منظمة
العمل
الدولية

تقرير عالمي

إحداث ثورة في الصحة والسلامة:

دور الذكاء الاصطناعي والرَّقْمَنَة في العمل

تقرير عالمي

إحداث ثورة في الصحة والسلامة:

دور الذكاء الاصطناعي والرَّقْمَنَة في العمل

Copyright © International Labour Organization 2025

الطبعة الأولى 2025

هـــذا العمل مفتوح الوصول ومـوزَّع بموجب ترخيص المشـاع الإبـداعي المنســوب 4.0 الــدولي (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) ويمكن للمُستخدِمين إعادة استخدام العمل الأصلي ومشاركته وتكييفه والبناء عليه، كما هو مفصَّل في الترخيص. يجب أن يُنسَب العمل بشكل واضح إلى منظمة العمل الدولية باعتبارها مالك العمل الأصلي. لا يُسمَح باستخدام شعار منظمة العمل الدولية فيما يتعلق بعمل المُستخدِمين.

الإسناد – يجب الإشارة إلى العمل على النحو التالي:

Revolutionizing health and safety: The role of AI and digitalization at work, Geneva: International Labour Office, 2025

الترجمات – في حالة ترجمة هذا العمل، يجب إضافة إخلاء المسؤولية التالي مع الإسناد: لم تُنشأ هذه الترجمة من قِبل منظمة العمل الدولية ولا ينبغي اعتبارها ترجمة رسمية لمنظمة العمل الدولية. منظمة العمل الدولية ليست مسؤولة عن محتوى هذه الترجمة أو دقتها.

التعديلات – في حالة تعديل هذا العمل، يجب إضافة إخلاء المسؤولية التالي مع الإسناد: هذا تعديل لعمل أصلي لمنظمة العمل الدولية. تقع المسؤولية عن وجهات النظر والآراء الواردة في التعديل على عاتق المؤلف أو مؤلفي التعديل فقط ولا يتم اعتمادها من قِبل منظمة العمل الدولية.

لا ينطبق ترخيص المشاع الإبداعي هذا على مواد حقوق الطبع والنشر غير التابعة لمنظمة العمل الدولية المُدرَجة في هذا المنشور. إذا نُسبت المادة إلى طرف ثالث، فإن مُستخدِم هذه المواد هو المسؤول الوحيد عن تصفية الحقوق مع صاحب الحق.

أي نزاع ينشأ بموجب هذا الترخيص ولا يمكن تسويته ودياً يُحال إلى التحكيم وفقاً لقواعد التحكيم للجنة الأمم المتحدة للقانون التجاري الدولي (UNSITRAL). وتلتزم الأطراف بأي حكم تحكيم يصدر نتيجة لهذا التحكيم باعتباره الحكم النهائي لمثل هذا النزاع.

ينبغي توجيه جميع الاستفسارات المتعلقة بالحقوق والترخيص إلى:

ILO Publishing Unit (Rights and Licensing), 1211 Geneva 22, Switzerland

أو بواسطة البريد الإلكتروني إلى rights@ilo.org

ISBN 9789220417706 (print)
9789220417713 (web PDF)

التسميات المُستخدَمة في منشورات منظمة العمل الدولية، والتي تتوافق مع ممارسات الأمم المتحدة، وعرض المواد فيها لا تعني التعبير عن أي رأي على الإطلاق من جانب منظمة العمل الدولية فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو منطقة أو إقليم أو سلطاتها أو فيما يتعلق بتعيين حدودها.

تقع المسؤولية عن الآراء المُعبَّر عنها في المقالات والدراسات والمساهمات الأخرى الموقَّعة على عاتق مؤلفيها فقط، ولا يشكل النشر تأييداً من منظمة العمل الدولية للآراء الواردة فيها.

لا تعني الإشارةُ إلى أسماء الشركات والمُنتَجات والعمليات التجارية موافقةَ منظمة العمل الدولية عليها، وأي إخفاق في ذكر شركة أو مُنتَج تجاري أو عملية معينة لا يُعَدّ علامة على عدم الموافقة.

يمكن العثور على معلومات حول منشورات منظمة العمل الدولية والمُنتَجات الرقمية على: www.ilo.org/publns

شـــكر وتقـــــدير

أعدّت هذا التقرير Manal Azzi، قائدة الفريق، وDafne Papandrea، بدعم من Lacye Groening. نتقدم بالشكر لـNatasha Scott على إجراء البحث الأولي واقتراح مســـودة أولية للتـــقرير، كما نتقدم بشـــكر خاص لـBalint Nafradi، وWafaa Alzaanin، وNour Kabbara، وLucia Risueno Navarro على دعمهم.

استند البحث إلى العمل الذي قامت به الوكالة الأوروبية للسلامة والصحة المهنيتين (EU-OSHA) على مدار العامين الماضيين. كما استفاد التقرير من مساهمات ومراجعات الخبراء Vibe Westh، وMaurizio Curtarelli، وEmmanuelle Brunfrom في تلك الوكالة.

ولمساهماتهم القيّمة، نود أن نعرب عن تقديرنا لـIgnacio Gonzalez Vazquez، وEnrique Fernandez-Macias (مركز الأبحاث المشترك، المفوضية الأوروبية)، وSarah Copsey وCesira Urzi (خبيران مستقلان)، وDr. Alessio Bertolini (جامعة أكسفورد)، وKyrillos Spyridopoulos (ECORYS)، وAude Cefaliello (معهد نقابات العمال الأوروبية) (ETUI)، وSascha Wischniewski، وPatricia Helen Rosen (المعهد الفيدرالي للسلامة والصحة المهنيتين Federal Institute for Occupational Safety and Health, BAuA, Germany)، وNadia Echchihab (SafetyTech Accelerator)، وTheo Boding، وVirginia Gunn، وRuben Lind (معهد كارولينسكا) (Karolinska Institutet).

ونُقدّر المراجعة والمساهمة التي قدّمها الزملاء في مكتب أنشطة العمال (ACTRAV)، ومكتب أنشطة أصحاب العمل (ACT/EMP)، وإدارة البحوث في منظمة العمل الدولية، وفرع أسواق العمل الشاملة وعلاقات العمل وظروف العمل (INWORK)، وفرع الحوار الاجتماعي وعلاقات العمل وحَوكَمَة العمل (LABGOV). ونودّ أن نتقدم بجزيل الشكر إلى Uma Rani، وJanine Berg، وCatherine Saget، وDaniel Samaan، وTahmina Karimova، وSevane Ananian (إدارة البحوث في منظمة العمل الدولية)، وAnarosa Pesole، وNuno Meira Simoes Cunha (INWORK)، وTvisha Shroff (LABGOV) على مساهماتهم القيّمة ودعمهم.

نشكر زملاءنا في مجال السلامة والصحة المهنيتين في المقر الرئيسي وفي الميدان، لاسيما Claude Loiselle، وFelix Martin Daza، وCarmen Bueno، وTzvetomira Radoslavova، وYuka Ujita، وTsuyoshi Kawakami، على مراجعتهم وملاحظاتهم وأمثلة ممارساتهم.

وأخيراً، نود أن نشكر الزملاء من صندوق الرؤية صفر (Vision Zero Fund) (Ockert Dupper، وPaul Wallot، وYessica Calvario، وSchneider Guataqui Cervera) على مساهماتهم ودعمهم.

جدول المحتويات

شكر وتقدير III

قائمة الاختصارات V

ملخص تنفيذي 1

1. كيف تُحدِث الرَّقْمَنَة تحولاً في السلامة والصحة في العمل 5

1.1 الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة 6

2.1 أدوات وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية 14

3.1 الواقع الممتد والواقع الافتراضي 21

4.1 الإدارة الخوارزمية للعمل 25

5.1 تغيير أنماط العمل من خلال الرَّقْمَنَة 28

2. معالجة قضايا السلامة والصحة المهنيتين في العصر الرقمي: السياسات والثغرات والجهود التعاونية 35

1.2 الجهود العالمية لضمان عمل آمن وصحي في ظل الانتقال الرقمي 35

2.2 المبادرات الإقليمية لتسخير الرَّقْمَنَة في تعزيز السلامة والصحة المهنيتين 39

3.2 الأطر الوطنية التي تحكم السلامة والصحة المهنيتين والرَّقْمَنَة 42

4.2 إدارة الرَّقْمَنَة والسلامة والصحة المهنيتين في مكان العمل 55

النقاط الرئيسية 58

المراجع 62

قائمة الاختصارات

الذكاء الاصطناعي	Artificial intelligence	AI
الإدارة الخوارزمية	Algorithmic management	AM
الواقع المُعَزَّز	Augmented reality	AR
الروبوت التعاوني	Collaborative robot	COBOT
الاتحاد الأوروبي	European Union	EU
منظمة العمل الدولية	International Labour Organization	ILO
المنظمة الدولية لأصحاب العمل	International Organization of Employers	IOE
إنترنت الأشياء	Internet of Things	IoT
المعهد الوطني الأمريكي للسلامة والصحة المهنيتين	US National Institute for Occupational Safety and Health	NIOSH
منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	Organization for Economic Co-operation and Development	OECD
السلامة والصحة المهنيتان	Occupational safety and health	OSH
معدات الوقاية الشخصية	Personal protective equipment	PPE
المنشآت الصغيرة والمتوسطة	Small and medium-sized enterprises	SMEs
الطائرة بدون طيار	Unmanned aerial vehicle	UAV
الواقع الافتراضي	Virtual reality	VR
منظمة الصحة العالمية	World Health Organization	WHO
الواقع الممتد	Extended reality	XR

© iStock/gremlin

ملخص تنفيذي

كيف تُحدِث الرَّقْمَنَة تحولاً في السلامة والصحة في العمل؟

تؤثر الرَّقْمَنَة والأَتْمَتَة على ملايين الوظائف في جميع أنحاء العالم، مما يُتيح فرصاً غير مسبوقة لتعزيز السلامة والصحة المهنيتين. ويُمكِن للأَتْمَتَة وأنظمة المراقبة الذكية أن تُقلل التعرضاتِ الخطرة، وتمنع الإصابات في مكان العمل، وتُحسّن ظروف العمل العامة. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة إلى سياسات استباقية للتصدي للأخطار المُحتملة.

- **تُبسط الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة** المهام البدنية والمعرفية، مما يُقلل التعرضَ للبيئات الخطرة وإصابات الإجْهاد المُتكررة. قد تشمل المخاوفُ المُرتبطة المُحتملة التي يجب التصدي لها الأعطالَ الميكانيكية، بالإضافة إلى الأخطار الأرغونومية والفيزيائية (مثل الضوضاء) والنفسية الاجتماعية.

- **تُتيح أدواتُ وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية**، بما في ذلك أجهزة الاستشعار التي تعمل بالذكاء الاصطناعي والأجهزة القابلة للارتداء، الكشفَ عن المخاطر في الوقت الفعلي، وتقييم تنبؤي للمخاطر، والإدارة الاستباقية للسلامة والصحة المهنيتين. ويُعَدُّ ضمان سهولة الاستخدام، والملاءمة المُناسبة للعمال المُتنوعين، وحماية الخصوصية، ومنع الإجْهاد الناتج عن المراقبة المُستمرة، من التحديات الرئيسية.

- **يُحدِث الواقع المُمتد والواقع الافتراضي** تحولاً في تدريب العمال من خلال عمليات المحاكاة التفاعلية للتعرف على المخاطر والاستجابة للطوارئ. ومع ذلك، يجب إدارة الأخطار المحتملة، مثل حجب الرؤية، ومشاكل التوازن، والإجْهاد البصري، والعبء المعرفي الزائد.

- **تَستخدِم الإدارة الخوارزمية للعمل** أنظمة تعمل بالذكاء الاصطناعي أو مُبرمَجة لتنسيق العمل في المنظمة، وتحسين توزيع المهام، وتحسين المشاركة والتوازن بين العمل والحياة، ومعالجة الفجوات في المهارات. ومع ذلك، يجب التحكم في الأخطار المحتملة، مثل المراقبة المفرطة وتكثيف العمل، والتصدي لها.

- **يوفر تغيير أنماط العمل من خلال الرَّقْمَنَة**، بما في ذلك العمل عن بُعد ومنصات العمل الرقمية، مرونةً، ولكنه قد يُشكل تحديات بدنية ونفسية اجتماعية على حد سواء تتعلق بالسلامة والصحة المهنيتين.

لتحقيق أقصى فائدة من الرَّقْمَنَة في مجال السلامة والصحة المهنيتين مع التخفيف من الأخطار، لا بد من اتباع نهج استباقي مُسنَد بالأدلة وتشاركي. ويتطلب ذلك مشاركة فعّالة من الحكومات وأصحاب العمل والعمال، إلى جانب المتخصصين في مجال السلامة والصحة المهنيتين، وأصحاب المصلحة الآخرين، لضمان أن التحول الرقمي يعزز السلامة والصحة في العمل بدلاً من المساس بهما.

كيف نضمن السلامة والصحة المهنيتين في العصر الرقمي؟

لا تزال أطرُ السلامة والصحة المهنيتين القائمة، بما في ذلك معايير منظمة العمل الدولية بشأن السلامة والصحة المهنيتين، أساسيةً لحماية الحق في بيئة عمل آمنة وصحية في العصر الرقمي.

إدراكاً للطبيعة متعددة التخصصات للسلامة والصحة المهنيتين والرَّقْمَنَة، تعمل بعض البلدان على إدماج الاعتبارات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين في سياسات أوسع نطاقاً بشأن الذكاء الاصطناعي والانتقال الرقمي. من ناحية أخرى، تدرج بعضُ البلدان الرَّقْمَنَة في أطر سياسات السلامة والصحة المهنيتين لتعزيز الوقاية من الخطر ورصده وحماية العمال.

كما بدأت البلدان في مراجعة أطرها القانونية وتكييفها. وتشمل المجالات الرئيسية للتطوير القانوني تحديث لوائح السلامة المتعلقة بالروبوتات، وبروتوكولات التفاعل بين الإنسان والروبوت للتخفيف من الأخطار في بيئات العمل التعاوني. كما تتضمن إرساء الحق في قطع الاتصال لمنع الإرهاق الرقمي والإفراط في العمل. إضافةً إلى ذلك، يجري توسيع نطاق إجراءات الحماية المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين لتشمل العمل عن بُعد وعمل المنصات، مع مراعاة طبيعة العمل المتطورة.

وتكملةً لهذه التدابير المتعلقة بالسياسات، تضطلع المعايير والإرشادات الطوعية، وحملات التوعية، ومبادرات التدريب، وبرامج البحوث بدور حاسم في توجيه الأعمال وتزويد العمال بالمهارات اللازمة لاستخدام التكنولوجيات الجديدة بأمان. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من البحوث لفهم أفضل لتأثيرات التكنولوجيات الرقمية على السلامة والصحة المهنيتين على المدى الطويل، وضمان تطبيقها المستنير.

على مستوى مكان العمل، لا يزال تقييمُ الخطر وإدارته بانتظام أمراً ضرورياً للتصدي بشكل استباقي للأخطار الرقمية الناشئة. ويشمل ذلك التقييم المنتظم للأخطار المرتبطة بالتكنولوجيات الجديدة، وتنفيذ تدابير وقائية تتماشى مع المخطط التسلسلي الهرمي لإجراءات التحكم المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين، وتكييف سياسات السلامة والصحة المهنيتين باستمرار للحفاظ عليها فعالة مع تطور التكنولوجيات، مع مراعاة آراء العمال وأحدث التطورات في مجال السلامة والصحة المهنيتين.

يمكن للأدوات الرقمية، مثل التحليلات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، والمراقبة في الوقت الفعلي، والنمذجة التنبؤية، أن تُعزز تقييمات الخطر واستراتيجيات السلامة والصحة المهنيتين، ولكنها يجب أن تُكمل - لا أن تحل محل - الحكم البشري في الممارسات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين.

ينبغي إشراك العمال وممثليهم بشكل نشط في جميع مراحل تنفيذ التكنولوجيا الرقمية، بما في ذلك التصميم والتشغيل والمراقبة، مما يضمن أن التكنولوجيات تعزز السلامة والصحة في مكان العمل بدلاً من تقويضهما.

من خلال اعتماد نهج تعاوني واستشرافي ومحوره العمال، يمكن لأصحاب المصلحة ضمان أن يؤدي الابتكار الرقمي إلى أماكن عمل أكثر أماناً وأوفر صحة وأكثر استدامة، مما يعود بالفائدة على جميع الأطراف المعنية.

حول هذا التقرير

استناداً إلى مراجعة مكتبية مُعمَّقة، ومقابلات مع مصادر مطّلعة، ومراجعة للسياسات والممارسات، يستكشف هذا التقرير التغييرات التي تُحدِثها التكنولوجيات الرقمية في السلامة والصحة في العمل، والحاجة إلى ضمان أن هذه التغييرات لا تؤدي إلى خطر محتمل.

من خلال تقديم رؤىً سياساتية وممارسات ودراسات حالة واقعية، يُشكل هذا التقرير مورداً للحكومات وأصحاب العمل والعمال والخبراء في مجال السلامة والصحة المهنيتين للاطِّلاع على المشهد المتطور للسلامة الرقمية في العمل.

يبحث الجزء الأول من التقرير في كيفية قيام الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة، وأدوات وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية، والواقع الممتد والواقع الافتراضي، والإدارة الخوارزمية للعمل، وأنماط العمل المتغيرة، بإعادة تشكيل السلامة والصحة في مكان العمل، مع مراعاة كلٍ من الفرص والأخطار المحتملة.

يستكشف الجزء الثاني السياسات العالمية والإقليمية والوطنية التي تحكم السلامة والصحة المهنيتين في أماكن العمل الرقمية، مُسلطاً الضوء على الثغرات التنظيمية واستجابات السياسات. كما يناقش تقييم الخطر، ومشاركة العمال، واستراتيجيات الوقاية لإدماج الأدوات الرقمية بأمان وفعالية على مستوى مكان العمل.

وأخيراً، تلخص النقاط الرئيسية الختامية النتائج الرئيسية، مع التركيز على الإجراءات الحاسمة اللازمة لضمان انتقال رقمي مسؤول وشامل ومحوره العامل.

© iStock/Jenson

1

كيف تُحدِث الرَّقْمَنَة تحولاً في السلامة والصحة في العمل

تُعيد الرَّقْمَنَة[1] تشكيل عالم العمل، وتُقدم ممارسات مبتكرة، وتُعزز صناعات جديدة، وتُعيد تشكيل بيئات العمل الفيزيائية والنفسية الاجتماعية على حد سواء.

