حاويات الشحن المبردة الخاصة بها بالسحابة لتعرض لعملائها لوحة تحكم كاملة لحالة شحناتهم (درجة الحرارة، الموقع، مستوى الرطوبة) أثناء الإبحار .كما تسمح السحابة بتطبيق خوارزميات معقدة على البيانات (مثل توقع أوقات الوصول بناءً على بيانات حية، أو كشف الانحرافات عبر تعلم الآلة) وإرسال النتائج إلى المعنيين بسرعة. بدون البنية السحابية، سيكون مستحيلًا التعامل مع ملايين الرسائل في الدقيقة التي تولّدها أجهزة الاستشعار الحديثة.

✓ **تحليلات البيانات والذكاء الاصطناعي(Analytics & AI):**

بمجرد توفر البيانات على السحابة، يأتي دور برمجيات التحليل التي تمثل العقل المفكر في المنظومة .تستخدم خوارزميات تعلم الآلة ونماذج الذكاء الاصطناعي لتحويل سيل البيانات هذا إلى رؤى قابلة للتنفيذ. على سبيل المثال، تحلل خوارزميات التعلم الآلي بيانات الموقع والتاريخ لحركة أسطول ما لتحديد الأنماط المثلى، فتخرج بتوصيات لتحسين الجدولة وتقليل الأميال المهدورة. وكذلك تستغل خوارزميات السلاسل الزمنية بيانات المخزون عبر المواسم للتنبؤ بالطلب المستقبلي ومساعدة قسم التخطيط على تحديد مستويات التخزين الملائمة. إحدى الإحصائيات تفيد أن التحليلات المدعومة بـ AIيمكنها تحسين دقة التنبؤ بالطلب بنحو 50% في اللوجستيات، ما يعني مخزونًا أقل بدون خسارة مبيعات. وأيضًا، أثبت الذكاء الاصطناعي فعاليته في تحسين جداول الصيانة: فهو يستطيع عبر تحليل بيانات الاستشعار التنبؤ بدقة أكبر بمواعيد الأعطال مقارنة بالطرق التقليدية، مما يساعد على تجنب الأعطال بحوالي 70% في بعض الحالات وفق دراسات معروفة .هكذا يصبح AI بمثابة العقل التحليلي القادر على اتخاذ قرارات آنية أو دعم صانعي القرار بمعلومات موضوعية. وجدير بالذكر أن الكثير من مزودي حلول الـ IoTاصاروا يدمجون قدرات AI مباشرة في منصاتهم، حتى برز مصطلح "الذكاء الاصطناعي للأشياء (AIoT) "الذي يجمع بين التقنيتين لتحقيق أقصى قيمة ممكنة من البيانات.

المنصات المتخصصة والتقنيات الداعمة: إلى جانب ما سبق، هناك أدوات مساندة أخرى مثل منصات إدارة الأجهزة الطرفية (Edge Computing)التي تعالج البيانات محليًا قرب موقع جمعها لتقليل زمن الاستجابة (مهم في حالات الوقت الحرج). أيضًا شبكات اتصالات النطاق الضيق (LPWAN) مثل LoRaWAN و (NB-IoTتستخدم لربط عدد هائل من أجهزة الاستشعار صغيرة البيانات على مساحات واسعة (كالمخازن الكبيرة أو عبر رحلة بحرية طويلة) بكلفة منخفضة. وكذلك تقنية البلوكشين بدأت تُستخدم لضمان موثوقية البيانات وسلامتها عبر المشاركين المختلفين في سلسلة الإمداد، إذ تتيح سجلًا غير قابل للتلاعب لتوثيق كل حدث (شحن، استلام، تغيير درجة حرارة) بشكل موزع .هذه التقنيات الداعمة قد لا يراها المستخدم النهائي مباشرة، لكنها تمكّن البنية التحتية وتسد الثغرات (كالأمان أو الانتشار) لجعل تطبيقات الـ IoTأكثر فعالية واعتمادية.

باختصار، منصة إنترنت الأشياء اللوجستية هي مزيج متناغم من عتاد (حساسات، أجهزة اتصال، روبوتات) وبرمجيات (سحابة، تحليلات، تكامل بيانات) تعمل معًا. نجاح أي مشروع IoT يعتمد على تكامل هذه المكونات بشكل صحيح لضمان تدفق سلس للبيانات من أرض الواقع إلى منصة القرارات، ثم ترجمة النتائج مرة أخرى إلى أفعال ميدانية (كتعديل مسار شاحنة أو إرسال تنبيه لفريق الصيانة). عندما تُدار هذه المنظومة المتكاملة بفاعلية، تكون المحصلة هي شبكة لوجستية ذاتية التعلم قادرة على التطور والتحسن باستمرار مع كل معلومة تجمعها.

❖ **أمثلة و اقعية: استخدام IoT في شركات عالمية رائدة**

لإيضاح أثر إنترنت الأشياء عمليًا، نستعرض أمثلة من شركات لوجستية وتصنيعية رائدة تبنت تقنيات IoT وحققت نتائج ملموسة:

✓ **Amazon(أمازون):**

تُعد أمازون من أوائل الشركات التي أحدثت ثورة رقمية في المخازن عبر استخدام إنترنت الأشياء والروبوتات. تمتلك أمازون اليوم ما يزيد عن 1 مليون روبوت في مراكز التنفيذ التابعة لها، تعمل جنبًا إلى جنب مع الموظفين. على سبيل المثال، نظام Amazon Robotics) المبني على استحواذهم لشركة (Kiva يتضمن روبوتات متنقلة تنقل الرفوف نحو العامل بدلاً من أن يمشي العامل إليها. هذا الابتكار المدعوم بأجهزة استشعار واتصال سحابي أدّى إلى زيادة سرعة معالجة الطلبات بشكل هائل؛ حيث كشفت أمازون أن أحد أنظمتها الروبوتية الجديدة (Sequoia) مكنها من تخزين وفرز المخزون أسرع بنسبة 75% مقارنةً بالسابق .كما أسهم استخدام IoT في تسريع تسليم الطرود للعملاء، إذ تهدف الشركة إلى إيصال الطلبات في نفس اليوم في عدة مدن. تُوظّف أمازون أجهزة التتبع والمستشعرات في أسطول التوصيل الخاص بها لضمان أفضل المسارات وتجنب التأخير، مما يدعم تحقيق وعود مثل خدمة Prime للتوصيل خلال يوم أو يومين. والنتيجة النهائية هي زيادة كفاءة التشغيل بنحو 25% في مراكز التنفيذ وتحقيق وفر يصل إلى مليارات الدولارات بفضل الأتمتة، إلى جانب تحسين السلامة للعاملين عبر تقليل المهام اليدوية الخطرة .تجربة أمازون تبرز الفائدة المزدوجة لـ:IoT تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف من جهة، ورفع مستوى الخدمة للعملاء من جهة أخرى من خلال دقة وسرعة غير مسبوقتين.

✓ **DHL(دي إتش إل):**

كونها من أكبر شركات الخدمات اللوجستية عالميًا، استثمرت DHL بكثافة في تقنيات إنترنت الأشياء لتحسين عملياتها في النقل والتخزين. اعتمدت الشركة حلول تتبع ذكية مزودة بحساسات الموقع ودرجة الحرارة في خدمات الشحن للحفاظ على سلامة المواد الحساسة (مثل الأدوية والأطعمة) أثناء النقل .كما نفّذت DHL مشاريع رائدة مثل مشروع "الشاحنة الذكية" الذي جُهزت فيه شاحنات التوصيل بحساسات وجهاز GPS وأنظمة ذكاء لتجميع البيانات عن الطرق وحالة المرور. إحدى نتائج هذا المشروع كانت تحسين الالتزام بمواعيد التسليم وتقليل وقت الرحلات من خلال التوجيه الديناميكي استنادًا لتلك البيانات. على صعيد المستودعات، أقامت DHL مستودعات تجريبية مزودة بتقنيات RFID والواقع المعزز لتحسين عمليات الفرز وجمع الطلبات، وقد سجّلت هذه المستودعات زيادة دقة تنفيذ الطلبات إلى حوالي 95% وتقليص الأخطاء البشرية بشكل كبير.

لم تتوقف جهود DHL عند الداخل؛ فقد تعاونت مع شركات تقنية (مثل سيسكو) في دراسة تأثير IoT على اللوجستيات وتوقعت في إحدى دراساتها الشهيرة عام 2015 أن قيمة الفرص الناتجة عن IoT في القطاع قد تصل إلى 1.9 تريليون دولار عالميًا .اليوم، تستمر DHL بتوسيع نطاق استخدامIoT ، خاصةً في تعقب الشحنات الدولية باستخدام أجهزة استشعار متصلة تعطي العملاء تحديثات فورية عبر تطبيقات الهاتف – ما يحسن الشفافية ويرفع رضا العملاء. نجاحات DHL تظهر أن حتى شركات الخدمات اللوجستية التقليدية تستطيع التحول رقمياً وتحقيق نتائج نوعية: كخفض التكاليف وتحسين الكفاءة التشغيلية وحتى استحداث خدمات جديدة مبنية على البيانات (مثل التتبع الفوري، والخدمات اللوجستية الاستباقية).

✓ **Maersk(ميرسك):**

أكبر شركة شحن حاويات في العالم تبنت إنترنت الأشياء لتحسين عمليات نقل الحاويات عبر البحار. واجهت Maersk تحديًا في مراقبة حالة مئات الآلاف من الحاويات المبردة (Reefers) التي تنقل بضائع حساسة كالأغذية والأدوية عبر المحيطات. الحل كان في تطوير نظام الإدارة عن بُعد للحاويات المبردة (RCM) المجهز بأجهزة IoT. قامت ميرسك بتركيب أجهزة استشعار واتصال على جميع حاوياتها المبردة (~270 ألف حاوية) بحيث تبث باستمرار بيانات عن درجة الحرارة والرطوبة ومستوى ثاني أكسيد الكربون داخل الحاوية إلى منصة سحابية. هذا وفر شفافية غير مسبوقة "داخل الصندوق" حتى عندما تكون الحاوية في عرض البحر. عبر منصة "Captain Peter" التابعة لميرسك، يمكن للعملاء وفرق العمليات الاطلاع لحظيًا على هذه القراءات وعلى الموقع الجغرافي للحاوية ومسار رحلتها. وقد حقق ذلك فوائد ملموسة: فنيًا، استطاعت فرق ميرسك التعرف الفوري على أي مشكلة في نظام التبريد والتدخل السريع (مثل إرسال تعليمات ضبط عن بعد أو تنبيه أقرب ميناء لخدمة الصيانة)، ما أدى إلى حل الأعطال فورًا ومنع تلف البضائع. كما مكن النظام الشركة من إجراء صيانة وقائية باستبدال أجزاء بدأ يظهر منها قراءات غير مستقرة قبل أن تتعطل كلياً. أما الزبائن فتمتعوا برؤية كاملة لشحناتهم طيلة الرحلة مع معلومات دقيقة عن وقت الوصول المتوقع، مما زاد الثقة وقلل من المخاطر. علاوة على ذلك، تشير تقديرات ميرسك إلى أن اعتماد أتمتة مدعومة بـ IoT في العمليات يمكن أن يحسّن الأداء الكلي بنسبة 10-20% في المدى القصير، وحتى 40% خلال بضع سنوات – وهذا انعكاس هائل على صناعة تقليدية كالشحن البحري. تجربة ميرسك تبين كيف يمكن لتقنيات IoT رفع مستوى الضبط والجودة في سلاسل الإمداد العالمية حتى في البيئات المعقدة كالمحيطات.