يُتيح الذكاء الاصطناعي[2] والأدوات الرقمية للأعمال فرصاً كبيرة لتعزيز السلامة والصحة المهنيتين. عند تصميمها وتنفيذها بفعالية، تُساعد هذه التكنولوجيات على التخفيف من الأخطار المهنية، وتقليل الحوادث والأمراض في مكان العمل، وتحسين الكفاءة والإنتاجية والأداء العام (Sun et al. 2022). وتكمُن أهم فوائد الرَّقْمَنَة في إبعاد العمال عن البيئات والتعرضات الخطرة، بما في ذلك المواد الكيميائية، ودرجات الحرارة القصوى، والإشعاعات، والأماكن المحصورة، والآلات عالية الخطورة. كما تُحسّن تنظيم العمل، وتبسط العمليات، وتُؤَتْمِت المهام المتكررة وذات المتطلبات البدنية، وتُحسّن توزيع عبء العمل، مما يُقلل الإجْهادَ البدني والنفسي (EU-OSHA 2019). تُعزز الأنظمة والأدوات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي السلامة في مكان العمل من خلال تحديد المخاطر، ومراقبة الظروف البيئية، والتنبؤ بأعطال المعدات. بالإضافة إلى ذلك، تدعم الرَّقْمَنَة التطوير المهني من خلال فرص مُصمَّمة خصيصاً للارتقاء بالمهارات وإعادة اكتسابها، مما يضمن قدرة العمال على التكيف مع متطلبات العمل المتطورة والاستعداد بشكل كافٍ لمواجهة الأخطار الجديدة المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين (EU-OSHA 2019). ومع ذلك، من المهم ملاحظة أن فوائد الرَّقْمَنَة ليست مشتركة عالمياً.[3]

وفي حين أن الرَّقْمَنَة توفر العديد من الفوائد للسلامة والصحة المهنيتين، إلا أنها قد تؤدي إلى أخطار كبيرة يمكن الوقاية منها ويجب إدارتها بعناية. تُعَدّ أوجه فشل التفاعل بين الإنسان والروبوت، والتحديات الأرغونومية، والتعرض لمخاطر الضوضاء والاهتزازات بعضاً من الأخطار المحتملة المرتبطة بالتكنولوجيات الرقمية (EU-OSHA 2009). وقد تؤدي الأجهزة القابلة للارتداء والذكية، إذا تم تصميمها بشكل غير صحيح، إلى إجْهاد بدني، بينما يمكن أن تشكل الطائرات بدون طيار، مثل الطائرات المُسَيَّرة، وأجهزة العرض المُثبَّتة على الرأس، أخطار الإصابة وفقدان التوازن والمخاطر البصرية. ويمكن أن تؤدي التطورات التكنولوجية أيضاً إلى تكثيف العمل وانعدام الأمن الوظيفي و«الإجْهاد التكنولوجي[4]»، حيث يواجه العمال ضغوطاً متزايدة للتكيف مع الأدوات والعمليات سريعة التطور (ILO 2022). ويمكن أن يساهم في الإرهاق عدمُ وضوح الحدود بين العمل والحياة بسبب العمل المتنقل والعمل عبر الإنترنت، في حين أن الترصد التدخلي والمراقبة المستمرة قد ينتهكان الخصوصية ويقللان الاستقلالية الوظيفية (ILO 2018). ومع قضاء العمال وقتاً أطول في استخدام الأدوات الرقمية، فقد يتعرضون بشكل متزايد للتنمر السيبراني. ويعرض اتخاذ القرارات القائم على الذكاء الاصطناعي لخطر تجزئة المهام وفقدان الرضا الوظيفي والتحيز، مما قد يؤدي إلى تهميش فئات معينة وتفاقم أوجه عدم المساواة في مكان العمل.

يتطلب التصدي لهذه التحديات اتباع نهج استباقي تجاه السلامة والصحة المهنيتين، بما يضمن أن يعزز التحول الرقمي سلامة العمال ورفاهيتهم بدلاً من المساس بهما (Gonzalez Vazquez et al. 2024).

1 وفقاً لمنظمة العمل الدولية، تُفهَم الرَّقْمَنَة، بمعناها الواسع، على أنها تطبيق التكنولوجيات الرقمية، وبالتالي المعلومات أو البيانات الرقمية، في الاقتصاد والمجتمع (GB.350: فريق العمل المعني بالبعد الاجتماعي للعولمة. تحديات وفرص الرَّقْمَنَة). وفي عالم العمل، تستلزم الرَّقْمَنَة تحويل الهياكل والعمليات التنظيمية بهدف تحسين الكفاءة والإيرادات والمرونة. يُعيد هذا التطبيق تشكيل تنظيم العمل، وبالتالي له عواقب على كمية العمل المتاح ونوعه، بالإضافة إلى ظروف العمل وحماية العمال.

2 يُعد الذكاءُ الاصطناعي مكوناً أساسياً للرَّقْمَنَة. قد تكون أنظمة الذكاء الاصطناعي قائمة على البرمجيات فقط أو مُدمَجة في الأجهزة المادية (High-Level Expert Group on Artificial Intelligence 2019). ويمكنها أن تُكمل المهام البشرية وتدعمها، أو تحل محل الأدوار الحالية، أو تُنشِئ أدواراً جديدة (Selenko et al. 2022).

3 تنشأ التفاوتات بسبب قيود البنية التحتية، وعدم المساواة في الوصول إلى المهارات الرقمية، والتمييز الضمني أو الصريح القائم على عوامل، مثل الموقع والانتماء الإثني والدين والجنس (Graham et al. 2017). وتواجه المنشآت الصغيرة والمتوسطة، لاسيما في البلدان النامية، تحديات في تبني الأدوات الرقمية بسبب القيود المفروضة على الموارد (IMF 2024a). لذا، لا ينبغي اعتبار التكنولوجيا حلاً شاملاً مناسباً للجميع؛ ففعاليتها تعتمد على السياق الذي تُطبَّق فيه ومدى مشاركة العمال في تصميمها وتشغيلها والتحكم فيها.

4 https://www.emerald.com/insight/content/doi/10,1108/intr0214-2022-03-/full/html

يستكشف هذا الفصل تأثير الرَّقْمَنَة على السلامة والصحة المهنيتين، ويصنف التكنولوجيات وطرائق تنفيذ العمل في خمس فئات: **الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة؛ وأدوات وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية؛ والواقع الممتد والواقع الافتراضي؛ والإدارة الخوارزمية للعمل؛ وتغيير أنماط العمل من خلال الرَّقْمَنَة**. لكلٍّ من هذه التكنولوجيات والعمليات، يُسلِّط البحث الضوء على كيفية تعزيزها للسلامة والصحة في العمل من خلال التخفيف من الأخطار الفيزيائية والتنظيمية والنفسية الاجتماعية، بالإضافة إلى دراسة الأخطار المحتملة المرتبطة بها. وتُشدّد النتائج على الحاجة إلى اتباع نهج متوازن واستباقي لضمان بيئات عمل آمنة وصحية للجميع.

1.1 الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة

تُحدِث الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة[5] تغييرات جذرية في مجال السلامة والصحة في مكان العمل، حيث تُقدم طرقاً مبتكرة لتعزيز الكفاءة وتقليل الأخطار في مختلف القطاعات (EU-OSHA 2024a; Petersen et al. 2023). تُؤَتْمِت هذه التكنولوجيات كلاً من المهام البدنية، مثل التجميع ومناولة المواد والعمليات الخطرة، والعمليات المعرفية، بما في ذلك اتخاذ القرارات وتحليل البيانات، مما يُعيد تعريف كيفية أداء العمل ومراقبته وإدارته (Wang 2019; Chen et al. 2023).

تُشير الروبوتات المتطورة إلى التكنولوجيات المُصمَّمة لأداء مهام تتطلب دقة عالية وقابلية للتكيف واستقلالية، مما يُعزز الإنتاجية والسلامة في مكان العمل من خلال الحد من تعرض العمال للأنشطة ذات المتطلبات البدنية أو الخطرة. وتشمل هذه الأنظمة الروبوتات الصناعية، مثل الأذرع الروبوتية المستخدَمة في المهام المتكررة والخطرة، بالإضافة إلى الابتكارات الحديثة، مثل الروبوتات المتنقلة ذاتية التشغيل، والطائرات المُسَيَّرة، والهياكل الخارجية، والروبوتات التعاونية التي تعمل جنباً إلى جنب مع البشر لتعزيز الكفاءة والسلامة (EU-OSHA 2022b). تُستخدم الروبوتات في قطاعات متنوعة. فعلى سبيل المثال، تتعامل مع المهام الخطرة والمتكررة في قطاع التصنيع، وتساعد في التشخيص والعمليات الجراحية في مجال الرعاية الصحية، وتعزز الدقة في قطاع الزراعة، وتُحسّن الخدمات اللوجستية، وتدعم التعافي من الكوارث، وتُجري عمليات عسكرية حاسمة، مثل الاستطلاع والتخلص من القنابل (EU-OSHA 2022b).

ويضطلع الذكاء الاصطناعي بدور محوري في أَتْمَتَة المهام المعرفية والبدنية على حد سواء، مما يُمكّن التطبيقات، مثل المراقبة في مجال الصحة، وأنظمة القيادة الذاتية، وروبوتات الدردشة، والروبوتات الصناعية (EU-OSHA 2022f). كما يُشغّل وظائف، مثل خدمة العملاء، والترجمة، وعمليات الدفع النقدي، مما يُقلل أعباءَ العمل البشرية، ويُعزز الإنتاجية (Petersen et al. 2023 ;Babashahi et al. 2024). تُحدِث هذه التطورات تحولات في جميع القطاعات تقريباً، حتى تلك التي تُعتبر تقليدياً منخفضة التكنولوجيا (ILO 2023).

يُعَدّ التأثير العالمي للأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي على الوظائف كبيراً. وتُقدر منظمة العمل الدولية (2023) أن الأَتْمَتَة يمكن أن تحل جزئياً على الأقل محل ما يقرب من 75 مليون وظيفة حول العالم، بينما يمكن للذكاء الاصطناعي أن يُضيف 427 مليون وظيفة، في قطاعات مختلفة. وتختلف الآثار باختلاف الإقليم والخصائص الديموغرافية. تتمتع أوروبا وأمريكا الشمالية، اللتان تتميزان بأسواق عمل متنوعة، بأعلى مستوى من التعرض للأَتْمَتَة (UN/ILO 2024)، بينما تواجه آسيا وأفريقيا وأمريكا اللاتينية تعرضاً أقل بسبب هيمنة قطاع الزراعة والقطاع غير المُنظَّم الأقل تأثراً بالذكاء الاصطناعي التوليدي (UN/ILO 2024). ففي الصين، قد تحل تكنولوجيات الذكاء الاصطناعي، مثل نماذج اللغة الضخمة، محل وظائف ذات أجور أعلى وكثيفة الخبرة، مما يعكس اتجاهات الطلب السابقة على اليد العاملة (Chen et al. 2023).

تتأثر النساء بشكل غير متناسب بالذكاء الاصطناعي التوليدي، حيث يتجاوز تعرضهن للأَتْمَتَة ضعف تعرض الرجال في معظم الأقاليم (UN/ILO 2024). ويُعَدّ إسناد الأنشطة إلى مصادر خارجية، مثل العمل في مراكز الاتصال، مصدراً هاماً للعمل المُنظَّم ذي الأجر الجيد نسبياً للنساء في العديد من البلدان النامية، وهو معرض للخطر بشكل خاص (UN/ILO 2024).

5 الروبوتات المتطورة، وهو مصطلح ظهر في ثمانينيات القرن الماضي، ويشير إلى الروبوتات المُجهَّزة ببرمجيات وتجهيزات متطورة قادرة على اتخاذ قرارات ذكية، على عكس الآلات التقليدية (Robotnik 2022). وإدماج تكنولوجيات الذكاء الاصطناعي يُمكّن هذه الروبوتات من التفاعل بشكل مستقل مع بيئتها وأداء مهام معقدة (Licardo et al. 2024).

1.1.1 كيف تُحسِّن الأَتْمَتَة والروبوتات السلامةَ والصحة في العمل

◄ إبعاد العمال عن البيئات والتعرضات عالية الخطورة

يتزايد استخدام الروبوتات لتحل محل العمال في المهام الخطيرة والبيئات عالية الخطورة، والتي غالباً ما يُشار إليها باسم «وظائف 3Ds» (dirty, dangerous and demeaning) (الأعمال القذرة والخطرة والمتدنية). في قطاعات التعدين والبناء والتصنيع، تُمكِّن الروبوتاتُ العمالَ من الإشراف على العمليات الخطرة عن بُعد، مما يحد من التعرض للأخطار، مثل أدخنة اللِّحام المُسرطِنة، والتخلص من القنابل، وانسكابات المواد الكيميائية (Robots.com 2017; CCOHS 2022b). وفي عمليات التعافي من الكوارث، تتحمل الروبوتات الأرضية والجوية والبحرية ظروفاً قاسية، مثل الحرارة المرتفعة والرطوبة والإشعاعات (Guizzo 2023; Soori et al. 2023). وبالمثل، في مجال الرعاية الصحية، تُقلل الروبوتاتُ تعرضَ العمال للإشعاعات أثناء فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي والأشعة السينية، وتُساعد في التطهير بالأشعة فوق البنفسجية؛ وخلال جائحة كوفيد-19، قللت الأخطار إلى أدنى حد من خلال التعامل مع نقل المرضى والإصحاح (Deo and Anjankar 2023; Mehta et al. 2023; Su et al. 2021). كما تُساعد الروبوتات في بيئات درجات الحرارة القصوى، مثل تشغيل الأفران في التصنيع أو العمل في حقول النفط المتجمدة (A3 Marketing Team, 2019).

◄ خمس مهام خطيرة يمكن للروبوتات القيام بها بأمان (Owen-Hill 2022)

- **رفع أجسام ثقيلة جداً ومتوسطة الثقل:** تستطيع الروبوتات رفع أجسام ثقيلة جداً تتجاوز قدرة الإنسان. كما يمكنها رفع أجسام أخف وزناً، حيث يمكن أن يُشكل رفعها اليومي المتكرر خطراً على العمال بمرور الوقت.

- **تحريك المعدن المنصهر بدرجة حرارة 2,000 درجة مئوية:** يمكن استخدام الروبوتات في «صب المعدن المنصهر من الفرن»، حيث يتم تحريك المعدن المنصهر لإزالة المُنتَجات الثانوية كنفايات تُسمى الخَبَث. تتطلب هذه العملية من العمال إثارة المعدن باستخدام رمح طويل مزود بالأوكسجين، مما قد يؤدي إلى غمر العامل في سلسلة من الشرر المشتعل. يمكن تغليف أذرع الروبوت بغطاء مقاوم للحرارة يتيح لها تحمل بيئة درجات الحرارة العالية.

- **جمع النفايات المشعة وتعبئتها:** يُشكِّل التعامل مع المواد المشعة أخطاراً جوهرية على صحة الإنسان. وبالنسبة للمهام، مثل التعامل مع النفايات المشعة من منشآت الطاقة النووية، تُقدِّم الروبوتات الحل الأكثر أماناً وفعالية.

- **العمل في بيئات مُلوَّثة وغبارية:** يمكن للروبوتات تحسين سلامة العمال في بيئات العمل غير الآمنة، مثل البيئات المُلوَّثة بالغبار أو المواد الكيميائية السامة.

- **حركات الجسم المتكررة:** الروبوتات مناسبة تماماً لأداء المهام المتكررة التي قد تشكل أخطاراً كبيرة على العمال بسبب الاضطرابات العضلية الهيكلية الخطرة.

© iStock/tonefotografia

يمكن استخدام الطائرات بدون طيار، مثل الطائرات المُسَيَّرة ذاتية الحركة، لإجراء عمليات بشكل مستقل في المناطق التي يكون فيها التدخل البشري خطيراً أو صعباً أو مُكلِفاً أو كثيفاً بدنياً (Kanellakis and Nikolakopoulos 2017). يمكن لهذه المَركَبات المساعدة في حالات الطوارئ وجمع البيانات والقيام بمهام خطرة على البشر، مثل العمل على ارتفاعات أو في بيئات قاسية، بما في ذلك البيئات الخطرة أو السامة (HSE Network 2020). وفي الزراعة، تُستخدَم الطائرات المُسَيَّرة بشكل متزايد لتطبيق مبيدات الآفات، مما يقلل تعرضَ المُشغِّل للمواد الكيميائية الضارة المرتبطة بالسرطانات والتسمم والضرر العصبي (ILO 2021b). فعلى سبيل المثال، في الصين، تم نشر الطائرات المُسَيَّرة على نطاق واسع لرش مبيدات الآفات، حيث نَفَّذت أكثر من 200,000 طائرة مُسَيَّرة عملياتٍ في عام 2021 (Ozkan 2024). ومع ذلك، فإن التدريب الفعال لمُشغِّلي الطائرات المُسَيَّرة أمر بالغ الأهمية لمنع ضرر العمال والبيئة (Amarasinghe et al. 2019; Yan et al. 2021; Kuster et al. 2023).

تطبيق أنظمة الطائرات المُسَيَّرة لرش مبيدات الآفات في الزراعة المتطورة

يُعَدّ المزارعون معرضين لخطر الآثار الصحية الضارة عند رش مبيدات الآفات يدوياً على حقول المحاصيل. ويُعتبَر استخدام الطائرات المُسَيَّرة لرش مبيدات الآفات بديلاً واعداً عن الرش اليدوي. فقد استكشفت مراجعةٌ أجراها Borikar وآخرون (2022) أحدثَ التطورات والتطبيقات التكنولوجية في التجهيزات، ووحدات التحكم في الطيران، ووحدات التحكم الإلكترونية في السرعة، وأجهزة الاستشعار الزراعية الذكية، وأنظمة الرش. تشمل التطورات الرئيسية في أنظمة الطائرات المُسَيَّرة ما يلي:

- استخدام كاميرات متعددة الأطياف مُثبَّتة على طائرات مُسَيَّرة لمراقبة المحاصيل.
- نظام رش بطائرات مُسَيَّرة مُزوَّد بالنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)، يرش مبيدات الآفات في الوقت الفعلي على المناطق المصابة، ويتم تشغيله بكاميرا تلتقط الصور.
- تطبيق أنواع مختلفة من الفتحات، مما يؤدي إلى سرعات رش مُحدَّدة يتم التحكم فيها عبر الهاتف الذكي.
- التحكم التلقائي في كمية مبيدات الآفات وفقاً لسرعة الطائرة المُسَيَّرة، واستخدام الذكاء الاصطناعي للتحكم الذكي في مسارها.
- بشكل عام، وجدت الدراسة أن الطائرات المُسَيَّرة قادرة على إتمام مهام رش مبيدات الآفات بسرعة ودقة، دون تعريض صحة البشر للخطر.

◄ دعم العمال للحد من الإجْهاد البدني

يتزايد استخدام الأنظمة الروبوتية لتقليل المهام المتكررة أو الشاقة في قطاعات مختلفة. تساعد هذه التقنيات على تخفيف التعرض للقوى الجسدية العالية، والوضعيات المُربِكة، والحركات المتكررة، وهي عوامل رئيسية مرتبطة بالاضطرابات العضلية الهيكلية (EU-OSHA 2021; 2022a). ومن خلال تَولّيها المهام المتكررة واليدوية والتي تفتقر إلى التحفيز الذهني، تتيح الروبوتاتُ للعمال تركيزَ طاقتهم على جوانب عمل أكثر استراتيجيةً وإبداعاً (Timbó 2023).

الهياكل الخارجية هي روبوتات قابلة للارتداء تُستخدَم لتعزيز أو زيادة أو مساعدة وضعية المُستخدِم أو حركته أو نشاطه البدني في الوظائف التي تنطوي على عمل يدوي أو جهد بدني (CCOHS 2022a). ويتزايد استخدامها في القطاعات، مثل البناء والتصنيع والزراعة والرعاية الصحية (Flor-Unda et al. 2023; Ekso Bionics 2022). تُظهِر الدراسات أن الهياكل الخارجية تُقلل بشكل ملحوظ نشاطَ العضلات وإجْهادها، لاسيما في الظهر والساقين، أثناء مهام مناولة المواد (Bär et al. 2021; Park et al. 2022). فعلى سبيل المثال، أثبتت الهياكل الخارجية المُعزَّزة بالطاقة لكامل الجسم أنها تُقلل نشاطَ عضلات الظهر بنسبة تصل إلى 53 بالمئة، وإجْهاد الساق بنسبة 63 بالمئة، مما يُقلل أخطارَ الإصابة ويُساهم في تحقيق وفورات في مجال الرعاية الصحية والإنتاجية على المدى الطويل (Zelik et al. 2022; Kirpestein et al. n.d.). ومن خلال تقليل الإجْهاد البدني والتعب إلى أدنى حد، يُمكن للهياكل الخارجية أيضاً تخفيف الإجْهاد (الكَرْب) وتحسين الصحة النفسية العامة (Vallée 2024).

الروبوتات في الرعاية الصحية – تعزيز السلامة وتقليل الأخطار

من التشخيص والتطهير إلى الجراحة ومساعدة المرضى، تضطلع الروبوتات بدور حاسم في حماية المهنيين في مجال الرعاية الصحية.

تساعد الروبوتات في حماية العاملين من خلال تقليل التعرض للإشعاعات أثناء فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسي والأشعة السينية، وتقليل أخطار العدوى إلى أدنى حد من خلال نقل المرضى، والإصحاح، والاختبارات الذاتية للأمراض (Su et al. 2021; Deo and Anjankar 2023). فعلى سبيل المثال، خلال جائحة كوفيد-19، طَوَّر Haddadin وآخرون (2024) روبوتاً ذاتي المَسْحات يُجري الفحوصات بأمان دون تدخل بشري. فقد تم اختبار الروبوت على 52 مريضاً في ألمانيا، وأظهر دقة عالية، ومعدلات قبول مرتفعة، وقدرة على إجراء ما يصل إلى 300 اختبار يومياً لكل روبوت. قد يُعزز أخذ المَسْحات الذاتي أو بمساعدة الروبوت بشكل كبير من قدرة الاختبار مع حماية العاملين (Yang et al. 2020).

وفي الأدوار التي تتطلب جهداً بدنياً، تُساعد الروبوتات والهياكل الخارجية في تقليل الإجْهاد البدني وأخطار الإصابة، لاسيما في قطاع التمريض ورعاية المسنين والجراحة. فمن خلال المساعدة في تحريك المريض، تخفف العبءَ على مقدمي الرعاية، وتقلل خطرَ الإصابات العضلية الهيكلية (Richarz et al. 2023; Persson et al. 2021). وتساعد هذه التكنولوجيا أيضاً في الوقاية من الإرهاق والإجْهاد (الكَرْب)، لاسيما في البيئات شديدة الطلب (O'Connor 2021).

لقد أحدثت الجراحةُ الروبوتية ثورةً في الإجراءات الجراحية، حيث عززت الدقة، وخففت من عبء العمل، وحسّنت الأرغونوميات مقارنةً بالجراحة بمنظار البطن والجراحة المفتوحة التقليدية (Wee et al. 2020). ومع ذلك، لا يزال الشعور بعدم الراحة في الرقبة والكتف والظهر يمثل تحدياً بسبب تصميم وحدة التحكم، مما يسلط الضوء على الحاجة إلى ممارسات أرغونومية أفضل وتدريب رسمي لتقليل الإجْهاد إلى أدنى حد (Patel et al. 2023).

وفي حين أن الروبوتات يمكن أن تدعم العاملين في مجال الرعاية الصحية من خلال تقليل الأخطار وتحسين الكفاءة، إلا أنها لا يمكن أن تحل محل الأدوار البشرية التي تتطلب التعاطف والحكم واتخاذ القرار (Witkowski et al. 2024).

◄ تقليل المهام المتكررة والمُمِلّة

يمكن لأنظمة الأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي التخلص من الأنواع المتكررة والاعتيادية للمهام المكتبية أو الإدارية، مثل ملء النماذج ومعالجة الطلبات أو الوثائق القانونية (EU-OSHA 2022e). في خدمة العملاء، على سبيل المثال، يمكن لروبوتات الدردشة والمساعدين الافتراضيين الذين يعملون بالذكاء الاصطناعي التعامل مع الاستفسارات المعقدة، مما يقلل عبءَ العمل على الممثلين البشريين (Babashahi et al. 2024). ووجدت دراسة حديثة أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يساعد في أَتْمَتَة حوالي 84 بالمئة من المعاملات المتكررة في 400 خدمة حكومية مختلفة في المملكة المتحدة (The Alan Turing Institute 2024). وفي مجال الرعاية الصحية، تُخفف الروبوتاتُ التفاعلية أعباءَ العمل من خلال جمع العلامات الحيوية وبيانات المرضى، مما يسمح للمهنيين بالتركيز على المهام المعقدة ورعاية المرضى (Ragno et al. 2023). وفي مجال التعليم، يمكن استخدام الأدوات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي لتصنيف المهام، وتتبع الحضور، وجدولة الاجتماعات، مما يسمح للمعلمين بالتركيز بشكل أكبر على التعليم عالي المستوى وبشكل أقل على الأعمال الورقية (Jose 2023).

ويمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي أن تُخفف عن العاملين عناء التخطيط لمهام معينة وأداءها، وفي بعض الحالات، تُقلل حاجتهم إلى توقع العمليات أو بذل جهد ذهني لمراقبة سلامتهم أثناء الإجراءات (EU-OSHA 2023a). وقد وجد مسح شمل 34,000 عامل في 18 بلداً حول العالم أن 64 بالمئة من المشاركين اتفقوا على أن تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة ساعدت في تقليل كلٍ من عبء العمل والإجْهاد (الكَرْب)، وبالنسبة للعاملين الذين يتمتعون بأماكن عمل منخفضة الإجْهاد (الكَرْب)، فقد عزا 72 بالمئة منهم ذلك جزئياً إلى إمكانية الوصول إلى الأدوات والتكنولوجيا للعمل بشكل مُنتِج (McKendrick 2019).

تتمتع أنظمة الأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي بالقدرة على جعل العمل أكثر جدوى لبعض العمال، فعلى سبيل المثال من خلال تعزيز التعلم البشري والمهارات والتطوير، والسماح بمزيد من التحكم والسلطة للعمال من خلال زيادة الوصول بشكل أكبر إلى المعلومات (Bankins and Formosa 2023). ويميل التحكم في العمل إلى الزيادة عند إدخال الأنظمة الذاتية إلى مكان العمل، لأنها تزيد قدرة العمال على تخصيص الوقت (EU-OSHA 2022a). وبالنسبة لبعض العمال، يمكن لأَتْمَتَة المهام أن تنقلهم إلى وظائف إشرافية أعلى مع اتخاذ قرارات أكثر تأثيراً (EU-OSHA 2023a). ووجدت دراسة أن 92 بالمئة من العاملين في مجال المعرفة[6] الذين شملهم المسح اتفقوا على أن الأَتْمَتَة حسّنت حياتهم في مكان العمل (Zapier 2021).

6 يشمل العاملون في مجال المعرفة، على سبيل المثال، العاملين رفيعي المستوى الذين يطبقون المعرفة النظرية والتحليلية المكتسبة من خلال التدريب الرسمي، لتطوير المُنتَجات والخدمات لمساعدة القارئ العام.

©iStock/gorodenkoff

2.1.1 الأخطار المحتملة المرتبطة بالأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة

عند إدخال الروبوتات أو الهياكل الخارجية في مكان العمل، هناك العديد من الأخطار التي يجب أخذها في الاعتبار وإدارتها بعناية لضمان سلامة العامل. في حين أن الروبوتات فعالة في أن تحل محل البشر في المهام الخطرة، إلا أن العمال المسؤولين عن صيانة أو إصلاح هذه الآلات قد يتعرضون لأخطار جديدة. وبالمثل، يمكن لأَتْمَتَة المهام - المعرفية والبدنية على حد سواء - أن تحسن ظروف السلامة والصحة المهنيتين بشكل كبير، ولكن إذا لم يتم تقييمها وإدارتها بشكل صحيح، فقد تؤدي أيضاً إلى مخاطر جديدة. يتضمن ملخص الأخطار المحتملة المرتبطة بالأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة، كما أبرزتها البحوث المتاحة، القضايا التالية.

الأخطار المتعلقة بالسلامة. تشمل الأخطارُ المتعلقة بالسلامة الشائعة المرتبطة بالروبوتات في مكان العمل مشاكلَ التفاعل بين الإنسان والروبوت، وإجراءات السلامة غير الكافية، والأعطال الميكانيكية والبرمجية، والأخطاء البشرية، وكلها يمكن أن تؤدي إلى حوادث وزيادة الإجْهاد لدى العمال (Ken Institute 2024). يمكن أن تنتج الحوادث في مكان العمل عن سلوك غير مُتوقَّع من الروبوت. وقد يؤدي خلل البرمجيات، أو أعطال أجهزة الاستشعار، أو سوء تفسير الذكاء الاصطناعي، إلى حركات غير متوقعة أو أعطال ميكانيكية، مما يتسبب في إصابات السحق أو الكسور أو التمزق، لاسيما في المواقع الصناعية (EU-OSHA 2022a). وتشكل الطائرات بدون طيار خطر التعرض لرض أو تمزق ناتج عن قوة حادة، لاسيما للمشغلين أو عاملي الخدمة، بسبب الأعطال المفاجئة أو فقدان التحكم (Smith 2019; Arterburn et al. 2017; Campolettano et al. 2017).

ويمكن أن تؤدي الهياكل الخارجية سيئة التصميم أو المُلاءَمة، وخاصة للعاملات، إلى إصابات، وتقييد الحركة، وزيادة أخطار السقوط (CCOHS 2022a; Flor 2023). وفي حالات الطوارئ، قد تعيق هذه الأجهزة الإخلاء السريع أو تسبب إصابات ناجمة عن أعطال (Akyıldız 2023; IOSH 2023). بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يزيد استخدامُها في بيئات ذات درجات حرارة عالية خطرَ حدوث المشاكل المرتبطة بالحرارة، حيث تحتفظ الهياكل الخارجية بحرارة الجسم وتولد الروبوتات حرارة زائدة أثناء الشحن (Mikołajczyk et al. 2023).

ويمكن أن يُسهم الاعتماد المفرط على الأَتْمَتَة، بما في ذلك الأنظمة الروبوتية والهياكل الخارجية، في فقدان مهارات العمال، مما يُقلل قدرتَهم على الاستجابة بفعالية للحالات غير المتوقعة (Tegtmeier et al. 2022). فضلاً عن ذلك، تُشكل أوجهُ ضعف الأمن السيبراني في هذه الأنظمة أخطاراً على السلامة الوظيفية، حيث يمكن للهجمات السيبرانية أن تتجاوز آليات الحماية، مما قد يؤدي إلى عمليات خطرة وغير مقصودة للآلات (Korfmacher 2019).

الأخطار الأرغونومية. يمكن أن تؤدي الوضعية السيئة أثناء التفاعل بين الإنسان والروبوت واستخدام الهيكل الخارجي إلى الإجْهاد الناجم عن الوضعية واضطرابات عضلية هيكلية (ILO 2019; Costantino et al. 2021). وقد يؤدي التعاون مع الروبوتات التعاونية إلى إجْهاد أرغونومي بسبب المهام المتكررة، حيث يجب على العمال الحفاظ على وضعيات مُحدَّدة أو إجراء تعديلات صغيرة مستمرة لتوجيه الآلة أو التفاعل معها. وبمرور الوقت، يمكن أن تساهم هذه الحركات المتكررة في التعب، وإجْهاد العضلات، والألم المزمن (Tegtmeier et al. 2022). في حين أن الهياكل الخارجية مُصمَّمة لتقليل الإجْهاد البدني، إلا أنها يمكن أن تؤدي أيضاً إلى تفاقم الاضطرابات العضلية الهيكلية إذا كانت ثقيلة جداً أو إذا أجبرت الجسم على حركات غير طبيعية أو متكررة. وتتزايد هذه الأخطار عندما لا يتم تصميم الأجهزة أو تعديلها بشكل صحيح لتتناسب مع شكل جسم العامل وحجمه ومتطلبات المهمة المُحدَّدة. فضلاً عن ذلك، غالباً ما تفتقر كلّ من الأنظمة الروبوتية والهياكل الخارجية إلى تصميم يراعي الجنسين، مما يجعلها أقل مُلاءَمةً من الناحية الأرغونومية للنساء اللاتي قد يتعرضن لإجْهاد أكبر وصعوبة في الاستخدام بسبب الاختلافات في حجم اليد ومدى الوصول ومتطلبات القوة (Hislop et al. 2024).

أخطار الضوضاء والاهتزازات. يمكن أن تسبب الروبوتات والهياكل الخارجية مخاطر الضوضاء والاهتزازات، مما قد يساهم في ضرر السمع وعدم الراحة العضلية الهيكلية إذا لم تكن مُصمَّمة بشكل جيد (Costantino et al. 2021).

الأخطار الكيميائية. قد ترتفع درجة حرارة البطاريات في هذه التكنولوجيات أو تطلق مواد تسبب التآكل، مما يشكل أخطار الحروق وتعرض العمال للمواد الكيميائية (Costantino et al. 2021). بالإضافة إلى ذلك، قد يسبب التلامس لمدة طويلة مع المكونات البلاستيكية والمعدنية تهيج الجلد أو ردود فعل تحسسية، لاسيما لدى العمال الذين يستخدمون الهياكل الخارجية القابلة للارتداء أو يعملون في الظروف الحارة أو الرطبة. وفي بعض القطاعات، قد تفاقم الأَتْمَتَة المخاطرَ الكيميائية الموجودة. فعلى سبيل المثال، قد يزيد التعدينُ الآلي خطرَ الإصابة بالسُّحار السِّيليسي نتيجةً لتولد غبار أكثر خطورة (Hoy et al. 2022).

الأخطار التنظيمية والنفسية الاجتماعية. من الممكن أن يُؤدي إدخال الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة إلى ظهور عوامل خطر نفسية اجتماعية جديدة قد تؤثر على الصحة النفسية للعمال ورضاهم الوظيفي ورفاهيتهم العامة. تتعلق بعض الأخطار الرئيسية بما يلي:

- **التحكم في العمل.** قد يُقلل استخدامُ الأنظمة الروبوتية بشكل كبير التحكمَ في العمل، مما يحد من قدرة العمال على اتخاذ القرارات أو ممارسة الإبداع والحكم. وقد يؤدي ذلك إلى الإرهاق العاطفي والانفعال وانخفاض الإحساس بقيمة العمل، لاسيما في قطاعات، مثل التصنيع والخدمات (EU-OSHA 2022a; Smids et al. 2020).
- **وتيرة العمل وعبء المهام.** غالباً ما تُكثّف الأَتْمَتَة العملَ بفرض جداول زمنية صارمة وزيادة وتيرة المهام، مما يؤدي إلى ارتفاع مستويات الإجْهاد (الكَرْب)، ومعدلات الخطأ، والتعب. يجب على العمال المعنيين بصيانة الروبوتات أو يعملون جنباً إلى

جنب معها التكيف مع إيقاع الآلة، غالباً بمرونة محدودة ودون وقت كافٍ للتعافي، مما يزيد خطر الإرهاق البدني والذهني (EU-OSHA 2022b). وتُبقي الحاجة المستمرة إلى مواكبة الكفاءة الروبوتية الضغطَ على العمال، لاسيما في البيئات سريعة الوتيرة، مثل التصنيع والخدمات اللوجستية، حيث قد يؤدي التوافق المستمر مع الأنظمة الروبوتية إلى التعب والإجْهاد (الكَرْب) وانخفاض الرضا الوظيفي بمرور الوقت (Smids et al. 2020). ويُعَدّ العبء المعرفي الزائد مصدر قلق آخر، حيث يجب على العمال مراقبة الأنظمة الروبوتية المعقدة والتفاعل معها مع ضمان توافق مهامهم مع سير العمل الآلي، مما يُقلل التوازن بين المهام الاعتيادية والمتطورة، ويزيد الإجْهاد الذهني (EU-OSHA 2024b).

- **تصميم المهام**. يُمكن للأَتْمَتَة تقسيم العمل إلى مهام صغيرة ومتكررة، مما يُقلل شعورَ العمال بالإنجاز والاستقلالية. وفي بعض الحالات، تُنشئ الروبوتاتُ المتطورة وأنظمة الذكاء الاصطناعي «مهاماً صغيرة» رتيبة تؤثر سلباً على الرضا الوظيفي والمعنويات، كما تُقيّد الاستقلالية وتُقلل معنى العمل (Bérastégui 2021; Tegtmeier et al. 2022; Bankins and Formosa 2023). إضافةً إلى ذلك، قد يؤدي تقسيم العمل إلى مهام صغيرة تُسنَد إلى مصادر خارجية إلى تجزئة الوظائف، والعمالة المُستضعَفة، وانخفاض الرضا الوظيفي (EU-OSHA 2023g).

- **العزلة الاجتماعية**. مع تزايد أَتْمَتَة أماكن العمل، غالباً ما تتضاءل التفاعلات البشرية، وكذلك دعم الأقران أو العمل الإداري، مما يجعل العمال أكثر غرقاً في التكنولوجيات والبيانات. ويمكن أن تؤثر هذه العزلة على الرفاهية الاجتماعية وتخلق بيئة عمل أقل جاذبية (Marsh, E., Vallejos, E. P., & Spence, A. 2022).

- **أوجه عدم المساواة والتمييز**. يمكن أن يؤدي تطبيق الأَتْمَتَة والروبوتات المتطورة إلى تفاقم أوجه عدم المساواة في مكان العمل على نحو غير مقصود. فعلى سبيل المثال، قد يتجاهل تصميمُ تكنولوجيات الروبوتات وتطبيقها احتياجاتِ فئات معينة، مثل النساء أو العمال ذوي الاختلافات البدنية، مما يؤدي إلى مشاكل أرغونومية أو الاستبعاد من مهام معينة (Flor 2023; CCOHS 2022a). وقد يواجه العمال المسنون أيضاً تحديات أكبر في التكيف مع التكنولوجيات الجديدة، حيث قد يستغرقون وقتاً أطول لاكتساب المهارات اللازمة لاستخدامها الفعال، مما قد يجعلهم في وضع غير مؤاتٍ مقارنة بزملائهم الأصغر سناً (IMF 2024a). بالإضافة إلى ذلك، قد يكون العمال في الأدوار ذات المهارات المنخفضة أو القطاعات ذات الوصول المحدود إلى التدريب أكثر عرضة لخطر فقدان وظائفهم، مما يزيد اتساع الفجوة بين المهن عالية ومتدنية المهارات (Murray 2024).

- **انعدام الأمن الوظيفي والتطوير المهني**. يمثل أحد المخاوف الرئيسية المتعلقة بالأَتْمَتَة والتكنولوجيات الرقمية في تأثيرها على التوظيف وعدم المساواة. فقد يعاني العمال في الأدوار ذات المهارات المتدنية أو أولئك غير المُطَّلِعين على التكنولوجيات الجديدة من إجْهاد (كَرْب) وقلق متزايدين بسبب أخطار فقدان الوظائف، حيث أعرب 21 بالمئة من العمال الأوروبيين (EU-OSHA 2023b) و22 بالمئة من عمال الولايات المتحدة عن مخاوفهم بشأن احتمال فقدان الوظائف وخفض الأجور والإجْهاد النفسي (Saad 2023). ويمكن أن يساهم عدم اليقين المحيط بالتغييرات التي تثيرها الأَتْمَتَة في إجْهاد نفسي طويل المدى، لاسيما بالنسبة للعمال الذين يفتقرون إلى فرص إعادة اكتساب المهارات أو التقدم الوظيفي. وبمرور الوقت، تتضاءل هذه المخاوف عادةً، لأن فقدان الوظائف ليس منهجياً ويختلف اختلافاً كبيراً في مختلف القطاعات والأدوار (Tamers et al. 2020; Dekker et al. 2017). ومع ذلك، فإن التأثير الأكبر غالباً ما يكون على جودة الوظائف، مما يؤثر على كثافة العمل والاستقلالية ومتطلبات المهارات، وليس على مستويات التوظيف الإجمالية (ILO 2023).

◀ الإجْهاد (الكَرْب) التكنولوجي: تحدٍ ناشئٌ

ظهر «الإجْهاد (الكَرْب) التكنولوجي» نتيجةً للتغير التكنولوجي المستمر، ومن المرجح أن يستمر في الزيادة. وهو شكل من أشكال الإجْهاد (الكَرْب) الناجم عن صعوبة التكيف مع تكنولوجيات الحاسوب الجديدة، بما في ذلك الطلب التكنولوجي على العمل لفترة أطول وأسرع، وصعوبة فهم مهام معينة، أو عدم اليقين المحيط بأنظمة الذكاء الاصطناعي نظراً لتحديثها المستمر (Rohwer et al. 2022).