✓ **Alibaba علي بابا-Cainiao :**

تعتبر Cainiao شبكة لوجستية ذكية تدير معظم شحنات التجارة الإلكترونية لمجموعة Alibaba وغيرها. اعتمدت Cainiao استراتيجية شاملة للتحول الرقمي جعلتها مثالًا يُحتذى في دمج IoT والذكاء الاصطناعي في كل جوانب عملياتها. فعلى صعيد المستودعات، طورت Cainiao مستودعات آلية ضخمة في الصين مثل مركز "المستقبل" في مدينة ووشي، حيث يعمل نحو 700 روبوت ذاتي التوجيه (AGV) بوتيرة عالية. تقوم هذه الروبوتات المتصلة بإنترنت الأشياء بنقل الطرود داخل المستودع وتسليمها لموظفي شركات الشحن عند بوابات الخروج. وقد أدى ذلك إلى تخفيض عبء العمل البدني عن الموظفين (50 ألف خطوة أقل يوميًا لكل عامل) وزيادة كفاءة مناولة البضائع بنسبة 30 %. على نطاق شبكة التوزيع، تكاملت Cainiao مع آلاف الشركاء وشركات التوصيل عبر منصة بيانات مفتوحة تربط بين الجميع. هذه المنصة تجمع بيانات كل الأطراف (مخزون التجار، مركبات شركات التوصيل، محطات الاستلام...) وتستخدم خوارزميات IoT لتحسين خيار الشحن والمسار الأمثل لكل طلب بشكل آلي. النتيجة هي تقديم خيارات تسليم أكثر سرعة وأقل تكلفة للتجار والعملاء بناءً على البيانات الفعلية. مثال يوضح ذلك: خلال يوم العزّاب 2019 و2020 (أكبر حدث تسوق بالعالم)، تمكنت Cainiao من تسليم مليارات الطرود في وقت قياسي عبر تخزين مسبق للبضائع المتوقعة قرب العملاء) بناءً على توقعات (AI واستخدام نظام Apollo اللوجستي لتحسين الفرز، مما زاد طاقة معالجة الطرود 10 أضعاف ورفع دقة التسليم 50% وخفض التكلفة 10% عبر تقسيم الطلبات ومسارات التوصيل الذكية. إضافة لذلك، طبقت Cainiao نظام المراقبة بالفيديو السحابي "Sky Eye" المبني على إنترنت الأشياء لمراقبة المراكز اللوجستية والتوصيل الأخير، والذي يقوم بكشف الموارد المهدرة أو الاختناقات فورًا وإبلاغ المدراء لاتخاذ إجراء. **هذا** ساهم في تحسين الرؤية التشغيلية ومعالجة المشاكل آنيا. نموذج Cainiao يظهر كيف يمكن بناء شبكة لوجستية وطنية/عالمية قائمة على البيانات، استطاعت تلبية طفرات الطلب الهائلة للتجارة الإلكترونية في الصين مع إبقاء رضا العملاء عاليًا، بل

والتوسع لتخديم عشرات الدول الأخرى بسرعة. يمثل IoT العمود الفقري لهذه الشبكة، حيث يربط بين الملايين من الطرود ومئات الآلاف من المركبات والآلاف من المواقع في منظومة واحدة ذكية وقابلة للتوسع.

✓ **Tesla(تسلا):**

بجانب كونها شركة سيارات كهربائية رائدة، تعد تسلا مثالًا على توظيف IoT في التصنيع الذكي وسلسلة الإمداد. تُلقب مصانع Teslaبـ"المصنع الجامح "(Gigafactory) لما تحتويه من مستويات أتمتة عالية وتقنيات متقدمة. زرعت Tesla آلاف المستشعرات في مصانع البطاريات وتجميع السيارات لقياس كل شيء: من درجات حرارة خطوط الإنتاج إلى سرعة آلات الربط والقطع وحتى مستويات مخزون القطع في الوقت الحقيقي .تجمع هذه المستشعرات سيلاً من البيانات وترسله إلى منصة ذكاء اصطناعي تشغيلية تقوم بتحليل الأداء والكشف التلقائي لأي اختناق أو عطل. وفعلاً، نجحت تسلا عبر هذه المنظومة في رفع وقت الجهوزية لخطوطها الإنتاجية وتقليل الأعطال المفاجئة التي عانت منها في بداياتها. كما مكّن IoT الشركة من تحسين جودة منتجاتها؛ فعلى سبيل المثال، تراقب مستشعرات عزم الشد في كل مفك براغي آلي أثناء التجميع لضمان أن كل برغي مشدود ضمن المواصفات بالضبط – أي انحراف يتم رصده وتوجيه تنبيه فوري للمشغل لإعادة المعايرة. هذا المستوى من الرقابة الحبيبية أدى إلى تقليل عيوب التصنيع وبالتالي خفض تكاليف الضمان وتحسين سمعة الجودة لسيارات تسلا. إضافة لذلك، تستفيد تسلا من بيانات إنترنت الأشياء من سياراتها على الطريق: فكل سيارة تسلا متصلة ترسل معلومات أداء البطارية والمحركات وأنظمة القيادة الذاتية إلى السحابة. هذه البيانات تساعد الشركة في إدارة سلسلة التوريد لقطع الغيار (كالبطاريات) عبر توقع معدلات استهلاكها والعمر الافتراضي بدقة. كما تستخدمها في تحسين التصميم المستقبلي (مثلاً تعديل تصميم البطارية بناءً على أنماط الاستخدام الفعلي). من جهة الخدمات اللوجستية، نفذت تسلا نظام تتبع متقدم لمكونات الإنتاج من الموردين العالميين إلى مصانعها، بحيث تعرف موقع كل شحنة من الخلايا أو أشباه الموصلات ومتى ستصل، مما سمح لها بإدارة أكثر رشاقة للمخزون وتقليل فترات الانتظار حتى في ظل نقص رقائق عالمي. إستراتيجية Tesla تظهر قوة دمج IoT عبر المزيج التصنيعي والتوريدي والتشغيلي: فالشركة التي أتقنت استخدام البيانات من مصانعها ومنتجاتها استطاعت تحقيق هامش ربحية رائد في الصناعة مع تسريع وتيرة الإنتاج السنوية، وهذا يعود جزئيًا إلى تحسينات الكفاءة وتقليل الهدر بفضل إنترنت الأشياء .ويُنظر إلى نهج تسلا كنموذج لما يمكن للصناعة 4.0 تحقيقه عندما تتبنى الشركات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي على نطاق واسع.