© iStock/gorodenkoff

2.1 أدوات وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية

تُمكّن تكنولوجيات المراقبة الرقمية من التتبع المستمر للمخاطر في مكان العمل، مما يتيح إصدار تنبيهات فورية وتنفيذ تدابير الوقاية والمكافحة في الوقت المناسب. تدمج هذه الأنظمةُ التكنولوجياتِ القائمة على أجهزة الاستشعار، والأجهزةَ الذكية القابلة للارتداء، والطائرات بدون طيار، والتحليلاتِ التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، والتكنولوجياتِ اللاسلكية التقليدية[7] لتقييم الأخطار الأرغونومية، ومستويات الضوضاء، وجودة الهواء، ودرجات الحرارة القصوى، والمعايير الفيزيولوجية للعمال (EU-OSHA 2022g; Sabino et al. 2024; Brous et al. 2020). ومن خلال مراقبة حركات العمال، ووضعياتهم، ومعدل ضربات القلب، ودرجة حرارة الجسم، ومستويات التعب، تُنتج هذه الأدوات بيانات هامة عن التعرض والصحة، مما يدعم الوقاية من الإصابات، والكشف المبكر عن الأخطار الصحية، وبيئة عمل أكثر أماناً وأوفر صحة (Aksüt et al. 2024; Costantino et al. 2021).

يتزايد استخدام الأنظمة الرقمية الذكية في القطاعات عالية الخطورة، مثل التعدين والبناء والزراعة والمنسوجات والمواد الكيميائية، حيث يزيد العملُ ذو المتطلب البدني والظروف الخطرة أخطارَ الحوادث. وتوفر هذه التكنولوجيات مراقبةً مستمرة، مما يعزز حماية العمال ويحد من الأخطار (Aksüt et al. 2024). بالإضافة إلى توفير تحذيرات فورية بشأن الأخطار المحتملة، يمكنها جمع بيانات قيّمة في مختلف القطاعات، مما يدعم اعتماد تدابير وقائية مُسنَدة بالأدلة (O'Brien 2023).

7 تتضمن التكنولوجياتُ اللاسلكيةُ التقليديةُ التي تدعمُ أنظمةَ المراقبةِ تقنيةَ البلوتوث، وتحديدَ الترددات الراديوية، والشبكةَ اللاسلكية واي فاي (Wi-Fi)، والأشعةَ تحت الحمراء، وأنظمةَ الكاميرات.

نظام إدارة السلامة الذكي في سيول (كوريا الجنوبية)

أطلقت حكومة مدينة سيول نظام إدارة السلامة الذكي لتعزيز السلامة والصحة المهنيتين في مواقع البناء الصغيرة والمتوسطة (Seoul Metropolitan Government 2021). تَستخدِم هذه المبادرةُ الذكاءَ الاصطناعي، وأجهزةَ استشعار إنترنت الأشياء، والمراقبةَ الآنية للكشف عن المخاطر المحتملة - مثل الأخطار الهيكلية أو عدم امتثال العمال لبروتوكولات السلامة - وإرسالَ تنبيهات فورية إلى المشرفين. يُمكّن النظام من التحديد المبكر لعوامل الخطر، ويُسهّل التدخلات السريعة لمنع الحوادث، لاسيما في البيئات عالية الخطورة. كما يُدمج البيانات لتحليل الاتجاهات، مما يُساعد على تحسين التخطيط للسلامة على المدى الطويل. فمن خلال الاستفادة من هذه التكنولوجيات، تهدف المدينة إلى الحد من الحوادث وتحسين الرقابة على السلامة، لاسيما في المواقع التي عادةً ما تحظى باهتمام تنظيمي أقل.

1.2.1 كيف تُسهم أنظمة المراقبة الذكية للسلامة والصحة المهنيتين في تحسين بيئة العمل؟

◄ أجهزة الاستشعار البيئية في مكان العمل والأنظمة التي تعمل بالذكاء الاصطناعي

تتتبع أجهزة الاستشعار البيئية جودة الهواء، ومستويات الضوضاء، ودرجة الحرارة، والرطوبة، مما يُساعد في تحديد المخاطر في مكان العمل.[8] ويمكنها كشف ملوثات الهواء، والغازات والأبخرة الخطرة، وإطلاق تنبيهات لتحذير العمال من الظروف غير الآمنة قبل أن تُصبح حرجة (Zamanian 2023). وتضبط أنظمة التحكم الذكي في المناخ إعدادات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء للحفاظ على ظروف عمل آمنة، مما يُخفف من أخطار الحرارة أو البرودة المفرطة (ILO 2024).

تُعَدّ الطائراتُ المُسَيَّرة المُجهَّزة بكاميرات، وأجهزة الاستشعار لدرجة الحرارة والغازات، والنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) قيّمةً بشكل خاص في البيئات النائية أو الخطرة، مثل مواقع الكوارث أو الأماكن المحصورة، حيث يكون وصول الإنسان محدوداً (Kanellakis and Nikolakopoulos 2017). وتُعزز المراقبةُ بالفيديو التي تعمل بالذكاء الاصطناعي السلامةَ من خلال مراقبة حركات العمال وسلوكياتهم، وإصدار تنبيهات آنية بشأن أي أفعال غير آمنة، مثل الرفع غير السليم، وكشف المخاطر، مثل الانزلاق والتعثر والسقوط، وعدم الالتزام بمعدات الوقاية الشخصية (Katwala 2017; O'Brien 2023). بالإضافة إلى ذلك، تكشف أنظمةُ الصيانة التنبؤية التي تعمل بالذكاء الاصطناعي العلاماتِ المبكرة لأعطال الآلات، مما يمنع تعطلها ويقلل أخطارَ الحوادث (O'Brien 2023).

الحد من الحوادث باستخدام التحليل بالفيديو، الذي يعمل بالذكاء الاصطناعي، للسلامة والصحة المهنيتين

في عام 2022، تعاون الاتحاد التركي لرابطات أصحاب العمل (TİSK) مع شركة ناشئة في مجال التكنولوجيا لإطلاق مشروع «رحلة تركيا نحو صفر حوادث» «Türkiye's Journey to Zero Accidents» باستخدام التحليل بالفيديو، الذي يعمل بالذكاء الاصطناعي، للسلامة والصحة المهنيتين لتحديد المخاطر مبكراً ومنع الحوادث (TİSK 2022). وقد رصدت تقنية Intenseye، التي نُشِرت في أكثر من 25 بلداً، أكثر من 15 مليون فعلٍ وظروفٍ غير آمنة. وتهدف هذه التكنولوجيا إلى تحسين السلامة والإنتاجية وجودة العمل. ويدعم المشروع 200 شركة من 21 منظمة قطاعية. وقد تم إدماج نظام الذكاء الاصطناعي في منشآت هذه الشركات، وأبلغت عن انخفاض في الحوادث في مكان العمل.

8 يعمل إنترنت الأشياء على تعزيز قدرات المراقبة من خلال تمكين القياس عن بُعد للظروف البيئية، مثل درجة الحرارة والصوت والرطوبة، في المواقع الصناعية.

بناءً على هذه القدرات، تُدمِج الأدواتُ التي تعمل بالذكاء الاصطناعي البياناتِ من مصادر متعددة لدعم الإدارة الاستباقية للسلامة والصحة المهنيتين، وتحديد الأخطار والتخفيف منها قبل أن تتفاقم إلى حوادث. وإلى جانب المخاطر الفيزيائية، يُمكن للمراقبة الرقمية تتبع ساعات العمل المفرطة، وفترات الراحة الضائعة، وعلامات الإجْهاد العاطفي، مما يسمح بالتدخلات في الوقت المناسب لمنع الإفراط في العمل والإرهاق (EU-OSHA 2023h). ومن خلال تحليل أنماط التعب والإجْهاد (الكَرْب)، تُقدم الأنظمةُ التي تعمل بالذكاء الاصطناعي توصياتٍ مُخصَّصة ودعماً مُستهدفاً، مما يُعزز رفاهية العمال وسلامتهم العامة (Vorecol 2024). فعلى سبيل المثال، يُمكن لروبوتات الدردشة التي تعمل بالذكاء الاصطناعي والمُخصَّصة للصحة النفسية تحليل أنماط التواصل لتحديد الأخطار النفسية الاجتماعية وتقديم الدعم (Cameron et al. 2017).

أداة قائمة على الذكاء الاصطناعي لمنع الحوادث في مكان العمل بين العمال المؤقتين[9]

في تشرين الأول/أكتوبر 2024، أطلقت شركة توظيف رائدة أداة رقمية متطورة تعمل بالذكاء الاصطناعي ضمن عملياتها في فرنسا، بهدف التنبؤ بالحوادث في مكان العمل والتخفيف منها، مع التركيز بشكل خاص على العمال المؤقتين. فغالباً ما يواجه العمال المؤقتون أخطاراً متزايدة تتعلق بالسلامة بسبب اطِّلاعهم المحدود على أدوار العمل وبيئات العمل المتنوعة. تَستخدِم الأداةُ الجديدة الذكاءَ الاصطناعي لتحليل مجموعة واسعة من البيانات، بما في ذلك ملفات العمال، ومتطلبات المهام، وأنماط الحوادث السابقة. ومن خلال فحص أكثر من ثلاثين من العوامل الرئيسية - مثل عبء العمل البدني، وبيئة العمل، والأخطار المُحدَّدة المتعلقة بالعمل - يحدد النظامُ المخاطرَ التي قد تؤدي إلى وقوع الحوادث. يتيح هذا النهجُ القائم على البيانات لأصحاب العمل التصديَ للأخطار قبل تفاقمها. فعلى سبيل المثال، يمكن تقديم مبادرات مستهدفة للسلامة، مثل جلسات التدريب المُصمَّمة خصيصاً، أو عمليات التفتيش في الموقع، أو برامج الإعداد المُخصَّصة، لإعداد العمال بشكل أفضل لمهامهم.

تعزيز سلامة السائقين باستخدام تكنولوجيا تعمل بالذكاء الاصطناعي[10]

تُحدِث أنظمةُ كاميرات أساطيل المَركَبات، التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، نقلةً نوعية في سلامة الأساطيل من خلال توفير رؤىً آنية لأوضاع الطرق المعقدة، وتعزيز سلوكيات القيادة الآمنة. وباستخدام تكنولوجيات الرؤية الحاسوبية المتطورة و«الحوسبة الطرفية» الأسرع، يلتقط النظام الفيديو ويحلله آنياً، ويرسل تنبيهات للسائقين. تُساعد هذه الأنظمة على التخفيف من الأخطار، مثل القيادة المشتتة، والنعاس، وظروف الطرق غير الآمنة. كما تتضمن بعض الأنظمة أدوات تدريب للسائقين، باستخدام التحليلات لتعزيز ممارسات السلامة والتصدي للسلوكيات المحفوفة بالخطر. تُستخدَم هذه الأنظمة على نطاق واسع في قطاعات مختلفة، مثل البناء، والتوصيل، والنقل بالشاحنات، والخدمات اللوجستية، وخدمات الطعام، حيث تُعَدّ سلامة الأساطيل مهمة للغاية.

9 https://www.groupe-adecco.fr/adecco/securite-au-travail-et-prevention-des-accidents-du-travail-adecco-developpe-le-premier-outil- predictifbase-sur-lintelligence-artificielle/

10 https://www.powerfleet.com/ai-video-telematics-for-safe-fleets/

◄ الأجهزة الذكية القابلة للارتداء

تُرتَدى هذه الأجهزة الذكية على الجسم أو بالقرب منه، **وهي تراقب صحة العمال وسلامتهم**، وتوفر **كشفاً آنياً للخطر**. تتتبع هذه الأجهزة العلامات الفيزيولوجية، مثل معدل ضربات القلب، ودرجة حرارة الجسم، ومستويات الإجهاد (الكَرَب)، بالإضافة إلى العوامل البيئية، مثل جودة الهواء ومستويات الضوضاء. كما تُصدِر تنبيهات فورية بشأن الأخطار المحتملة، مما يُمكّن من الاستجابة في الوقت المناسب (Tucker et al. 2024).

تُعَدّ معدات الوقاية الشخصية الذكية مثالاً مُحدَّداً على التكنولوجيا القابلة للارتداء، حيث تَجمَع بين معدات الوقاية الشخصية التقليدية، مثل الملابس الواقية، مع أجهزة الاستشعار والبطاريات ووحدات نقل البيانات وعناصر تكنولوجية أخرى (EU-OSHA 2020).

يوضح الشكل 1 أنواعاً مختلفة من التكنولوجيات القابلة للارتداء.

◄ الشكل 1 - أمثلة على التكنولوجيات القابلة للارتداء

الخوذات الذكية	الكاميرات القابلة للارتداء	المعلومات الطبية لحالات الطوارئ (Emitags)	أجهزة استشعار العبء البدني للعمل والأرغونوميات
تُراقِب بنشاط معدل ضربات قلب المُستخدِمين، ودرجة حرارة الجسم، والموقع، وبيئة العمل.	تلتقط صوراً ومقاطع فيديو آنية من منظور الشخص الأول، لاستخدامها في إدارة سلسلة التوريد ومراقبة الأمن، ومراقبة الغبار، والتحكم في العمليات، والتفتيش الميداني.	أجهزة ذكية لإنقاذ الحياة، يمكن تثبيتها على قبعة صلبة أو أي سطح مستوٍ ونظيف آخر. تحتوي على معلومات الطوارئ الخاصة بالعاملين، بما في ذلك حالات الحساسية، والظروف الصحية، والأدوية، وتفاصيل الاتصال في حالات الطوارئ.	تُرتَدى على الورك أو الظهر أو الذراع، وتُنبِّه المُستخدِم عند قيامه بحركات أو مهام قد تكون غير آمنة (مثل الرفع غير الملائم)، وتدعم تقييم خطر بيئات العمل السيئة أرغونومياً.

القفازات الذكية	شريط النجاة	الملابس الذكية، مثل السترات	النظارات الذكية
قفازات تحتوي على مادة مولِّدَة للون يتغير لونها عند ملامستها لمواد خطرة.	شريط مرن يمكن ارتداؤه بمفرده أو وضعه داخل غطاء رأس المُستخدِم، وهو يراقب المُشغِّلين ويُنبّههم في حال التعب الواضح، وانخفاض مستوى اليقظة.	مُجهَّزة بأجهزة استشعار لكشف المخاطر البيئية وتغيرات الطقس، بالإضافة إلى المخاطر المحتملة المتعلقة بانخفاض الرؤية، وتوفر هذه الملابس مراقبة آنية للعلامات الحيوية، والوقاية من الإجهاد الحراري، وتحسين الرؤية.	تُوفِّر معلومات بشأن السلامة بدون استخدام اليدين، والواقع المُعزَّز للمهام والمساعدة عن بُعد، ومواجهة مخاوف إجْهاد العين والانحرافات المحتملة.

المصدر: BIS 2024; GAO 2024; Aksüt, et al. 2024; EU-OSHA 2020; EU-OSHA, n.d.

تساعد التكنولوجيات القابلة للارتداء على التخفيف من المخاطر في أماكن العمل الشائعة، بما في ذلك الانزلاق والتعثر والسقوط، والتعرض للمواد الضارة. تكشف الأجهزةُ المجهزةُ بمقاييس تسارعَ الوضعيات والحركات غير الملائمة، وتنبّه العمال إلى أساليب الرفع غير الآمنة والأخطار الأرغونومية (Zhu, R., Song, R., Wang, Y., Wang, H., and Dong, X. 2021). وتراقب أجهزةُ استشعارِ جودة الهواء القابلةُ للارتداء المُركَّباتِ العضوية المتطايرة وأحادي أكسيد الكربون والغازات السامة الأخرى، حيث توفر تنبيهات آنية بالتعرض لحماية العمال من المخاطر المؤثرة على الجهاز التنفسي (EU-OSHA 2022g; DHS 2023). وفي الوظائف عالية الخطورة، مثل مكافحة الحرائق، تساعد أجهزة الاستشعار الكيميائية على مراقبة جودة الهواء وكشف الظروف الخطرة، مما يحد من أخطار التعرض (EU-OSHA 2022g).

استخدام أجهزة استشعار قابلة للارتداء للكشف المبكر عن حالات السقوط من أماكن مرتفعة في العمل وعلاجها

يُعَدّ السقوط من أماكن مرتفعة أحد الأسباب الرئيسية للوفيات في مواقع البناء. وتؤكد الأدبيات الطبية على أن الوقتَ المنقضي بعد الحادث عاملٌ حاسم للبقاء على قيد الحياة وتجنب العجز الدائم. وقد بحثت دراسة أجراها Dogan وAkcamete (2019) في استخدام الأجهزة القابلة للارتداء للكشف عن حوادث السقوط من أماكن مرتفعة في مواقع البناء، وتقديم إخطار آني لفريق الطوارئ الطبي. ووجد تقييم للنظام أن السقوط كُشِف بشكل صحيح، مع إرسال رسالة تنبيه إلى المُستلِمين المُرشَّحين بدقة 100 بالمئة.

خوذة ذكية لتحسين السلامة في صناعة التعدين

طُوِّرت خوذة ذكية تتضمن ميزات متنوعة، مثل الاتصال ثنائي الاتجاه، وكشف الغازات الخطرة، والإخطار في حالة خلع الخوذة أو الاصطدام، وزر طوارئ للحالات الحرجة، والنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) لتتبع موقع عامل المنجم (Dhanalakshmi et al. 2017). وبمجرد اكتشاف غاز سام، تُغلَق الخوذة، ويُزوَّد العامل بالأكسجين عن طريق فتح صمام في أسطوانة الأكسجين. كما تُستخدَم أجهزة استشعار درجة الحرارة والضغط للمراقبة المستمرة للظروف البيئية. تُرسَل المعلومات إلى غرفة التحكم عبر شبكة لاسلكية.

وهناك مثال آخر، فقد طَوّر المعهد الوطني الأمريكي للسلامة والصحة المهنيتين (NIOSH) جهازَ استشعارٍ قابلاً للارتداء لتقييم الغبار.[11] يجمع نظام Helmet-CAM بين كاميرا خفيفة الوزن تُثبّت على الجسم وجهاز مراقبة الغبار لتقييم متى وأين وكيف يتعرض عمال المناجم للغبار الخطر. تقوم برمجيات (تحليل الفيديو المُحسَّن للتعرض للغبار) (EVADE) (Enhanced Video Analysis of Dust Exposure) المُصاحب له بمزامنة لقطات الفيديو مع البيانات المتعلقة بالغبار المُسجَّلة لتحديد المهام والبيئات عالية الخطورة. يُتيح ذلك رؤىً قيّمة، ويؤدي إلى اتخاذ تدخلات للحد من التعرض وتحسين السلامة في الموقع.

11 https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/04/11/2024/monitoring-rcs-mining/

نظام إنذار آني للحركة قابل للارتداء للوقاية من الاضطرابات العضلية الهيكلية لدى عمال البناء

تنتشر الاضطرابات العضلية الهيكلية المرتبطة بالعمل، لاسيما في أسفل الظهر والرقبة، لدى عمال البناء بسبب التعرض لفترات طويلة لوضعيات غير آمنة. لقد طَوّر Yan وآخرون (2017) نظام إنذار آني للحركة باستخدام وحدات قياس القصور الذاتي القابلة للارتداء لمساعدة العمال على مراقبة الوضعيات المحفوفة بالخطر وتصحيحها. يُرسِل النظام تنبيهات عبر تطبيق هاتف ذكي عند اكتشاف حركات خطرة، مما يُساعد على منع الإصابات دون تشتيت انتباه العمال. وقد تم اختبار هذا النظام في ظروف في المختبرات والميدان في موقع بناء في هونغ كونغ (الصين)، ويُوفر هذا النظام طريقة فعالة وغير تدخلية للحد من الأخطار العضلية الهيكلية في مواقع البناء. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن الوضعية السيئة قد تَنتُج عن التعب وضغط العمل والإصابات الناجمة عن مهام أخرى، حيث ينبغي أخذها في الاعتبار عند تقييمات الخطر.

في الصناعات المُحدِثة للضوضاء أو كثيفة الاهتزازات، مثل البناء والتصنيع، تُقيّم التكنولوجياتُ القابلةُ للارتداء مستوياتِ الضوضاء والاهتزازات، وتضمن الامتثال لعتبات السلامة، وتُصدِر تنبيهات عندما يتجاوز التعرض الحدود الآمنة. وبالمثل، تتتبع أجهزةُ استشعارٍ قابلةٌ للارتداء معدلَ ضربات القلب ودرجة حرارة الجسم، مما يُساعد على الوقاية من الأمراض المرتبطة بالحرارة أو انخفاض الحرارة من خلال حثّ العمال على الحصول على فترات راحة وتناول السوائل في الوقت المناسب (Evalan 2025).

الحد من التعرض للضوضاء في مكان العمل باستخدام تكنولوجيا حماية السمع الذكية

تستطيع تكنولوجيا حماية السمع الذكية توفير ملاحظات للعمال حول مستويات الضوضاء الضارة، واكتشاف مخاطر الضوضاء التي تتجاهلها تقييمات الخطر التقليدية. ففي عام 2021، أظهرت تجربة استمرت 12 شهراً، أُجرِيت في مشروع لإنشاء شبكة سكك حديدية عالية السرعة في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية، كيف تجمع الوسائل الذكية لحماية الأذن بيانات حول التعرض للضوضاء في الأذن، ومستويات الضوضاء البيئية، واستخدام وسائل حماية السمع الشخصية، مما يتيح المراقبة الآنية ووضع خرائط للضوضاء في موقع العمل (British Safety Council 2024). لا تحمي هذه الأنظمة العمال من الضوضاء الضارة فحسب، بل تساعد أيضاً في تعديل طرق العمل والقضاء على مخاطر الضوضاء في مصدرها.

كشفت النتائج عن أخطار للضوضاء لم تكن معروفة سابقاً، وحالات تجاوزَ فيها التعرضُ لفترات طويلة العتباتِ الآمنة، حتى مع استخدام وسائل حماية السمع. ساهمت التغييرات التي أُجريت بناءً على البيانات التي جمعتها هذه التكنولوجيا في خفض إجمالي التعرض للضوضاء بنسبة 50 بالمئة، مما يُبرز فعاليتها في تحسين السلامة في مكان العمل، وتعزيز الطرق التقليدية لتقييم الضوضاء في القطاعات عالية الخطورة، مثل إنشاء السكك الحديدية.

نتيجةً لنجاح التجربة، أُدخِلت متطلبات جديدة للضوضاء في موقع البناء. وأُلزِم هذا النظام جميع المقاولين الذين يتعرض العاملون لديهم لمستويات ضوضاء خطرة (80 ديسيبل فأكثر) باستخدام وسائل حماية السمع النشطة فقط المُزوَّدة بإمكانية المراقبة المتكاملة.

إلى جانب الصحة البدنية، يمكن للأجهزة القابلة للارتداء دعم الرفاهية النفسية من خلال مراقبة الإجْهاد (الكَرْب) والتعب والحالة العاطفية، مما يسمح بالتدخلات المبكرة للوقاية من الإرهاق (Yorita et al. 2023).

بالإضافة إلى ذلك، تُحسّن ميزاتُ تتبعِ الموقع الاستجابةَ للطوارئ وسلامةَ العمال، مما يتيح للمشرفين تحديد مواقع العمال أثناء عمليات الإخلاء أو الحوادث الحرجة، حيث يضمن ذلك استجابة أسرع (BIS 2024).

2.2.1 الأخطار المحتملة المرتبطة بأنظمة المراقبة الذكية

في حين أن الأجهزة القابلة للارتداء وأنظمة المراقبة الذكية تُقدِّم فوائد كبيرة لسلامة العمال، إلا أنها تُسبب أيضاً أخطاراً محتملة يجب تقييمها وإدارتها بعناية. والأهم من ذلك، ينبغي أن يُرشِد **المخطط التسلسلي الهرمي لإجراءات التحكم**[12] استخدامَ معدات الوقاية الشخصية الذكية التي يجب اعتبارها الملاذ الأخير. لا تُعَدُ هذه الأجهزة بديلاً عن إزالة المخاطر في مصدرها، وقد تُشجع، عن غير قصد، على تحمل الخطر، خاصةً عندما لا تَظهَر نتائج المراقبة البيولوجية السلبية فوراً. بالإضافة إلى ذلك، قد يصرف التركيزُ على الأخطار الحادة الانتباهَ عن المشاكل المزمنة، مثل المشاكل الصحية طويلة الأمد، أو الإصابات المتكررة التي تتطور بمرور الوقت. وفي حين أن التكنولوجيات القابلة للارتداء قادرة على المراقبة بفعالية لحالات، مثل التعب أو الإجْهاد الحراري، إلا أنها لا تتصدى للعوامل الكامنة، مثل ساعات العمل المفرطة وعوامل الخطر النفسية الاجتماعية الأخرى.

فيما يلي وصف للتحديات الرئيسية المرتبطة بهذه التكنولوجيات بشأن السلامة والصحة المهنيتين، كما هو موضح في الأدبيات.

الأخطار المتعلقة بالسلامة. قد يؤدي تسرب المياه إلى الأجهزة القابلة للارتداء المُزوَّدة بأجهزة استشعار إلى حدوث دارات قصيرة أو صدمات كهربائية (EU-OSHA 2022g). ويمكن أن تؤدي أعطال النظام أو أخطاء نقل البيانات إلى تأخير التنبيهات وزيادة خطر وقوع الحوادث إذا اعتمد العمال بشكل مفرط على التحذيرات المؤتمتة بدلاً من الحفاظ على الوعي الظرفي (EU-OSHA 2023f). ويمكن أن تتداخل الحقول الكهرمغناطيسية التي تولدها هذه الأجهزة أيضاً مع الغِرْسات الطبية، مثل الأجهزة الناظِمَة القلبية (EU-OSHA 2020). وعلى الرغم من ندرتها، تقترح بعض الدراسات أن التعرض لفترات طويلة للإشعاعات المنبعثة من الأجهزة القابلة للارتداء قد يشكل أخطاراً صحية سطحية (Costantino et al. 2021).

راحة المُستخدِم وتَقبُّله. تعتمد فعالية التكنولوجيات القابلة للارتداء بشكل كبير على راحة المُستخدِم وتَقبُّله. فقد تؤدي الأجهزة الضخمة أو سيئة التصميم أو غير المريحة إلى عدم الامتثال (GAO 2024). كما أن مشاكل الحجم، لاسيما فيما يتعلق بالاختلافات بين الجنسين وأنواع الجسم، تزيد تعقيدَ قابلية الاستخدام. وقد يؤدي الاستخدام لفترات طويلة لهذه الأجهزة إلى عدم الشعور بالراحة أو التعب أو الشعور بالعجز، لاسيما أثناء تعطل التكنولوجيا أو انقطاعها (Patel et al. 2022).

الأخطار التنظيمية والنفسية الاجتماعية. يمكن للأجهزة القابلة للارتداء، مثل الساعات الذكية، أن تشتت انتباه العمال، مما يضعف تركيزهم وأدائهم العام. بالإضافة إلى ذلك، قد تسبب ميزات المراقبة في هذه الأجهزة الإجْهاد (الكَرْب) من خلال خلق بيئات عمل عالية الضغط (Star Knowledge 2022). وفي بعض الحالات، من خلال التصدي للأعراض فقط بدلاً من الأسباب الجذرية، قد تؤدي تكنولوجيات المراقبة عن غير قصد إلى استدامة دورة من الإجْهاد (الكَرْب) والإجْهاد العضلي المُفرِط، مما يؤثر في النهاية على الرفاهية العامة للعمال. كما قد تؤدي المراقبة المستمرة للبيانات الفيزيولوجية والبيومترية إلى القلق، حيث يشعر العمال بالتوتر للحفاظ على مقاييس أداء أو مقاييس صحية مُحدَّدة. ويمكن أن يتفاقم هذا الإجْهاد (الكَرْب) بسبب تنبيهات معقدة بشأن السلامة، حيث تتطلب تفسيراً متكرراً، مما يضيف إجْهاداً معرفياً على المهام اليومية (EU-OSHA 2022g).

المخاوف بشأن الخصوصية والأخلاقيات. تُثير تكنولوجيات المراقبة قضايا هامة تتعلق بالخصوصية والأخلاقيات من خلال استخدام الترصد لتتبع تحركات العمال وبياناتهم الفيزيولوجية. ورغم أن هذه الأنظمة تهدف إلى تحسين السلامة، إلا أنها قد تتطور أحياناً إلى مراقبة مستمرة، حيث تُبلِّغ المدراء بسلوك العمال، مما قد يؤدي إلى توبيخ أو عقوبات آلية في حال عدم تحقيق أهداف الأداء. هذا التحول من تعزيز السلامة إلى ترصد العمال قد يُعزز انعدام الثقة ويخلق بيئة عمل عالية الضغط ومثيرة للإجْهاد (الكَرْب) (Internet Society 2015). كما تُثار مخاوف أخلاقية بشأن كيفية استخدام البيانات التي جُمِعَت وتخزينها ومشاركتها. وقد يكون تحكم العمال بمعلوماتهم الصحية الشخصية محدوداً، مما يثير تساؤلات حول الموافقة وأمن البيانات وإساءة استخدامها من قِبَل أصحاب العمل أو أطراف ثالثة (EU-OSHA 2024f).

12 انظُر الإطار في الصفحة 57

© iStock/EvgeniyShkolenko

3.1 الواقع الممتد والواقع الافتراضي

يبرز الواقع الممتد[13]، وخاصة الواقع الافتراضي، كأدوات فعّالة للتدريب على السلامة والصحة المهنيتين في مختلف القطاعات. تُتيح هذه التكنولوجياتُ للعمال ممارسةَ المهام في بيئة مُتحكَّم فيها، مما يُقلل أخطارَ الحوادث أثناء التدريب ويُحسّن من الاحتفاظ بالمهارات.

بالإضافة إلى التدريب، يُمكن للواقع الافتراضي والواقع الممتد دعم تحديد المخاطر والتخطيط للسلامة في مكان العمل. فعلى سبيل المثال، في قطاعي التصنيع والبناء، تُمكّن هذه التكنولوجيات من إنشاء النماذج الأولية الافتراضية، واختبار المشاريع، وتَصوُّر النماذج ثلاثية الأبعاد، مما يُساعد على تحديد المخاطر قبل بدء العمل البدني. وفي قطاعي الخدمات اللوجستية والسيارات، تُساعد التعليمات الآنية وتَراكُبات البيانات على تقليل الأخطاء والإجْهاد البدني (Williams 2019). وفي قطاع الرعاية الصحية، تُتيح عملياتُ المحاكاة التفاعلية للمهنيين الطبيين التَّدرُّبَ على الإجراءات المعقدة بأمان، مما يُحسّن عملية اتخاذ القرار والدقة دون تعريض المرضى للخطر.

13 الواقع الممتد هو مصطلح شامل للتكنولوجيات التفاعلية، بما في ذلك الواقع الافتراضي، والواقع المُعزَّز، والواقع المختلط. يُنشئ الواقع الافتراضي تجربة تفاعلية في مساحة ثلاثية الأبعاد معزولة بصرياً، تُختبَر عادةً من خلال تجهيزات متخصصة. أما الواقع المُعزَّز فهو تجربة تدمج العناصر الافتراضية في الحيز المادي للمُستخدِم. يمزج الواقع المختلط البيئات الرقمية والمادية، مما يسمح بالتفاعل بين الأشياء الواقعية والافتراضية.

1.3.1 كيف يُحسّن الواقعُ الممتد والواقعُ الافتراضي السلامةَ والصحة في العمل

◄ تَحَوُّل التدريب في مجال السلامة والصحة المهنيتين

يُحدِث الواقع الافتراضي تحولاً في التدريب من خلال توفير تجارب تفاعلية انغماسية للبيئات عالية الخطورة التي يصعب محاكاتها نظرياً، مثل الاستجابة للطوارئ، والتدريب على الحرائق، والعمل على ارتفاعات (EU-OSHA 2024d). وتُتيح هذه التكنولوجيا للعمال تجربة مواقف واقعية وممارسة الإجراءات المتعلقة بالسلامة والاستجابة للطوارئ في موقع خاضع للتحكم. يُعزز هذا تطويرَ المهارات واتخاذ القرارات، مع الحد من الحوادث والإصابات الواقعية والتعرض للمواد الخطرة (O'Brien 2023). ويُستخدَم على نطاق واسع في قطاعات، مثل البناء والتعدين والطاقة والمختبرات والمنشآت لتعزيز المهارات وتحسين السلوكيات المتعلقة بالسلامة، بما في ذلك إجراءات الاستجابة للطوارئ (Akyıldız 2023; Srinivasan et al. 2022).

تتيح البيئات الافتراضية التفاعلية للعمال اكتساب مهارات جديدة بسرعة والاحتفاظ بالمعارف بكفاءة أكبر، مما يوفر قوة عاملة مُدرَّبة بشكل أفضل وأكثر كفاءة. تُقدِّم هذه التكنولوجيا فرصة مهمة لتحسين فعالية السلامة والتدريب المتعلق بها، نظراً لقدرتها على السماح للمتدربين بكل من الفشل بأمان، وعرض سيناريوهات يصعب تكرارها في العالم الواقعي، إما بسبب القيود المالية أو مخاوف تتعلق بالسلامة (Stefan et al. 2023). لقد أظهرت الدراسات أن 40 بالمئة من المُتعلِّمين الذين يستخدمون الواقع الافتراضي أفادوا بزيادة ثقتهم مقارنةً بمُتعلِّمي الفصول الدراسية، وتحسناً بنسبة 35 بالمئة في تطبيق المُتعلِّمين الإلكترونيين لما تعلموه (PWC 2020). ووجدت دراسة أخرى في شيلي أن العمال الذين تلقوا تدريباً في مجال السلامة والصحة المهنيتين من خلال الواقع الافتراضي أفادوا بمستويات رضا أعلى مقارنةً بالذين تلقوا تدريباً بالطرق التقليدية. وقدّر العمال بشكل خاص الواقعية والتفاعلية، والجوانب الجذابة والمدهشة والجديدة لصيغة التدريب عبر الواقع الافتراضي.

تدريب رجال الإطفاء بتكنولوجيا الواقع الافتراضي

اعتمدت بعضُ إداراتِ الإطفاء في أستراليا أجهزةَ محاكاةِ تدريبٍ بتكنولوجيا الواقع الافتراضي لإعداد رجال الإطفاء لسيناريوهات عالية الخطورة، بدعم من شركات التكنولوجيا الأسترالية. تتيح عمليات المحاكاة التفاعلية للمُتدرِّبين تجربة ظروف حريق واقعية، قد تكون خطيرة للغاية لتكرارها في الحياة الواقعية.

تُنتِج تكنولوجيا الواقع الافتراضي دخاناً وناراً وماءً ورغوة لإطفاء الحرائق واقعية للغاية، تُحاكي حالات طوارئ متنوعة، مثل حرائق المنازل وحرائق الطائرات وحرائق الغابات. يرتدي المتدربون أيضاً بدلات حرارية تُحاكي درجات الحرارة الواقعية، مع برمجيات تضبط شدتها بناءً على قربهم من الحريق واتجاههم إليه، مما يُعزز واقعية تجربة التدريب وفعاليتها (Hoey 2024).

يُعتمَد أيضاً التدريب بتكنولوجيا الواقع الافتراضي لتدريب المفتشين، وتزويدهم بالمهارات والمعارف اللازمة لتقييم الأخطار في مكان العمل بفعالية. ومن خلال تفاعل المفتشين في عمليات محاكاة واقعية وتفاعلية، يُعزِّز الواقع الافتراضي التعرف على المخاطر، وعمليات التَّحقُّق من الامتثال، واستراتيجيات الإنفاذ، مع الحد من التعرض للأخطار الفعلية في مكان العمل (Aati et al. 2020).

تدريب المفتشين بتكنولوجيا الواقع الافتراضي

التدريب بتكنولوجيا الواقع الافتراضي على عمليات التفتيش في مناطق العمل في الولايات المتحدة الأمريكية

في ولاية ميسوري بالولايات المتحدة، طُوِّرَت منصة تدريب تفاعلية بتكنولوجيا الواقع الافتراضي لتدريب مفتشي وزارة النقل المسؤولين عن مراقبة مناطق العمل (Aati et al. 2020). صمّم فريق البحث سيناريوهَين تفاعليَين لمنطقة عمل على الطرق السريعة، مما أتاح للمفتشين تجربة ظروف واقعية في الموقع وممارسة تقييمات الامتثال. ومن بين 34 مفتشاً اختبروا المنصة، وافق 97 بالمئة منهم على أن تكنولوجيا الواقع الافتراضي توفر أداة تدريبية واقعية وفعالة.

برنامج قَطَر لتدريب مفتشي العمل بتكنولوجيا الواقع الافتراضي

أطلقت وزارة العمل القطرية، بالتعاون مع منظمة العمل الدولية، برنامجاً تدريبياً قائماً على تكنولوجيا الواقع الافتراضي لمفتشي العمل، وهو الأول من نوعه في المنطقة (State of Qatar 2022). تُعزز هذه المبادرة إنفاذ الإجراءات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين من خلال السماح للمفتشين باستكشاف مواقع البناء الافتراضية، وتحديد الأخطار في مكان العمل، وتصحيح الانتهاكات المتعلقة بالسلامة دون الدخول إلى بيئات خطرة. كما يُحسّن البرنامجُ الإرشاداتِ المُقدَّمة لأصحاب العمل والعمال، مما يعزز الامتثال لمعايير السلامة والصحة المهنيتين.

التدريب بتكنولوجيا الواقع الافتراضي لعمليات التفتيش على إصحاح السفن

لمعالجة النقص في ضباط صحة الموانئ المُدرَّبين، والذي تفاقم بسبب جائحة كوفيد-19، أطلقت منظمة الصحة العالمية أداة تدريب بتكنولوجيا الواقع الافتراضي على عمليات تفتيش على إصحاح السفن. توفر هذه المنصة التفاعلية تدريباً عملياً، مما يُمكّن المفتشين من إجراء تقييمات إصحاح شاملة، وتقييمات الخطر، والتواصل مع طواقم السفن في بيئة مُراقَبة. من خلال محاكاة ظروف واقعية، تُعزز تكنولوجيا الواقع الافتراضي المعرفةَ والتأهب بشأن السلامة والصحة المهنيتين، مما يضمن قدرة المفتشين على تحديد الأخطار المتعلقة بالإصحاح والتخفيف منها بفعالية. يستفيد من هذه المبادرة أكثر من 230 ميناءً في الإقليم الأوروبي لمنظمة الصحة العالمية و41 دولة طرفاً في اللوائح الصحية الدولية المُخوَّلة بإصدار شهادات الإصحاح (WHO 2024).

◄ تحسين تحديد المخاطر

إلى جانب التدريب، يتزايد استخدام الواقع الممتد من قِبَل أصحاب العمل لتقييم الخطر في مكان العمل وتحديد المخاطر. فمن خلال إنشاء نماذج افتراضية لبيئات العمل، يُمكّن الواقعُ الممتد المتخصصين في مجال السلامة من تحديد الأخطار المحتملة قبل بدء العمل البدني، لاسيما في المواقع التي يصعب الوصول إليها أو الخطرة، مثل الأماكن المحصورة. والمواقع الصناعية عالية الخطورة (EU-OSHA 2024d). تتيح هذه التكنولوجيا التخطيط الاستباقي للسلامة، مما يقلل احتماليةَ وقوع الحوادث، ويُحسّن السلامة العامة في مكان العمل.

استخدام تكنولوجيا الواقع الافتراضي للكشف عن المخاطر المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين في أستراليا

اعتمدت شركة (Melbourne Water)، وهي هيئة مياه تملكها الدولة في أستراليا، تكنولوجيا الواقع الافتراضي لتحسين تحديد المخاطر المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين في منشآتها (Australian Water Association, 2017). يتيح نظام التفتيش عبر تكنولوجيا الواقع الافتراضي للشركة لفِرق العمل تصميم نماذج افتراضية للمشاريع المستقبلية وكشف المخاطر المتعلقة بالسلامة في تصاميم مرافق معالجة الصرف الصحي قبل بدء البناء.