❖ **إحصائيات حديثة حول أثر الـ IoTفي كفاءة الشبكات اللوجستية**

تظهر الدراسات والأرقام الحديثة الدور المحوري لإنترنت الأشياء في تحسين الأداء وتقليل التكاليف في قطاع اللوجستيات وسلاسل الإمداد. فيما يلي بعض الإحصائيات الداعمة لهذا التأثير:

نمو سوق الـ IoTاللوجستي: بلغ حجم سوق إنترنت الأشياء في اللوجستيات حوالي $42 مليار دولار في 2023، ومن المتوقع أن يتجاوز $125 مليار بحلول 2031 مع معدل نمو سنوي مركب يقارب 12 –13 %هذا النمو السريع يعكس إقبال الصناعة على تبني حلول IoT كميزة تنافسية أساسية. وعلى مستوى سلاسل الإمداد عمومًا، يُقدر أن إنفاق القطاع على تقنيات IoT سيتضاعف عدة مرات في العقد الحالي، مما يعني أن الحصص الأكبر من الميزانيات التقنية تُوجّه الآن نحو مشاريع التحول الرقمي وإنترنت الأشياء .تحسين الكفاءة التشغيلية والأداء: تشير دراسات حديثة (لميرسك وغيرها) إلى أن اعتماد الأتمتة المعتمدة على IoT في اللوجستيات يمكن أن يؤدي إلى تحسين الأداء بنسبة 10-20% فور التطبيق، وصولاً إلى 30-40% خلال

بضع سنوات .هذه التحسينات الشاملة تشمل زيادة إنتاجية الأصول (المركبات والمستودعات) وتقليل الأوقات الضائعة ورفع معدل تسليم الطلبيات في الوقت المحدد. وتدعم بيانات شركة McKinsey هذا الاتجاه، حيث وجدت أن الشركات التي طبقت تقنيات متقدمة في سلاسل التوريد) تشمل IoT و (AIشهدت انخفاضًا في تكاليف اللوجستيات يقارب 15% وتحسنًا في مستويات خدمة العملاء بحوالي 35 .%هذا فارق تنافسي كبير في قطاع به هوامش ربحية ضيقة عادةً.

- ✓ **خفض التكاليف التشغيلية:**

أسهم إنترنت الأشياء في تقليل عدد من بنود التكاليف اللوجستية. فعلى سبيل المثال، الخوارزميات القائمة على بيانات IoT قلّصت استهلاك الوقود بنسبة 10-15% من خلال اختيار مسارات أكثر كفاءة وإلغاء التوقفات غير الضرورية .أيضًا الصيانة التنبؤية للمركبات والمعدات المدعومة بالـIoTخفضت تكاليف الصيانة الطارئة 15-25% عبر منع الأعطال الكبرى قبل وقوعها . وبينت إحدى الإحصائيات أن التحكم الآني في سلسلة التوريد بفضل IoT يمكن أن يحدّ من التكاليف اللوجستية الإجمالية (كنسبة من المبيعات) بمقدار 5 إلى 10 نقاط مئوية في قطاعات كالتجزئة والصناعات، عبر تقليل المخزون ومتطلبات التخزين وتحسين استخدام الأصول.

- ✓ **تسريع وتسليم الطلبيات:**

ساعد IoT في تحسين سرعة التسليم واحترام المواعيد. فمع التتبع بالزمن الحقيقي والتنبيه الاستباقي للمشكلات، انخفض متوسط التأخير في تسليم الشحنات بنحو 25% حسب إحدى الدراسات. وفي قطاع النقل السريع، أسهمت البيانات الآنية في زيادة نسبة التسليم في الوقت المحدد (OTIF) إلى مستويات تتجاوز 95% لدى المتبنين الأوائل. كما أظهر تحليل عالمي أن استخدام التحليلات التنبؤية قلّص زمن العبور الكلي في الشبكات المعقدة بنسبة تعادل يوم إلى يومين في المتوسط، عبر الاستجابة السريعة للأحداث غير المتوقعة (مثل تغيّر الطقس أو التأخيرات الجمركية) .هذه التحسينات في الزمن جوهرية لشركات الشحن والتجارة الإلكترونية التي تتنافس على توصيل أسرع.