في عام 2017، أثبت مشروع تجريبي في محطة (Cresswell) لمعالجة المياه فعالية هذا النهج، حيث حدد 20 نوعاً من المخاطر المتعلقة بالسلامة باستخدام تكنولوجيا الواقع الافتراضي، مقارنةً بستة أنواع فقط من المخاطر تم كشفها بالطرق التقليدية. وكان العديد من هذه الأخطار مشاكل أرغونومية، والتي ربما تم إغفالها في التقييمات التقليدية. ومنذ ذلك الحين، تم تطبيق النظام في تصميم أكثر من 10 مرافق، مما عزز بشكل كبير التخفيف من الخطر ما قبل البناء.

◄ استخدام الواقع الممتد والواقع الافتراضي لتنفيذ العمليات عن بُعد بأمان

يمكن لتكنولوجيات الواقع الممتد والواقع الافتراضي دعم العمال في أداء مهامهم عن بُعد بأمان، مثل صيانة الآلات وتشغيل المعدات الخطرة، وذلك من خلال محاكاة بيئات العمل الواقعية، والسماح بالتفاعل الخاضع للتحكم مع الأنظمة الافتراضية. يُقلّل هذا الحاجةَ إلى التواجد الفعلي في المواقع الخطيرة، ويساعد العمال على تفادي التعرّض المباشر للبيئات عالية الخطورة. ونتيجةً لذلك، يُسهم الواقع الممتد في الوقاية من الحوادث، ويُتيح سير عمل أكثر أماناً وأوفر صحة، ويُتيح استجابة أسرع للطوارئ، لاسيما في قطاعات، مثل التعدين والبناء والصناعات الثقيلة (EU-OSHA 2024d).

2.3.1 الأخطار المحتملة المرتبطة بالواقع الممتد والواقع الافتراضي

قد يُسبب استخدام تكنولوجيات الواقع الممتد العديد من الأخطار المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين التي تتطلب الإدارة بعناية. ووفقاً للأدبيات، تشمل هذه الأخطار ما يلي:

- **حجب الرؤية.** قد تُعيق نظارات الرأس الخاصة بالواقع الافتراضي الرؤية، مما يزيد خطرَ الاصطدام أو التعثر بالعوائق (Bérastégui 2024).
- **تَوَهان (فقدان التوجه)، وخلل التوازن والتنسيق.** قد يؤثر استخدام تكنولوجيا الواقع الافتراضي على التوازن والتنسيق، مما يزيد خطرَ الانزلاق والتعثر والسقوط (The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland 2020).
- **الأخطار على صحة العين.** قد يؤدي استخدام شاشات الواقع المُعَزَّز، اعتماداً على قرب الشاشة من العينين ومدة التعرض، إلى متلازمة الحاسوب الآلي (متلازمة رؤية الحاسوب)، التي تتميز بإجْهاد العين والتعب والحرمان من النوم (Bérastégui 2024; Friemert et al. 2019; Stoltz et al. 2017; Marklin et al. 2022). فضلاً عن ذلك، يمكن للضوء المنبعث من شاشات تكنولوجيا الواقع المُعَزَّز والواقع الافتراضي أن يُلحق الضرر بشبكية العين ويُسبب حالة الإخْوِلال التَّلْوي «الهيتروفوريا» (Bérastégui 2024). ولمنع هذه الأعراض، يوصى بألا تتجاوز مدة الجلسات 55 إلى 70 دقيقة (Kourtesis et al. 2019).
- **العبء المعرفي الزائد.** قد يؤدي الكم الهائل من البيانات أو المحتوى إلى العبء المعرفي الزائد وما يرتبط به من ضرر (Friemert et al. 2019).
- **الإجْهاد (الكَرْب) الحاد.** يمكن أن تُسبب تكنولوجيات الواقع المُعَزَّز والواقع الافتراضي إجْهاداً حاداً بسبب التعقيد التكنولوجي، وفجوات في المهارات الرقمية، وعبء المعلومات الزائد (EU-OSHA 2024d).
- **النَّوبات.** تُعَدّ المعدلات العالية للتعديل في الضوء المنبعث من نظارات الواقع الافتراضي عامل خطر محتمل لتحفيز النوبات لدى الأفراد المصابين بالصرع المُتَحَسِّس للضوء (Anses 2021).

◄ استخدام الواقع الممتد والداء السيبراني

الداء السيبراني[14] هو معاناة شبيهة بداء الحركة (داء السَّفَر) في الواقع الممتد، وهو يحدث بصرياً بسبب عوامل، مثل حركة الكاميرا، والدوران، والسرعة، والتسارع (Oh and Son 2022). تشمل الأعراض التعب البصري، والصداع، والشحوب، والتعرق، وجفاف الفم، والدَّوخَة، والرَّنَح، والغثيان، والتعب (Souchet et al. 2023).

تُظهِر الدراسات أن الداء السيبراني يؤثر على ما بين 20 و80 بالمئة من مُستخدِمي تكنولوجيا الواقع الافتراضي، مع وجود عوامل، مثل العمر والجنس والخبرة السابقة في الواقع الافتراضي، تؤثر على الاستعداد للإصابة (Brun 2020). يُعَدّ المسنون (أكثر من 50 عاماً) أكثر عرضة للتأثر، وكذلك النساء (Easa 2021). وتم اقتراح أن ارتفاع معدل حدوث هذا المرض لدى الإناث قد يكون مرتبطاً أرغونومياً بالنظارات، حيث تكون الإناث أكثر عرضة للمعاناة من سوء الملاءمة مقارنةً بالذكور (Stanney et al. 2020). وقد يعني ذلك أن العاملات قد يَكُنَّ أكثر عرضة للخطر من الذكور عند استخدام تكنولوجيا الواقع الافتراضي في مكان العمل.

14 https://www.frontiersin.org/research-topics/12692/cybersickness-in-virtual-reality-versus-augmented-reality

© iStock/Tippapatt

4.1 الإدارة الخوارزمية للعمل

تقوم الإدارة الخوارزمية بتخصيص ومراقبة وتقييم مهام العمل وأداء العمال من خلال جمع البيانات على نطاق واسع، والترصد، واتخاذ القرارات الآني، والتقييمات القائمة على المقاييس (Mateescu and Nguyen 2019). وتدمج الإدارة الخوارزمية تكنولوجيات رقمية، مثل تحليلات البيانات الضخمة، والتعلم الآلي، وتحديد الموقع الجغرافي، والأجهزة القابلة للارتداء، لأَتْمَتَة أو دعم الوظائف التي كان يُؤديها المدراء البشريون تقليدياً (ILO 2022). وبينما ينتشر استخدامها بشكل خاص على منصات العمل الرقمية، فقد توسّع نطاقها ليشمل القطاعات التقليدية، بما في ذلك المستودعات، والمصانع، ومراكز الاتصال، والنقل، والرعاية الصحية، والبناء (ILO/European Commission 2024). فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة الأمريكية، يتتبع 80 بالمئة من أكبر أصحاب العمل في القطاع الخاص إنتاجية كل عامل بمفرده باستخدام أنظمة الإدارة الخوارزمية (Kantor et al. 2022).

1.4.1 كيف تُحسّن إدارةُ الخوارزمياتِ السلامةَ والصحة في العمل؟

تتمتع أنظمة الإدارة الخوارزمية بالقدرة على تعزيز مشاركة العمال ورضاهم من خلال التركيز على الدعم بدلاً من التحكم. فعلى سبيل المثال، يُمكن لأساليب، مثل إضفاء سمة الألعاب الالكترونية على العمل، أن تُعزز الرضا الوظيفي من خلال خلق بيئة عمل أكثر تفاعلية (Hughes et al. 2019). بالإضافة إلى ذلك، يُمكن أن تُؤدي مواءمة المهام مع ما يُفضِّله العاملون وتعزيز التعاون بين الزملاء إلى بيئة عمل أكثر إرضاءً. وقد أظهرت الدراسات أنه عند مشاركة العمال في عملية توزيع المهام ومراعاة ما يُفضِّلونه، فإنهم يُحققون زيادة في رضاهم وأدائهم (Feng & Farris 2020). كما يُمكن لأنظمة الإدارة الخوارزمية دعم المدراء من خلال تبسيط عملية اتخاذ القرار، وتحسين الوصول إلى المعلومات، وتقليل المهام المتكررة والإجْهاد (الكَرْب) (Milanez, Lemmens, and Ruggiu 2025).

يمكن لأنظمة الإدارة الخوارزمية تحسين التوازن بين العمل والحياة من خلال تحسين ممارسات الجدولة. يمكن للخوارزميات ضمان عدم إثقال كاهل العمال، مما يوفر لهم إجازة كافية مع الحفاظ على الكفاءة التشغيلية (ILO 2021e). ويمكن لهذه الأنظمة أيضاً المساعدة في توزيع المهام بشكل أكثر عدلاً بين العمال بناءً على البيانات التي جُمِعت، مما يقلل تصوراتِ المحسوبية أو أعباء العمل غير العادلة، والتي تُعَدّ مصادر شائعة للإجْهاد (الكَرْب) في مكان العمل (Mateescu and Nguyen 2019).

يمكن لأنظمة الإدارة الخوارزمية تعزيز تنمية المهارات. يمكن لأنظمة الإدارة الخوارزمية تحديد الفجوات في المهارات والتوصية بخطط تدريب مُخصَّصة، مما يساعد العمال على التكيف مع التغيرات التكنولوجية. ولا يخفف هذا النهج الاستباقي من القلق المتعلق بالأمن الوظيفي فحسب، بل يعزز أيضاً الثقة والتمكين والنمو الوظيفي على المدى الطويل (Murray 2024).

تتمتع أنظمة الإدارة الخوارزمية بالقدرة على مواجهة العنف والتحرش في مكان العمل، مثل التنمر السيبراني، من خلال تحليل أنماط التواصل وكشف السلوكيات غير اللائقة (EU-OSHA 2022d). فعلى سبيل المثال، وصف Medina-Sánchez وآخرون (2020) أداةً تعمل بالذكاء الاصطناعي قادرةً على تحديد الروابط بين سمات شخصية معينة (مثل الاعتلال النفسي) وسلوكيات التنمر السيبراني. ومع ذلك، يتطلب استخدام مثل هذه البرمجيات السلوكية إشرافاً أخلاقياً لمنع إساءة الاستخدام أو العواقب غير المقصودة.

2.4.1 الأخطار المحتملة المرتبطة بالإدارة الخوارزمية للعمل

يمكن أن يُنشِئ تطبيقُ الإدارة الخوارزمية تحدياتٍ تتعلق بالسلامة والصحة المهنيتين تتطلب تقييماً دقيقاً والتخفيف منها.

الأخطار المتعلقة بالسلامة. قد تنشأ الأخطار الوظيفية المتعلقة بالسلامة بسبب تهديدات الأمن السيبراني. فقد تُعرّض انتهاكاتُ البيانات أو حوادثُ الاختراق الضوابطَ الآلية للسلامة للخطر، مما يؤدي إلى أعطال غير متوقعة أو تعريض العمال لبيئات خطرة بسبب اتخاذ قرار خاطئ مدفوع بالذكاء الاصطناعي (EU-OSHA 2022h).

الأخطار الأرغونومية. تزيد طبيعةُ المهام المُدارة خوارزمياً التي تتطلب الجلوس لفترات طويلة، لاسيما في الوظائف المكتبية، خطرَ الإصابة بالاضطرابات العضلية الهيكلية، بما في ذلك ألم الظهر والرقبة (EU-OSHA 2023d). ويمكن أن يؤدي الجلوس لفترات طويلة، إلى جانب جداول زمنية صارمة قائمة على الخوارزميات، والتي تحد من الحركة، إلى وضعية سيئة للجسم، وتَيَبُّس العضلات، وحالات الألم المزمن (EU-OSHA 2023d).

الأخطار التنظيمية والنفسية الاجتماعية. يمكن أن يُدخِل استخدام أنظمة الإدارة الخوارزمية عوامل إجْهاد (كَرْب) جديدة، مما قد يؤثر على الصحة النفسية، والرضا الوظيفي، والرفاهية العامة. تشمل بعض الأخطار الرئيسية ما يلي:

- **التحكم في العمل والاستقلالية.** غالباً ما تُشرِف أنظمة الإدارة الخوارزمية على طرائق تنفيذ العمل وتراقبها وتتحكم فيها، مما يُقلل استقلاليةَ العمال. فعلى سبيل المثال، قد يُقلل التتبعُ المستمر للأنشطة - مثل ضغطات مفاتيح الحاسوب، ومدة المكالمات، وأوقات الاستراحة - سلطةَ اتخاذ القرار لدى العمال (Piasna 2024; CDT 2021). ويمكن أن يؤدي هذا المستوى من الترصد، إلى جانب تقييمات الأداء القائمة على المقاييس، إلى الإنهاك والإجْهاد (الكَرْب)، ومشاكل صحية بدنية، مثل آلام الظهر، والصداع، والمشاكل القلبية الوعائية (Bérastégui 2021).

- **عبء العمل ووتيرة العمل.** يمكن لأنظمة الإدارة الخوارزمية القائمة على البيانات أن تزيد عبءَ العمل وضغط الوقت من خلال تحديد أهداف الإنتاجية أو تقديم توصيات آنية، مما يشجع العمال في كثير من الأحيان على العمل بشكل أسرع ولفترة أطول دون فترات راحة كافية (EU-OSHA 2023f, Moore 2018). كما أن العقوبات القائمة على الخوارزميات، مثل الاقتطاعات من الأجر التلقائية بسبب التأخيرات أو الأخطاء البسيطة، تزيد القلقَ والضغط، مما يؤثر على الصحة النفسية للعمال (EU-OSHA 2023f). ولزيادة الإنتاجية، قد تُطبِّق المنظماتُ أنظمةً تُوجِّه العمال إلى العمل دون فترات راحة قصيرة، أو تقلل الوقت اللازم لإجراءات معينة إلى أدنى حد، أو تجبرهم على العمل بسرعة عالية (EU-OSHA 2022d). وقد تحفز استراتيجياتُ إضفاءِ سمة الألعاب الالكترونية على العمل كثافةَ العمل المفرطة، بينما تعاقب الخوارزمياتُ العمالَ أحياناً على الحصول على فترات راحة طويلة (ILO 2021e). ويمكن أن يؤدي هذا الضغط المستمر إلى الإجْهاد (الكَرَب) وعدم الرضا وأعراض بدنية.

- **تصميم المهام والتطوير الوظيفي.** إذا لم تُصمَّم أنظمة الإدارة الخوارزمية مع مراعاة العدالة، فقد تُرسِّخ التحيزاتِ الضارة في التوظيف والترقيات وتوزيع المهام، مما يُضرّ بفئات معينة بناءً على العرق أو الجنس أو عوامل أخرى (Murray 2024; Jarrahi et al. 2023). ويمكن أن تضر هذه الممارسات بمعنويات العمال وتؤثر سلباً على ثقافة الشركة. بالإضافة إلى ذلك، قد تُساهم تقييمات الأداء التي تعمل بالذكاء الاصطناعي في انعدام الأمن الوظيفي، حيث يخشى العمال أن تَحلَّ التقييمات القائمة على الأَتْمَتَة محلَّ الحكم البشري، مما يؤثر على الترقيات والاستقرار الوظيفي (EU-OSHA 2024b).

- **العزلة الاجتماعية.** قد يُعطي الاستخدام المُفرط للإدارة الخوارزمية الأولوية للإنتاجية على التفاعل مع الأقران، مما يُشعِر العمال بالوحدة والانفصال عن الآخرين. ويُمكن أن يُسهم انخفاض الدعم والتواصل من الأقران والإدارة في العزلة الاجتماعية وعدم الرضا (EU-OSHA 2022d; Bérastégui 2021).

تأثير الإدارة الخوارزمية على جودة الوظائف وظروف العمل في بلدان مختارة

درس تقرير صدر عن منظمة العمل الدولية والمفوضية الأوروبية في عام 2024 تأثير ممارسات الإدارة الخوارزمية على تنظيم العمل وجودة الوظائف والعلاقات الصناعية في قطاعي الخدمات اللوجستية والرعاية الصحية في فرنسا وإيطاليا والهند وجنوب أفريقيا. وخلص التقرير إلى أنه كان لتكنولوجيات الإدارة الخوارزمية تأثيرٌ إيجابي على تنظيم العمل في فرنسا وإيطاليا، دون آثار سلبية كبيرة على جودة الوظائف أو زيادة ترصد العمال. في المقابل، أدى تطبيق الإدارة الخوارزمية في جنوب أفريقيا والهند إلى انخفاض في جودة الوظائف، مع وجود أدلة واضحة على زيادة المراقبة والترصد وكثافة العمل. تسلط هذه الاختلافات الضوء على دور الأطر المؤسسية والتنظيمية في تشكيل تأثير الإدارة الخوارزمية، مُؤكِدةً أن التنفيذ، وليس التكنولوجيا نفسها، هو ما يؤثر على النتائج (ILO/European Commission 2024).

- **المخاوف بشأن الخصوصية والأخلاقيات.** تُعَدّ الأدواتُ الرقمية المُستخدَمة لأغراض الترصد في أنظمة الإدارة الخوارزمية شديدةَ التدخل، وتتمتع بالقدرة على جمع تدفق مستمر من البيانات والمعلومات حول موقع العامل وأفعاله وسلوكه، حتى خارج أوقات العمل. وتشمل تقنياتُ مراقبة معدلات العمل والحضور، على سبيل المثال، التعرّفَ التلقائي على الوجه، ومسح الاتصالات وتحليلها، وتتبع الموقع، والتسجيل عن بُعد لضغطات مفاتيح حاسوب العمال عبر كاميرات الويب أو نشاط الشاشة أو التسجيل الصوتي (Ball 2021). ويمكن لتقنيات الترصد هذه أن تؤثر على رفاهية العمال، وثقافة العمل، والإنتاجية، والإبداع، والتحفيز (Ball 2010). وإلى جانب المراقبة المستمرة، قد يتعرض العمال أيضاً لوابل من التنبيهات والتحذيرات والتذكيرات، مما يُسبب لهم الإجْهاد (الكَرَب)، إذ يُشعِرهم بالمراقبة المستمرة (EU-OSHA 2022g).

5.1 تغيير أنماط العمل من خلال الرَّقْمَنَة

أدَّت رَقْمَنَة أماكن العمل إلى تحويل العمل التقليدي القائم على الحضور المكتبي إلى أنماط عن بُعد، وعمل عن بُعد، وعمل هجين، مع توسيع نطاق العمل عبر الإنترنت وعمل المنصات.

سرّعت جائحة كوفيد-19 هذا الانتقال، حيث دفعت التدابير المتعلقة بالصحة العامة إلى اعتماد العمل عن بُعد على نطاق واسع في العديد من القطاعات (ILO/WHO 2021). وقد مكّنت التطوراتُ في تكنولوجيات العمل عن بُعد والتعاون الرقمي هذا التحولَ بشكل أكبر، مما أتاح للعمال التواصل وإدارة المهام وأداء وظائف العمل عن بُعد بكفاءة أكبر (Elsamani and Kajikawa 2024).

وفي حين انخفض انتشار العمل عن بُعد بدوام كامل بعد الجائحة، أصبحت إجراءاتُ العمل الهجين هي القاعدة. فعلى سبيل المثال، وجدت دراسة من الولايات المتحدة أن 41 بالمئة من العمال الذين لديهم وظائف يمكن القيام بها عن بُعد يعملون الآن وفقاً لجدول زمني هجين (Parker 2023). ومع ذلك، لا يمكن القيام بجميع الوظائف عن بُعد. ففي الاتحاد الأوروبي، يُقدَّر أن 38.5 بالمئة من العمل غير المُستقِّل متوافق مع العمل عن بُعد، وهو أكثر شيوعاً في الوظائف ذات الأجور المرتفعة وكثيفة الاعتماد على الحاسوب التي تتطلب تعليماً متقدماً (Eurofound 2022). والعمل عن بُعد هو الأكثر انتشاراً بين العمال ذوي المهارات العالية، لاسيما النساء وسكان المناطق الحضرية والعاملين في قطاعات الخدمات، مثل المالية وتكنولوجيا المعلومات والصحافة (Eurofound 2022; WEF 2023). وتشمل أمثلةُ الأدوار المناسبة للغاية للعمل عن بُعد متخصصي قواعد البيانات والمحللين الماليين والكتبة في المكاتب (Eurofound 2022).

وإلى جانب العمل عن بُعد، سهّلت الرَّقْمَنَة أيضاً توسيع منصات العمل الرقمية، مما أعاد تشكيل هياكل العمل التقليدية. وتضطلع منصات العمل الرقمية الآن بدور رئيسي في تطور مشهد العمل، حيث تنظم الخدمات وتتوسطها من خلال كلٍ من مهام العمل عبر الإنترنت ومهام العمل في الموقع. تدعم المنصات عبر الإنترنت مجموعة من أنشطة العمل، مثل الترجمة والتصميم وتحليلات البيانات والإشراف على المحتوى وتطوير البرمجيات والكتابة والمساعدة الافتراضية ودعم العملاء. وتستخدم على الموقع الجغرافي، فتعتمد على تتبع موقع المستخدم لإدارة الخدمات عند الطلب، مثل خدمات النقل بسيارات الأجرة وتوصيل الطعام والرعاية المنزلية والتنظيف ورعاية الحيوانات الأليفة والإصلاحات وتخطيط الفعاليات والتسوق الشخصي وخدمات توصيل البريد. وعلى الصعيد العالمي، يُقدَّر عدد العمال المنخرطين في عمل المنصات عبر الإنترنت بين 154 مليوناً و435 مليون[15] عامل، وهو ما يمثل ما يصل إلى 12 بالمئة من القوى العاملة العالمية (Datta et al. 2023). وقد شهد عدد المنصات عبر الأنترنت نمواً ملحوظاً، حيث ارتفعت التقديرات من 193 منصة في عام 2010 إلى 1,070 منصة في عام 2023، مع نمو سريع في الطلب عليها في البلدان النامية. تُعزز هذه المنصات الابتكار وتُتيح فرصاً للعمال والشركات والمجتمع. ومن بين تلك المنصات، تُركز 357 منصة على العمل عبر الإنترنت، تليها منصات خدمات التوصيل (334)، ومنصات نقل فُرادى الركاب (119)، وأعمال الرعاية (121)، والعمل المنزلي (117)، والمنصات الهجينة (22) التي تُقدم خدمات متعددة (ILO 2024c).

1.5.1 كيف تُحسّن أنماطُ العملِ الجديدة السلامةَ والصحة في العمل؟

تُعَدّ المرونة واحدة من المزايا الرئيسية التي يمكن أن يوفرها العمل عن بُعد. تتيح أنماطُ العمل عبر الإنترنت للعاملين تعديلَ جداولهم ومهام عملهم بشكل أفضل لتناسب احتياجاتهم الفردية. وتُسهّل التكنولوجيات الرقمية العمل في أي وقت وفي أي مكان، مما يُلغي الحاجة إلى مكان عمل ثابت ويُقلّل وقت التنقل، مما يُتيح للعاملين تخصيصَ المزيد من الوقت للتطوير الشخصي والحياة الأسرية (ILO/Eurofound 2017; McAllister et al. 2022; EU-OSHA 2023d). ولا تُخفّف هذه المرونة من الإجْهاد (الكَرْب) وتدعم الصحة النفسية فحسب، بل تُعزز أيضاً تنمية المهارات، والإبداع، وتوازن أفضل بين المسؤوليات المهنية والعائلية والاجتماعية (ILO, 2021). فعلى سبيل المثال، في فرنسا، أفاد 85 بالمئة من العاملين عن بُعد الذين شملهم المسح بحرية أكبر في إدارة وقتهم، بينما لاحظ 88 بالمئة تحسناً في التوازن بين العمل والحياة خلال أيام العمل عن بُعد (Lasfargue and Fauconnier 2015). وغالباً ما تؤدي هذه الاستقلالية إلى زيادة الرضا الوظيفي ورفاهية شخصية أفضل (Indradewa 2023).

يمكن للمنصات الرقمية أن تعزز الإدماج من خلال خلق فرص عمل للعمال المُهمَّشين، بمن في ذلك الأشخاص ذوي الإعاقة وكبار السن والأشخاص الذين يتحملون مسؤوليات الرعاية. ومن خلال كسر الحواجز الجغرافية والمؤسسية، يوفر عمل المنصات العمل للأفراد الذين قد يواجهون تحديات في الوصول إلى أسواق العمل التقليدية، مثل النساء اللواتي يُدِرْنَ واجبات تقديم الرعاية أو العاملين في المناطق المحرومة من الخدمات (ILO 2021a; ILO/Eurofound 2017).

بالنسبة لكبار السن والأفراد ذوي الإعاقة، يوفر عمل المنصات خيارات للعمل عن بُعد تُغني عن الحاجة إلى التنقل أو التنقل في أماكن عمل يصعب الوصول إليها (ILO 2021d). على سبيل المثال، يمكن للعمل عن بُعد وعمل المنصات عبر الإنترنت أن يزيدا بشكل كبير فرصَ العمل للأفراد الذين يعانون من قيود على الحركة (EU-OSHA 2023e).

15 يعتمد التقدير على الطريقة المُستخدَمة.

© iStock/South_agency

2.5.1 الأخطار المحتملة المرتبطة بالعمل عن بُعد والعمل عبر الإنترنت

يُشكل العملُ عن بُعد تحدياتٍ لأصحاب العمل في ضمان بيئة عمل آمنة وصحية. وبدون إشراف مباشر أو تقييمات منتظمة للخطر، يمكن أن تمر مخاطر دون أن يلاحظها أحد، مثل الأرغونوميات والأخطار البيئية والتدابير غير الكافية المتعلقة بالسلامة، مما يزيد المخاوفَ بشأن السلامة والصحة المهنيتين (ILO/WHO 2021). ويمثل عمل المنصات أخطاراً إضافية، حيث يعمل العديد من العمال في بيئات أقل تنظيماً وإجراءات حماية محدودة (ILO 2019; Eurofound 2022). ويتفاقم هذا التحدي بسبب العدد المتزايد من العاملين لحسابهم الخاص، والذين غالباً ما يقعون خارج لوائح السلامة والصحة المهنيتين القائمة، مما يثير مخاوف بشأن المساءلة عن السلامة والصحة في مكان العمل. تعمل نماذج الأعمال المتطورة وهياكل التوظيف التي يقودها العمل عبر الإنترنت والعمل المرن، إلى جانب ظهور الإدارة الخوارزمية والذكاء الاصطناعي، على تحويل تنظيم العمل، مما يجعل من الصعب بشكل متزايد الالتزام بمعايير السلامة وضمان إجراءات حماية كافية بشأن السلامة والصحة المهنيتين (EU-OSHA 2025).

الأخطار البيئية والأخطار المتعلقة بالسلامة. بدون تقييمات منتظمة للخطر، قد تعاني أماكن العمل التي يُؤدَّى فيها العمل عن بُعد من إضاءة غير كافية ونوعية هواء رديئة ومخاطر كهربائية والانزعاج الحراري. بالإضافة إلى ذلك، قد يواجه العاملون من المنزل مخاطر الحرائق وضعف التأهب للطوارئ، بسبب عدم إنفاذ لوائح السلامة بشكل منهجي في المساكن الخاصة (EU-OSHA 2024c). ويواجه عمالُ المنصات، لاسيما أولئك الذين يعملون في خدمات التوصيل وخدمات النقل بسيارات الأجرة، أخطاراً متزايدة تتعلق بالسلامة، بما في ذلك ارتفاع احتمال وقوع حوادث الطرق بسبب ساعات العمل الطويلة والمواعيد النهائية الضيقة وظروف المرور الخطرة (EU-OSHA 2024e; ILO 2024c). فضلاً عن ذلك، غالباً ما يفتقر المتعاقدون المستقلون إلى التدابير التي يوفرها صاحب العمل بشأن السلامة، مما يتركهم دون تدريب مناسب أو معدات حماية أو إمكانية الوصول إلى خدمات الصحة المهنية، مما يزيد تعرضَهم للإصابات المرتبطة بالعمل (Eurofound 2022).

الأخطار الأرغونومية. يفتقر العديد من العاملين عن بُعد إلى تجهيزات محطات العمل المناسبة، مما يزيد خطرَ الاضطرابات العضلية الهيكلية، مثل ألم أسفل الظهر والرقبة (Fadel et al. 2023). ففي المكسيك والهند، 27 بالمئة و16 بالمئة فقط من العاملين في المنزل على التوالي لديهم حيز عمل مُخصَّص (ILO 2021d). تشمل الأخطار الأرغونومية الشائعة الجلوس لفترات طويلة، وحركات اليد والمعصم المتكررة، ووضعية الشاشة الخاطئة، مما قد يُسهم في عدم الشعور بالراحة البدنية، وإجْهاد العين، والتعب (EU-OSHA 2021a). كما أن طبيعةَ عمل المنصات القائمة على المكتب تتطلب الجلوس، وتؤدي إلى تُفاقم هذه الأخطار، مما يساهم في الإصابة بالسُّمْنَة، وداء السكري، والأمراض القلبية الوعائية، حيث يمضي العمال ساعات طويلة دون فترات راحة كافية من أجل الحركة (EU-OSHA 2024b). إضافةً إلى ذلك، قد يزيد العملُ في بيئات غير مُحسّنة، مثل المقاهي أو المساحات المشتركة، الإجْهادَ البدني بسبب عدم كفاية المقاعد، وارتفاعات المكاتب غير المناسبة، وضوضاء الخلفية المفرطة، مما يؤثر على الراحة والإنتاجية.

الأخطار على صحة العين. تُحذّر الجمعية الأمريكية لاختصاصيي تصحيح البصر[16] من أن الأفرادَ الذين يقضون ساعتين أو أكثر على نحو متواصل أمام الشاشات معرضون بشكل خاص لخطر إجْهاد العين. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن أن يُؤدّي التعرض للضوء الأزرق من الشاشات عالية الكثافة إلى اضطراب أنماط النوم، وقد يُلحق الضرر بخلايا الشبكية (Cougnard-Gregoire et al. 2023).

الأخطار التنظيمية والنفسية الاجتماعية. ارتبط العمل عن بُعد لفترة طويلة بالاحتراق الوظيفي، والإرهاق العاطفي، والإجْهاد النفسي، وانخفاض الأداء الوظيفي، وارتفاع معدل تَجَدُّد الموظفين، وانخفاض مستويات الإنجاز المهني (Costin et al. 2023).

- **زيادة عبء العمل ووتيرة العمل.** قد يواجه العاملون عن بُعد مستويات عالية من الطلب والكثافة في العمل بسبب المراقبة الدقيقة، وساعات العمل الطويلة، وتوقعات التوافر المستمر (ILO/Eurofound 2017). وتُقرّ الدراسات بأن العاملين عن بُعد عادةً ما يعملون لساعات أطول من نظرائهم في العمل القائم على المكاتب (Rebelo et al. 2024). ففي مسح شمل 406 عاملين عن بُعد في فرنسا، أفاد 61 بالمئة منهم بزيادة ساعات عملهم (Fauconnier and Lasfargue 2015). فضلاً عن ذلك، يواصل بعضُ العاملين عن بُعد العملَ رغم المرض، متجنبين الحصول على إجازة مرضية - ما يُعرف بـ«ظاهرة العمل المستمر» - مما قد يؤدي إلى الإرهاق طويل الأمد (Steidelmüller et al. 2020; EU-OSHA 2024c). وبالنسبة لعمال المنصات، غالباً ما يكون تكثيف عبء العمل مدفوعاً بجدولة خوارزمية، حيث يضع الذكاء الاصطناعي أهدافاً للأداء تشجع على المشاركة المستمرة وتحد من فرص الراحة (EU-OSHA 2023h).

[16] https://www.aoa.org/aoa/documents/healthy20%eyes/digital_eyestrain.pdf

- **فقدان التحكم في العمل والاستقلالية**. قد يكون لتوسيع نطاق استخدام ممارسات الترصد الرقمية لمراقبة العمال عن بُعد تداعيات واسعة النطاق على جودة العمل، مما يؤدي إلى تكثيف العمل وتقليل استقلاليته وانعدام الثقة المتبادل بين العمال والإدارة (EU-OSHA 2023h). درس Lodovici Samek وآخرون (2021) الآثار المترتبة للعمل عن بُعد على المرونة، والاستقلالية، وكثافة العمل، والتوازن بين العمل والحياة، والصحة والسلامة، ووجد أن الترصد المستمر واتخاذ القرارات القائمة على الخوارزميات قد يُسببان إجْهاداً (كَرْباً) متوقعاً، مما يقلل رفاهيةَ العامل ويزيد الإجْهادَ النفسي.

- **العزلة الاجتماعية وضعف التوازن بين العمل والحياة**. غالباً ما تُؤدي قنوات التواصل الافتراضية إلى انخفاض التفاعل الاجتماعي، مما يُؤدي إلى الشعور بالعزلة والوحدة وضعف العلاقات مع الأقران، وبالتالي قد تضعف الإنتاجية والإبداع (Figueiredo et al. 2024; Shirmohammadi et al. 2022). فعلى سبيل المثال، أفاد 56.8 بالمئة من العاملين عن بُعد في المنزل في الاتحاد الأوروبي بالمعاناة من العزلة الاجتماعية (EU-OSHA 2023e). وبالمثل، أشار 63 بالمئة من العاملين عن بُعد في البرازيل إلى أن العزلة عن الزملاء هي عيب رئيسي في أنماط عملهم (ILO/Eurofound 2017). قد يتطلب العمل عبر الإنترنت أيضاً ساعات عمل غير اجتماعية، مما يحد من مرونة العمال في إدارة جداولهم الزمنية ويؤثر على التوازن بين العمل والحياة، وبالتالي قد يؤدي إلى تفاقم العزلة الاجتماعية (ILO 2021e). غالباً ما يفتقر عمال المنصات، لاسيما أولئك الذين يعملون في خدمات عند الطلب، مثل النقل بسيارات الأجرة وتوصيل الطعام، إلى مجتمع عمل مستقر، مما يساهم بشكل أكبر في الانفصال الاجتماعي (Eurofound 2023).

- **العنف والتحرش**. في حين أن العاملين عن بُعد، بسبب عزلتهم، يكونون عموماً أقل تعرضاً للعنف الجسدي أو التحرش المباشر من الأقران والأطراف الثالثة، فإن بيئات العمل عن بُعد وعبر الإنترنت يمكن أن تؤدي أيضاً إلى تفاقم التنمر في مكان العمل، حيث قد تكون السلوكيات الضارة، مثل اللغة المهينة والاستبعاد الاجتماعي والتهديدات أكثر استمراراً في الفضاءات الرقمية (Javed et al. 2023). ويمكن أن يؤدي التنمر السيبراني إلى إجْهاد (كَرْب) شديد وقلق وتأثيرات طويلة المدى على الصحة النفسية (Farley et al. 2015). ويُعَدّ العاملون في وظائف خدمة العملاء عرضة بشكل خاص للإساءة عبر الإنترنت من العملاء، بينما يواجه الصحفيون والمهنيون الذين يتعاملون مع الجمهور تحرشاً رقمياً متزايداً (PersVeilig 2021). كما يواجه عمال المنصات، لاسيما في خدمات التوصيل والنقل بسيارات الأجرة، أخطاراً كبيرة من كلٍ من العنف عبر الإنترنت والعنف البدني. ويُبلِّغ الكثيرون عن تعرضهم للإساءة اللفظية والتهديدات والاعتداءات الجسدية من العملاء أو مُستخدِمي الطرق الآخرين، مع تطور بعض الحوادث إلى سرقة أو اعتداء (EU-OSHA 2023h; ILO 2024c). ويؤدي عدم وجود تدابير أمنية يوفرها صاحب العمل، مثل أنظمة دعم الطوارئ أو سياسات واضحة لمنع العنف، إلى تفاقم هذه الأخطار. لقد وجد مسحٌ شمل 165 منظمة من منظمات الشركاء الاجتماعيين أن 80 بالمئة من المستجيبين اعتبروا عنف وتحرش الطرف الثالث مشكلة خطرة، حيث كان التحرش اللفظي والنفسي أكثر الأشكال المُبلَّغ عنها (Pillenger 2023). وبالنسبة لعمال المنصات، يزيد تعرضَهم لكلٍ من التحرش والعنف البدني غيابُ مساحات عمل آمنة مُخصَّصة وطبيعةُ تفاعلاتهم غير المتوقعة (Eurofound 2023).

◀ إرشادات حول العمل عن بُعد الصحي والآمن

أعدت منظمة العمل الدولية ومنظمة الصحة العالمية الموجز الفني بعنوان «العمل عن بُعد الصحي والآمن» (ILO/WHO 2021). يهدف الموجز إلى توفير معلومات فنية لأصحاب العمل والعاملين عن بُعد وممثلي العمال حول تأثير العمل عن بُعد على الصحة والسلامة والرفاهية. كما يُقدِّم نصائح عملية حول تنظيم العمل عن بُعد وتنفيذه بطريقة تحمي وتعزز الصحة البدنية والنفسية، والرفاهية الاجتماعية.

سلسلة التوريد للرَّقْمَنَة:
اعتبارات بشأن السلامة والصحة المهنيتين

على الرغم من أن ملايين العمال يتأثرون، وسيظلون متأثرين، بالتكنولوجيات الرقمية، إلا أنه ينبغي إيلاء اهتمام خاص لأولئك الذين يساهمون بشكل مباشر في هذه الصناعة، لاسيما في مجالات الإنتاج وإدارة النفايات وتطبيق التكنولوجيا. وقد تم استكشاف هذه المسألة في منشور بعنوان «تغذية الآلة. العمالة البشرية الخفية التي تدعم الذكاء الاصطناعي» (Muldoon et al. 2024)، الذي يدرس القوى العاملة الخفية التي تُغذي نمو الذكاء الاصطناعي. وبصرف النظر عن قطاع العمل أو الدور الوظيفي، غالباً ما يتم تشغيل التكنولوجيات الرقمية، مثل الذكاء الاصطناعي، من قِبَل ملايين العمال ذوي الأجور المنخفضة، الذين يؤدون مهاماً متكررة في ظل ظروف عمل صعبة (Williams 2022). وبعض هذه الوظائف موجودة منذ سنوات، لكن التوسع السريع لقطاعات معينة زاد الضغط على العمال، وغالباً ما يفتقرون إلى إجراءات حماية كافية بشأن السلامة والصحة المهنيتين. بالإضافة إلى ذلك، فإن العديد من هؤلاء العمال هم جزء من الاقتصاد غير المُنظَّم، وبالتالي لا تشملهم قوانين أو لوائح السلامة والصحة المهنيتين.

العاملون الذين يُشغِّلون التكنولوجيات الرقمية

العاملون في مجال توصيف البيانات

يُمثِّل توصيف البيانات - عملية إعداد البيانات لنماذج التعلم الحاسوبي - تحديات كبيرة في مجال السلامة والصحة المهنيتين. يمكن أن تتخذ العملية عدة أشكال، بما في ذلك وضع العلامات والوسم والنسخ والمعالجة. ويُنظَر إلى العمل على أنه لا يتطلب أي مهارة، ومع ذلك فإن التوصيفات عالية الجودة والدقيقة مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً (Smart et al. 2024). وغالباً ما يؤدي العمال مهاماً متكررة للغاية تحت مراقبة صارمة، ويواجهون ممارسات عمل استغلالية وغير مُنظَّمة (Rani and Dhir 2024 Rani and Dhir 2024; Williams 2022). ويُطلَب من العديد منهم تصنيف المحتوى السام دون شفافية كافية أو تعويض عادل أو موارد لمعالجة التأثير النفسي للتعرض للمواد المزعجة (Jensen 2024).