- ✓ **تحسين دقة العمليات وتخفيض الأخطاء:**

أدت حلول IoT إلى تقليل الأخطاء البشرية والفاقد في العمليات اللوجستية. على سبيل المثال، أنظمة المخازن المؤتمتة بالحساسات رفعت دقة جرد المخزون وتتبع العناصر إلى ~99% بحيث أصبحت حالات فقدان المواد أو وضعها في غير مكانها نادرة .وكذلك أنظمة الفرز الآلي المدارة بالـIoTزادت دقة تنفيذ طلبات العملاء إلى 99.5% في بعض المستودعات، مقارنةً بحوالي 95% سابقًا .حتى في النقل، تم تسجيل انخفاض أخطاء التسليم (كالتسليم للعنوان الخطأ أو ضياع الطرد) بفضل التتبع الإلكتروني والتأكيد الرقمي لكل عملية تسليم. إضافة لذلك، مراقبة سلامة الشحنات عبر أجهزة IoT (كالكشف الفوري عن درجات الحرارة الشاذة) قلّل معدلات التلف في المنتجات الحساسة بنسبة تُقدّر بـ30-40% في سلاسل التبريد، مما يعني خسائر أقل وجودة أعلى وصلت بأمان. هذه الأرقام تعكس تحسينًا جوهريًا في الجودة وتقليل الهدر بفضل الرقابة الدقيقة والآلية.

فوائد خاصة بالأمان والسلامة: جانب آخر مهم تدعمه الإحصائيات هو تحسين السلامة. فمثلاً، أدت تقنيات مراقبة سلوك السائقين آنياً إلى تقليل الحوادث المرتبطة بالأساطيل بحوالي 20% وفق تقارير بعض شركات النقل، نتيجة تنبيه السائقين وتدريبهم بناءً على البيانات. أيضًا مستشعرات البيئة والعمال القابلة للارتداء في المخازن والمصانع خفّضت الحوادث والإصابات

(مثل حوادث الرافعات الشوكية أو التعرض لمواد خطرة) بنسب ملحوظة تصل إلى 50% في مواقع نفذتها بالكامل .هذا ليس توفيرًا ماليًا فحسب (في نفقات العلاج والتأمين) بل قيمة إنسانية ومعنوية مضافة للقوى العاملة.

تلخّص هذه الإحصاءات حقيقة واضحة: الاستثمار في إنترنت الأشياء يحقق عوائد كبيرة وملموسة في الكفاءة والفاعلية التشغيلية. فسواء نظرنا إلى المؤشرات المالية (تكلفة، إنتاجية) أو مؤشرات الأداء (الوقت، الدقة، السلامة)، نجد التحسن مزدوج الرقم غالبًا لصالح الشركات التي تبنّت IoT مقارنةً بمن تأخر عنها .ولم يعد الأمر مقتصرًا على التجارب المحدودة؛ بل أصبحت نتائج الـ IoTموثقة عبر قطاعات متعددة مما يفسر اتساع تبنيه كما رأينا في نمو السوق أعلاه.

❖ تحديات استخدام إنترنت الأشياء في اللوجستيات

رغم الفوائد الجلية لإنترنت الأشياء، إلا أن تطبيقه عمليًا لا يخلو من التحديات التي يجب إدارتها بحذر لضمان نجاح المبادرات. فيما يلي أبرز التحديات في قطاع اللوجستيات وكيفية التعامل معها:

✓ الأمن السيبر اني وحماية البيانات:

يتسبب انتشار أجهزة الـ IoTفي ظهور نقاط ضعف أمنية متعددة. فكل جهاز متصل هو منفذ محتمل للهجمات الإلكترونية. في اللوجستيات، قد تشمل المخاطر اعتراض بيانات حساسة (كبيانات مواقع الشحنات والعملاء) أو اختراق أنظمة التتبع والتشغيل. بالفعل، تخشى الشركات من عمليات القرصنة والتجسس الصناعي عبر هذه الأجهزة .أحد الأمثلة الواقعية كان اكتشاف محاولات لاختراق كاميرات وأجهزة استشعار في مخازن لتعطيلها أو سرقة معلومات المخزون. لذلك يتعين على الشركات تطبيق بروتوكولات أمن صارمة: كتشغيل برمجيات تشفير للبيانات المرسلة، والتحقق المستمر من هوية الأجهزة على الشبكة، وتحديث برمجياتها باستمرار لسد الثغرات .كما يظهر توجه نحو استخدام تقنية البلوكشين لضمان عدم إمكانية العبث بسجلات الشحن (كتأمين سجل درجات الحرارة لحاوية مبردة بحيث لا يستطيع أحد تزويره). من جانب آخر، هناك مسألة خصوصية البيانات، حيث ينبغي مراعاة قوانين حماية البيانات الشخصية خاصة عند مشاركة معلومات التتبع مع أطراف مختلفة أو جمع بيانات عن أداء السائقين. باختصار، الأمن السيبراني يمثل التحدي الأول والأكبر في تبنيIoT ، وفشله قد يقوض الثقة ويؤدي لخسائر جسيمة، لذا لابد أن يكون في مقدمة التخطيط لأي مشروع IoT.

✓ التكلفة والاستثمار الأولي:

يتطلب بناء بنية تحتية لإنترنت الأشياء استثمارات مالية كبيرة مقدمًا. فتركيب آلاف المستشعرات والأجهزة في أسطول أو مستودع، وربطها بأنظمة اتصال، وتطوير منصة سحابية وتحليلات، كلها نفقات قد تكون باهظة خصوصًا للشركات الصغيرة والمتوسطة .يضاف إلى ذلك تكلفة التدريب وتوظيف خبراء لإدارة هذه الأنظمة الجديدة. قد تواجه بعض الشركات صعوبة في تبرير العائد على الاستثمار (ROI) إذا كانت تنظر للأمر بالمدى القصير فقط. مثلًا، شراء أجهزة استشعار متطورة للمركبات مع عقد اتصال خلوي قد يبدو مكلفًا سنويًا مقارنة بتركيب النظام التقليدي. وللتغلب على ذلك، تنصح التجارب بأن تبدأ الشركات بمشاريع IoT تجريبية صغيرة تركز على جوانب ذات عائد سريع (مثلاً: البدء بنظام تتبع 50 شاحنة بدلاً من 500، أو بأتمتة قسم واحد في المستودع) .هذا يتيح رؤية المنافع وإثبات جدوى الاستثمار قبل التوسع الكامل. كما أن انخفاض أسعار المستشعرات تدريجيًا وإتاحة الخدمات السحابية عند الطلب (باي اشتراك شهري) يخففان من عبء التكلفة. ومع ذلك، يبقى

عائق التكلفة حقيقيًا وقد يؤجل بعض المشاريع الواعدة. لذا يعد التخطيط المالي والدعم الإداري من أعلى الهرم عوامل حاسمة لتجاوز هذا التحدي، إلى جانب التركيز على حساب المنافع (كالوفورات المتوقعة) بقدر التركيز على التكاليف.

✓ **التكامل مع الأنظمة القديمة(Legacy Integration) :**

معظم الشركات اللوجستية الكبيرة لديها بنية تقنية قديمة نسبياً) أنظمة إدارة مستودعات WMS أو نقل TMS تقليدية (يصعب ربطها بالتكنولوجيا الحديثة. يمثل توافق الأجهزة والبرمجيات المختلفة تحديًا هندسيًا كبيرًا؛ فمثلاً قد ينتج عن محاولة ربط مستشعرات حديثة بنظام تخطيط موارد قديم مشكلات في تبادل البيانات أو حتى أعطال في الأنظمة .الكثير من أجهزة IoTتستخدم بروتوكولات اتصال حديثة قد لا يدعمها النظام القديم، كما أن الكم الكبير من البيانات قد لا تستطيع قواعد البيانات القديمة استيعابه بكفاءة. وأيضًا، غالبًا ما تعمل أنظمة مختلف أقسام الشركة بشكل منعزل(Silos) ، مما يصعب خلق منصة IoT موحدة عبرها .هذا التحدي يمكن التغلب عليه عبر خطوات تدريجية ومدروسة:

مثل استخدام طبقات تكامل برمجية (Middleware) تكون وسيطًا بين الجديد والقديم، أو تحديث الأنظمة القديمة على مراحل. بعض الشركات تختار الحلول السحابية لأنها أسهل في التكامل من الأنظمة المنصبة محليًا. ومع توسعIoT ، برزت معايير صناعية تسهل التوافق) مثل معيار OPC-UA في المصانع لربط الحساسات بأنظمة التحكم .(ومع ذلك، يبقى تكامل IoT تحديًا تقنيًا وبشريًا أيضًا، حيث يحتاج مهندسون قادرون على فهم كلٍ من التقنيات القديمة والجديدة معًا. ينصح الخبراء بالتخطيط لمشاريع التكامل هذه بعناية ووضع فترة اختبار للتأكد أن الأنظمة القديمة يمكنها العمل بتناغم مع الإضافات الجديدة قبل التوسع .عدم الاهتمام بهذا الجانب قد يؤدي إلى إخفاق المشروع أو إهدار المنافع المحتملة.

✓ **التحديات التشغيلية الأخرى:**

بالإضافة إلى ما سبق، هناك تحديات أخرى مثل قابلية التوسع: نجاح مبادرة IoT تجريبية صغيرة لا يعني بالضرورة سهولة توسيعها إلى آلاف الأجهزة أو جميع الفروع .عند التوسع قد تظهر مشاكل في إدارة الشبكة أو انقطاعات الاتصال وتأخر البيانات، مما يتطلب بنية تحتية وشبكات أكثر متانة (مثل استخدام تقنيات 5 Gالتي توفر زمن استجابة منخفض وقدرة اتصال عدد هائل من الأجهزة .(أيضًا التعامل مع حجم البيانات الضخم تحدٍ بحد ذاته؛ فقطاع اللوجستيات قد ينتج تيرابايتات من البيانات يوميًا من المستشعرات، وينبغي وجود خطط لتخزين هذه البيانات وتحليلها بكفاءة، وإلا ستُهدَر إمكاناتها. تحدٍ آخر هو فجوة المهارات: قد لا يمتلك العاملون الحاليون (السائقون، موظفو المستودع، حتى مشغلو تكنولوجيا المعلومات) معرفة في تقنيات IoT وبيئة البيانات، مما يتطلب برامج تدريب شاملة ورفع وعي بثقافة التحول الرقمي .بدون ذلك قد يواجه المشروع مقاومة داخلية أو سوء استخدام للتكنولوجيا الجديدة. وأخيرًا هناك المخاوف التنظيمية والقانونية: كالتشريعات المتعلقة بخصوصية المواقع أو متطلبات الحصول على تراخيص لاستخدام ترددات اتصالات محددة للأجهزة. ينبغي أخذ هذه الأمور بالحسبان مبكرًا لضمان الامتثال القانوني وعدم التعرض لمشكلات مع الجهات التنظيمية أثناء أو بعد تنفيذ المشروع.

بالرغم من هذه التحديات، تُظهر التجارب أن فوائد IoT تتجاوز مخاطره عند التخطيط الجيد. السر يكمن في إدراك التحديات مسبقًا ووضع استراتيجيات لإدارتها: مثلا، تأمين قوي للبنية التحتية المعلوماتية، البدء على نطاق صغير، تحديث تدريجي للأنظمة القديمة، تدريب مستمر للموظفين، واختيار شركاء تقنيين موثوقين. بهذا النهج، تصبح العقبات مجرد محطات للتعلم في رحلة التحول الرقمي الناجحة.

❖ آفاق مستقبلية: تكامل الذكاء الاصطناعي و إنترنت الأشياء في سلاسل الإمداد

ينظر خبراء الصناعة إلى التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي (AI) باعتباره محرك الثورة القادمة في مجال اللوجستيات وسلاسل الإمداد. هذا التكامل – الذي يشار إليه أحيانًا بمصطلح "الذكاء الاصطناعي للأشياء – (AIoT) "يعد بتوسيع قدرات إنترنت الأشياء من مجرد الرصد والتتبع إلى مستويات متقدمة من الاستقلالية واتخاذ القرار الذكي.

IoTيجمع البيانات و AIيحولها إلى قرارات: يمكن تشبيه العلاقة بينهما بالجهاز العصبي للكائن الحي – حيث تعمل أجهزة IoT بمثابة الأعصاب الحسية التي تستشعر العالم الخارجي (حركة الشاحنات، حرارة المخزون، مستوى الطلبات الواردة...) بينما يقوم الذكاء الاصطناعي بدور العقل المفكر الذي يحلل هذه المدخلات الضخمة ويستنتج منها أنماطًا وتوقعات ويصدر توجيهات وإجراءات .هذا يعني أن الشركات ستحصل على قرارات أكثر دقة وسرعة دون تدخل بشري مستمر، مما يفتح الباب لسلاسل إمداد ذاتية التنظيم إلى حد كبير. فمثلًا، تخيّل نظامًا يراقب حالة المرور عبر مستشعرات IoT وكاميرات المدن، ويتوقع عبر AI حصول ازدحام بعد ساعتين على طريق معين – سيقوم النظام تلقائيًا بإعادة جدولة عشرات الشحنات التي كان من المقرر مرورها هناك، ويرسل تعليمات للسائقين بسلوك طرق بديلة قبل حصول الاختناق. أو نظام مخزون مدعم بالـAIيتابع مبيعات متجر إلكتروني وينبّه مستودعًا إقليميًا لشحن كميات إضافية من منتج ما إلى منطقة محددة قبل أن ينفد المخزون فيها بناءً على توقعات الطلب المحلي.

✓ سلاسل إمداد أكثر مرونة وتوقعًا للمستقبل:

بدمج IoT و AIيمكن لسلاسل الإمداد أن تتحول من نهج رد الفعل (التعامل مع المشاكل بعد وقوعها) إلى نهج استباقي بل وتنبؤي. فالذكاء الاصطناعي بارع في التعرف على الأنماط الخفية ضمن أطنان البيانات التي تجمعها أجهزة .IoT هذا سيمكنه من توقع الاختناقات قبل حدوثها؛ مثل التنبؤ بتأخر محتمل في ميناء شحن بسبب طقس سئ، أو توقع زيادة مفاجئة في الطلب على صنف معين بناءً على اتجاهات وسائل التواصل الاجتماعي. مثل هذه التوقعات ستمكّن مديري اللوجستيات من التخطيط المسبق: كتغيير مسارات السفن لتجنب إعصار، أو تعزيز مخزون منتج ساخن في مستودعات الأقرب للعملاء قبل بدء الطلب الكبير. لقد رأينا بدايات ذلك خلال جائحة كورونا، حيث استُخدمت خوارزميات AI لتحليل بيانات انتشار الفيروس وتوقع تأثيره على إغلاق الحدود، مما ساعد بعض الشركات على إعادة توجيه شحناتها بشكل استباقي. مستقبلاً، سيصبح التوقع والتحوط سمة أساسية للسلاسل الذكية، مما يزيد مرونتها في مواجهة التقلبات ويقلل من الهدر الناجم عن عدم اليقين.

✓ الأتمتة الكاملة والأنظمة ذاتية الإدارة:

مع نضوج تقنيات المركبات ذاتية القيادة والطائرات المسيّرة، من المتوقع أن نشهد اعتمادًا أوسع لها في اللوجستيات. هذه الوسائل بحد ذاتها تجمع بين IoT (كم هائل من المستشعرات على المركبة) و AI(خوارزميات الملاحة واتخاذ القرار). الشاحنات ذاتية القيادة قد تحدث ثورة في نقل البضائع على الطرق خلال العقد القادم، خاصة للمسافات الطويلة. ستتمكن هذه الشاحنات من التواصل مع بعضها ومع البنية التحتية (كالإشارات الذكية) لتشكيل ما يعرف بـ**"قوافل ذاتية"** تقلل استهلاك الوقود وترفع عوامل السلامة. كما أن الطائرات بدون طيار ستلعب دورًا أكبر في تسليم الميل الأخير بالمناطق الريفية أو توصيل المستلزمات الطبية الحرجة بسرعة في المدن .نجاح تطبيق هذه التقنيات على نطاق واسع يعتمد على نضج تكامل IoTو AIلضمان اتخاذ قرارات ملاحة آمنة وفعالة في الوقت الحقيقي. ولاحقًا، يمكن تخيل مراكز لوجستية مؤتمتة بالكامل تعمل 7/24 تقريبًا بلا تدخل بشري مباشر: روبوتات مخازن تستلم تعليمات AI من النظام المركزي، ومركبات توصيل ذاتية

تستلم الطرود وتنطلق، وكلها تتواصل مع بعضها بشكل متناغم. هذا قد يخفض التكاليف التشغيلية ويحل معضلة نقص العمالة في بعض الدول، لكنه بالطبع يتطلب بناء بنية تحتية رقمية عالية الاعتمادية والأمان.

✓ التوأمة الرقمية وسيناريوهات المحاكاة:

أحد المفاهيم المستقبلية التي ستبرز أكثر هو "التوأم الرقمي (Digital Twin) "لسلسلة الإمداد. وهو عبارة عن نموذج رقمي حي يمثل عناصر الشبكة الواقعية (مخازن، شاحنات، موانئ) ويتلقى تدفقات البيانات من الـ IoTليحاكي الحالة الفعلية بشكل مستمر. مع الذكاء الاصطناعي، يمكن استخدام هذا التوأم في محاكاة سيناريوهات واتخاذ قرارات محسّنة. على سبيل المثال، يمكن للتوأم الرقمي أن يختبر تأثير قرار ما (كإغلاق أحد المستودعات أو تغيير مورد) على الأداء قبل تنفيذه فعليًا، وذلك بفضل تمثيله الدقيق للواقع واتصاله اللحظي به. بدأت بعض الشركات الكبيرة بالفعل في بناء توائم رقمية لمراكز التوزيع لديها لدراسة تحسين التخطيط الداخلي وزيادة الإنتاجية قبل إجراء تغييرات مادية. مستقبلًا، سيكون من الشائع أن يدير الذكاء الاصطناعي غرف تحكم افتراضية لهذه التوائم ليجري تصحيحات ذاتية على خطة الإنتاج أو التوزيع إذا اكتشف أي انحرافات عن الهدف. هذا سيوفر قدرة غير مسبوقة على إدارة التعقيد في سلاسل الإمداد العالمية بطريقة مرنة وفورية.

✓ الاستدامة وتحسين الأثر البيئي:

سيساهم تكامل AI و IoTأيضًا في جعل سلاسل الإمداد أكثر استدامة. فالذكاء الاصطناعي يستطيع إيجاد حلول لتقليل البصمة الكربونية عبر تحليل بيانات IoT المتعلقة باستهلاك الوقود والطاقة. مثلاً، يمكنه اقتراح خطط شحن بديلة تجمع الشحنات بكفاءة أعلى (Load Optimization) لتخفيض عدد الرحلات الفارغة .أو إدارة ديناميكية لأساطيل الشاحنات الكهربائية بحيث يتم جدولة الشحن في أوقات الطاقات المتجددة أو أقل تسعيرة. بعض التقديرات تشير إلى أن التحسينات الرقمية قد تخفض الانبعاثات الكربونية للنقل البري بنسبة 5-10% إضافية عبر تخطيط أفضل وتقليل المسافات المقطوعة. أضف إلى ذلك أن الرؤية الشاملة التي يوفرها IoT تساعد الشركات على رصد الهدر (مثلاً أضواء مستودع تُترك تعمل دون داعٍ، أو تبريد زائد) ليقترح AI إجراءات لتقليله، مما يعود بالنفع البيئي والمادي معًا.

تحديات مستقبلية محتملة: مع هذا التقدم الكبير، ستظهر أيضًا تحديات جديدة. مثلًا، اتخاذ القرارات ذاتيًا عن طريق AI في سلاسل الإمداد يطرح تساؤلات حول المسؤولية القانونية لو حصل خطأ. أيضًا أمن الأنظمة المستقلة سيصبح أكثر حساسية – تخيل الضرر لو تم اختراق أسطول مركبات ذاتية أو توائم رقمية لسلسلة إمداد كاملة. لذا سيستمر التركيز على تأمين الذكاء الاصطناعي نفسه وفرض معايير أخلاقية وتنظيمية على استخدامه. بالإضافة إلى ذلك، تحويل القوى العاملة للتأقلم مع الأتمتة العالية سيكون مهمة اجتماعية. قد تتغير وظائف عمال المخازن لتصبح أكثر إشرافًا وإدارة للأنظمة بدل العمل اليدوي، وهذا يتطلب برامج إعادة تأهيل وتدريب على نطاق واسع.

رغم ذلك، النظرة العامة للمستقبل متفائلة. فالدمج بين IoT و AIيعد بقفزة نوعية في كفاءة ومرونة سلاسل الإمداد تفوق ما شهدناه حتى الآن. وكما يقول أحد الخبراء IoT" :هو الأذن والعين، و AIهو الدماغ – "وعملهم بتناغم يعني أن سلسلة الإمداد ستصبح كيانًا ذكيًا متكيفًا، يستطيع باستمرار تحسين نفسه والتعلم من البيانات، بدل كونه عملية جامدة. الشركات التي تتبنى هذا التكامل مبكرًا وتستثمر في بناء البنية التحتيّة والمهارات اللازمة قد تحصد أفضلية تنافسية هائلة في العقد القادم، من خلال خفض تكاليفها وتقديم خدمة أسرع وأكثر موثوقية وابتكار نماذج أعمال جديدة تمامًا (مثل الخدمات اللوجستية التنبؤية أو التسليم الآلي).

الخاتمة

يقف قطاع اللوجستيات اليوم على أعتاب مرحلة جديدة من الثورة الصناعية الرابعة، حيث لم يعد النجاح قائمًا فقط على الشاحنات والمستودعات، بل أيضًا على الخوارزميات والحساسات. إن الدمج العضوي بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء سيحول الشبكات اللوجستية إلى شبكات عصبية رقمية قادرة على التفكير والتفاعل بمرونة مع التغيرات

. ومع استمرار التطور التقني، يمكننا توقع المزيد من الابتكارات التي ستجعل سلاسل الإمداد أكثر ذكاءً واستدامةً، مما سينعكس إيجابًا على الاقتصاد والشركات والمستهلكين على حد سواء. إنها حقًا حقبة "اللوجستيات الذكية" التي طالما كانت تُعتبر خيالًا علميًا وأصبحت الآن واقعًا يتشكل أمامنا.

د عبد الحق لفيلف .

جامعة ميلة