المشرفون على المحتوى

يضطلع المشرفون على المحتوى بدور حاسم في ضمان بقاء الفضاءات عبر الإنترنت آمنة من خلال تحليل وإزالة المحتوى المسيء أو الضار الذي يُنشِئه المُستخدِمون. ومن المتوقع أن يعالجوا من 500 إلى 1,000 تذكرة يومياً، مما يعرضهم لمواد مُصوَّرة (Muldoon et al. 2024) والمواد الصريحة دون دعم كاف للصحة النفسية أو وقت كاف للتعافي مما يَشهَدونه. ويشكل هذا التعرض المستمر للمحتوى العنيف والمزعج أخطاراً جسيمة على الصحة النفسية، بما في ذلك أعراض اضطراب ما بعد الصدمة والاضطراب الثانوي، وتعب التعاطف، والإرهاق (Rani et al., forthcoming). ورغم هذه الأخطار، يُطلَب من بعض المشرفين التوقيع على إخلاء المسؤولية، حيث يُقرُّون باحتمالية حدوث آثار ضارة على الصحة النفسية واضطراب ما بعد الصدمة بسبب عملهم (BBC News 2021).

مهندسو التعلم الآلي

مهندس التعلم الآلي هو مُبرمِج ماهر تقنياً، يُنشِئ أنظمة الذكاء الاصطناعي التي تَستخدِم مجموعات بيانات ضخمة لإنشاء وتطوير خوارزميات قادرة على التعلم وإجراء التنبؤات (BrainStation 2024). ويرتبط عملهم برواتب مغرية وتكنولوجيات متطورة وتنوع وطلب مرتفع (run:ai n.d.). ومع ذلك، يمكن أن تكون الوظيفة شاقة ومُحدِثة للإجْهاد (الكَرْب) بسبب تعقيد البيانات وحجمها الهائل (teal n.d.).

محللو البيانات الضخمة

تشير البيانات الضخمة إلى مجموعات البيانات الكبيرة والمُعقَّدة التي تنتجها مصادر، مثل الأشخاص أو الآلات أو أجهزة الاستشعار، والتي تنمو بسرعة في الحجم (European Commission 2016)، وهي ضخمة جداً بحيث لا يمكن لأنظمة إدارة البيانات التقليدية التعامل معها (Google Cloud n.d.). تتضمن تحليلات البيانات الضخمة فحص مجموعات البيانات هذه باستخدام أدوات، مثل الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي والتحليل الإحصائي، لاستخراج رؤىً قَيِّمَةٍ (Ishwarappa and Anuradha 2015). ومع ذلك، لا تزال التحديات المتعلقة بخصوصية البيانات وأمنها وحَوكَمَتها قائمة، لاسيما عند التعامل مع المعلومات الحساسة (Rawat and Yadav 2021). بالإضافة إلى ذلك، يحد من إمكانات بيئات البيانات الضخمة نقصُ المتخصصين المهرة في علوم البيانات والتحليلات (Google Cloud n.d.).

العاملون في إنتاج التكنولوجيا وإدارة النفايات

عمال المناجم الذين يُنقِّبون عن المعادن الهامة

تُعَدّ المعادن الهامة، مثل الكوبالت والليثيوم والنحاس، مُكوِّنات أساسية للتكنولوجيات الرقمية، إلا أن استخراجها، غالباً ما يتم في مناجم القطاع غير المُنظَّم، يُعرّض العمال لظروف خطيرة (Wilson Center 2021). ويُلقي النمو السريع في الطلب على هذه المعادن، نتيجةً للتقدم التكنولوجي، بضغط إضافي على قطاع التعدين، ويواجه العمال، لاسيما في البلدان النامية، أخطاراً كبيرة تتعلق بالسلامة، وإجراءات حماية محدودة بشأن السلامة والصحة المهنيتين (Landrigan et al. 2022). فعلى سبيل المثال، يأتي أكثر من نصف إمدادات الكوبالت العالمية، المُستخدَمة في الأجهزة الإلكترونية المحمولة والبطاريات القابلة لإعادة الشحن، من جمهورية الكونغو الديمقراطية، حيث يرتبط استخراج هذا المعدن بعمليات غير مُنظَّمة تنطوي على عمل الأطفال، وأخطارٍ تتعلق بالسلامة، وانتهاكاتٍ بيئية، وفسادٍ (Wilson Center 2021).

عمال المصانع في مجال تجميع التكنولوجيا

يواجه عمالُ خطوط تجميع التكنولوجيا ساعاتِ عمل طويلة وظروف عمل غير آمنة، مع حد أدنى من التعويضات (Judge 2023). ومع ذلك، فإن إدماج الذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة يُمكن أن يُحسّن عمليات الإنتاج ومعايير السلامة من خلال تقليل الأخطاء البشرية وعبء العمل في البيئات الخطرة.

النفايات الإلكترونية

مع التوسع السريع في إنتاج التكنولوجيا واستخدامها، من المتوقع أن ترتفع كمية النفايات الإلكترونية إلى 75 مليون طن بحلول عام 2030، وأن تصل إلى 111 مليون طن بحلول عام 2050 (Parajuly et al. 2019). وتتزايد أهمية النفايات الإلكترونية كمورد للعمال في القطاع غير المُنظَّم على امتداد سلسلة القيمة للنفايات الإلكترونية، الذين يقومون باستعادة المعدات الكهربائية والإلكترونية، وإصلاحها، وتجديدها، وإعادة استخدامها، وإعادة تدويرها. إلا أن هؤلاء العمال غالباً ما يتعرضون لظروف عمل خطرة (ILO 2021c). ويشكل هذا أخطاراً صحية جسيمة (السرطان، وأمراض الرئة، والأمراض القلبية الوعائية) بسبب المواد الكيميائية السامة والتخلص غير المناسب منها (ILO 2021c).

ومع ذلك، يمكن للذكاء الاصطناعي والأنظمة الآلية تحسين عملية إعادة التدوير، مما يحد من التعرض للمواد الضارة، ويضمن استعادة الموارد بشكل أكثر كفاءة.

اعتبارات بشأن الصحة البيئية والمهنية

برزت الرَّقْمَنَة كجهة فاعلة رئيسية في الحد من التلوث وفي تعزيز التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون (Huang et al. 2024). يمكن للأنظمة التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، مثل العدادات الذكية وشبكات الطاقة النشطة وأجهزة الاستشعار، أن تعزز كفاءة الطاقة وموثوقيتها، مما يساهم في بيئات عمل أكثر أماناً واستدامة مع المساعدة في الحد من تأثيرات تغير المناخ (OECD n.d.). وكما هو مُوضَّح في العديد من المنشورات الأخيرة لمنظمة العمل الدولية[17] [18]، فإن تغير المناخ يمثل مجموعة متنوعة من الأخطار المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين على العمال، لاسيما من خلال التعرض للحرارة المفرطة والإشعاعات فوق البنفسجية الشمسية وتلوث الهواء والظواهر الجوية المتطرفة والأمراض المنقولة بالنواقل والمواد الكيميائية.

في تكنولوجيات مكان العمل، **يُسهِّل** الذكاء الاصطناعي، إلى جانب الواقع الافتراضي والواقع المُعَزَّز، **العمل عن بُعد والتعاون الافتراضي**، مما يقلل الحاجة إلى السفر، ويقلل بصمةَ الكربون في مكان العمل. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤدي الانتقال من الاجتماعات الحضورية إلى الاجتماعات الافتراضية إلى خفض انبعاثات الكربون بنسبة 94 بالمئة واستخدام الطاقة بنسبة 90 بالمئة (Tao et al. 2021). ولا تحسن هذه التطورات الاستدامة فحسب، بل تعزز أيضاً سلامة العمال من خلال تقليل التعرض للبيئات الخطرة إلى أدنى حد.

ومع ذلك، يجب مراعاة متطلبات الطاقة المتزايدة للذكاء الاصطناعي والتكاليف البيئية. من المتوقع أن تزيد مراكزُ البيانات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، والتي تستهلك طاقةً أكبر بكثير من التطبيقات السحابية التقليدية، انبعاثاتِ الكربون العالمية واستهلاك المياه، مما يؤكد الحاجة إلى ممارسات مستدامة في تشغيلها (Goldman Sachs 2024).

ويُمكِن للتركيز على إدماج الذكاء الاصطناعي في السلامة والصحة المهنيتين بشكل مسؤول أن يزيد فوائدَه إلى أقصى حد مع تقليل تأثيره البيئي إلى أدنى حد، مما يدعم أماكن عمل أكثر أماناً وأوفر صحة وأكثر استدامة.

17 انظُر Ensuring safety and health at work in a changing climate (ILO, 2024)
18 انظُر Heat at Work: Implications for safety and health (ILO, 2024)

© ITU/R.Zaveri

2

معالجة قضايا السلامة والصحة المهنيتين في العصر الرقمي: السياسات والثغرات والجهود التعاونية

نظراً لأن أماكن العمل تتبنى بسرعة تكنولوجيات جديدة، فهناك تركيز متزايد على استخدام فوائدها المحتملة مع التخفيف من الأخطار الكبيرة التي تشكلها على سلامة العمال وصحتهم.

تتناول المبادراتُ الجديدة على المستويات الدولية والإقليمية والوطنية بشكل متزايد تقاطعَ السلامة والصحة المهنيتين والرَّقْمَنَة. وتشمل هذه الجهود إدماج الأحكام المتعلقة بالتكنولوجيا الجديدة في سياسات وممارسات السلامة والصحة المهنيتين مع تضمين اعتبارات بشأن السلامة والصحة المهنيتين في استراتيجيات الرَّقْمَنَة الأوسع.

وفي حين أن لوائح السلامة والصحة المهنيتين القائمة تحمي العمال بشكل عام من خلال التصدي لجميع أنواع الأخطار، بما في ذلك تلك الناتجة عن التكنولوجيات الرقمية، فإن التشريعات المستهدفة للتخفيف من التأثيرات المُحدَّدة للرَّقْمَنَة محدودة للغاية. وإلى جانب التحديثات التشريعية لمواجهة هذه الثغرات، تُعَدّ المعايير الطوعية وبرامج التدريب وحملات التوعية حيوية لتعزيز بيئات عمل أكثر أماناً. وتُعَدّ البحوث وجمع البيانات حول التأثير الإيجابي والسلبي للرَّقْمَنَة على سلامة العمال وصحتهم أمراً ضرورياً لصنع سياسات مستنيرة. يضطلع الشركاء الاجتماعيون بدور حاسم في تشكيل هذه الاستجابات لإدماج التكنولوجيات الرقمية في مكان العمل؛ وتُعَدّ مشاركتهم ضرورية لضمان أن هذه التكنولوجيات تُصمَّم وتُنفَّذ بطرق آمنة وصحية ومُنصِفة (Berg et al. 2023).

يتناول هذا القسم الجهود العالمية والإقليمية والوطنية لحماية السلامة والصحة المهنيتين في ظل الانتقال الرقمي، إلى جانب الإجراءات المُتخَذة على مستوى مكان العمل لتسخير فوائد الرَّقْمَنَة مع منع الأخطار الناشئة وإدارتها.

1.2 الجهود العالمية لضمان عمل آمن وصحي في ظل الانتقال الرقمي

1.1.2 دور منظمة العمل الدولية

يتطلب ضمانُ المبدأِ والحق الأساسيين في بيئة عمل آمنة وصحية التصديَ لتحديات أماكن العمل المتطورة، حيث يجب إدارة المخاطر الجديدة والناشئة - بما في ذلك المخاطر التي فرضتها الرَّقْمَنَة - جنباً إلى جنب مع الأخطار المستمرة. ويتضمن ذلك تبني فوائد الرَّقْمَنَة مع فهم أخطارها المحتملة والتخفيف منها.

توفر اتفاقيات السلامة والصحة المهنيتين الأساسية (وبالتحديد اتفاقية السلامة والصحة المهنيتين، 1981 (رقم 155) واتفاقية الإطار الترويجي للسلامة والصحة المهنيتين، 2006 (رقم 187))[19] إطاراً شاملاً لنهج قائم على النُّظُم في مجال السلامة والصحة المهنيتين، والذي يظل قابلاً للتكيف مع الأخطار المتطورة في مكان العمل.

19 يتعين على الدول الأعضاء، بصرف النظر عن حالة التصديق، احترام وتعزيز وتنفيذ الأحكام المنصوص عليها في الاتفاقيات الأساسية للسلامة والصحة المهنيتين.

◄ أهمية الاتفاقيات الأساسية للسلامة والصحة المهنيتين في مواجهة التحديات الجديدة المرتبطة بالرَّقْمَنَة

تحدد الاتفاقيةُ رقم 155 أهدافاً أساسية، وتحدد المبادئَ الأساسية لسياسة وطنية متماسكة للسلامة والصحة المهنيتين. وهي تغطي العمال في جميع فروع النشاط، وتُعَدّ الأكثر شمولاً بين المعايير الحالية. وتدعو الاتفاقية رقم 187 إلى التحسين المستمر للأطر الوطنية للسلامة والصحة المهنيتين، بما يضمن أن تظل السياسات مستجيبة للتغيرات في عالم العمل، بما في ذلك تلك التي يقودها التحول الرقمي.

- ينبغي للدول الأعضاء، بالتشاور مع أكثر المنظمات تمثيلاً لأصحاب العمل والعمال، **صياغة وتنفيذ سياسة وطنية مُتسِقة بشأن السلامة والصحة المهنيتين وبيئة العمل، ومراجعتها بصورة دورية**، بهدف الوقاية من الحوادث والأضرار الصحية الناتجة عن العمل أو المتصلة به أو التي تقع أثناءه، بالحد من أسباب المخاطر التي تنطوي عليها بيئة العمل إلى أقصى حد ممكن ومعقول، وفقاً للاتفاقية رقم 155 (المادة 4). وفي سياق الرَّقْمَنَة وعالم العمل المتطور باستمرار، يمكن لسياسات السلامة والصحة المهنيتين أن تدمج التحديات والفرص المرتبطة بالتكنولوجيات الناشئة، مع تحديد التدابير اللازمة لتقييم أخطارها والتخفيف منها.

- تُسلّط المادةُ 4(3) من الاتفاقية رقم 187 الضوء على **دور الهيئات الثلاثية في تعزيز ثقافة وقائية للسلامة والصحة**، وضمان مشاركة جميع الجهات المعنية - الحكومات وأصحاب العمل والعمال - بفعالية. ويمكن للهيئات الثلاثية أن تضطلع بدور مهم في مواجهة التكنولوجيات الجديدة التي تنتشر بسرعة في أماكن العمل، بما يضمن تطبيق التدابير الوقائية المناسبة.

- للعمال **الحق في الانسحاب من موقع عمل يعتقدون لسبب معقول أنه يشكل تهديداً وشيكاً وخطيراً** لحياتهم أو صحتهم (المادة 13، الاتفاقية رقم 155). يمتد هذا الحق إلى الحالات التي تفرضها التكنولوجيات الجديدة، على سبيل المثال تَعطُّل الروبوتات المتطورة.

- **يجب** على أصحاب العمل، إلى الحد الممكن والمعقول، **ضمان أن أماكن العمل والآلات والمعدات وطرائق التنفيذ الخاضعة لإشرافهم مأمونة ولا تشكل خطراً على الصحة** (المادة 16، الاتفاقية رقم 155). يمتد هذا الالتزام ليشمل الأدوات الرقمية والأنظمة المؤتمتة، حيث ينبغي لأصحاب العمل التصدي للأخطار المحتملة المرتبطة بالتكنولوجيات الجديدة، مثل تلك الناشئة عن التفاعلات بين الإنسان والآلة، وأعطال الأنظمة، والمخاوف بشأن الأرغونوميات أو الصحة النفسية المرتبطة بالرَّقْمَنَة.

- تؤكد الاتفاقية رقم 155 على أهمية **توفير التدريب والمعلومات الكافية للعمال** - وهو مبدأ يصبح أكثر أهمية مع إدخال التكنولوجيات الرقمية الجديدة، مثل الذكاء الاصطناعي أو الواقع الممتد (المادة 19).

- تؤكد المادتان 19 و20 من الاتفاقية رقم 155 على أهمية **التعاون بين أصحاب العمل والعمال في تنفيذ التدابير في مجال السلامة والصحة المهنيتين على مستوى مكان العمل**.

تُسلّط الاتفاقيتان رقم 155 و187 الضوءَ على الدور الحاسم الذي تضطلع به منظمات أصحاب العمل ومنظمات العمال في إدارة السلامة والصحة المهنيتين، على المستوى الوطني وعلى مستوى مكان العمل على حد سواء. ويضمن هذا التعاون أن تكون سياسات السلامة والصحة المهنيتين شاملة وتواجه التحديات التي تفرضها الرَّقْمَنَة، وتحقيق التوازن بين التطورات التكنولوجية وحماية سلامة العمال وصحتهم.

بالإضافة إلى الاتفاقيات الأساسية، توفر صكوك السلامة والصحة المهنيتين الأخرى أحكاماً ومعلومات قيّمة ذات صلة بتحسين جوانب السلامة والصحة المهنيتين للرَّقْمَنَة.

- تُؤكّد **اتفاقية خدمات الصحة المهنية، 1985 (رقم 161)** على دور خدمات الصحة المهنية في تحديد الأخطار في مكان العمل وتقييمها، وتقديم إرشادات بشأن تنظيم العمل، بما في ذلك تصميم مكان العمل واستخدام الآلات والأدوات والمعدات.
- تتضمن **توصيةُ قائمةِ الأمراض المهنية، 2002 (رقم 194)** الأمراضَ الناجمة عن العوامل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، والاضطرابات العضلية الهيكلية، والاضطرابات النفسية والسلوكية، والتي قد تكون ذات صلة بزيادة الرَّقْمَنَة.
- تضع **اتفاقية العنف والتحرش، 2019 (رقم 190)** إطاراً لمنع العنف والتحرش والتخفيف منهما في عالم العمل، بما في ذلك الحوادث التي تحدث من خلال التكنولوجيات الرقمية، والتي يُمكن أن تكون ذات صلة بمنع التنمر السيبراني وغيره من الأخطار المرتبطة بزيادة الرَّقْمَنَة.

بالإضافة إلى الاتفاقيات والتوصيات القائمة، ستتم مناقشة بند وضع المعايير بشأن العمل اللائق في اقتصاد المنصات خلال الدورتين 113 (2025) و114 (2026) لمؤتمر العمل الدولي، والذي سيشمل اعتبارات بشأن السلامة والصحة المهنيتين.[20] ومن المقرر أيضاً اتخاذ إجراءات معيارية في المستقبل بشأن الأرغونوميات وسلامة الآلات.[21]

من بين المبادئ التوجيهية الفنية ومدونات الممارسات المختلفة لمنظمة العمل الدولية، **تقدم «مدونة الممارسات بشأن حماية البيانات الشخصية للعمال»**[22] إرشادات ذات أهمية خاصة في عالم العمل الذي يتميز بشكل متزايد بمعالجة كميات كبيرة من بيانات العمال.

تتعامل منظمة العمل الدولية بنشاط مع تحديات وفرص الرَّقْمَنَة في العمل من خلال مجموعة من المبادرات التي تهدف إلى دعم الحكومات والعمال وأصحاب العمل في التعامل مع هذا التحول. فعلى سبيل المثال، تؤكد الاستراتيجية العالمية لمنظمة العمل الدولية بشأن السلامة والصحة المهنيتين 2024-2030 [23] على الحاجة إلى البحث والأدوات اللازمة للتعامل مع فرص وتحديات التكنولوجيات الجديدة. كما أطلقت منظمة العمل الدولية مرصد «الذكاء الاصطناعي والعمل في الاقتصاد الرقمي»[24] حيث يهدف إلى أن يكون بمثابة مركز للمعرفة لدعم الحكومات والشركاء الاجتماعيين في فهم وإدارة التحول الرقمي للعمل.[25]

فضلاً عن ذلك، يُسلّط تقرير منظمة العمل الدولية الأخير بشأن الحوار الاجتماعي (2024) الصادر بعنوان «Peak-level Social Dialogue for Economic Development and Social Progress»، الضوء على الدور الحاسم للحوار الاجتماعي في معالجة تحوّلات أماكن العمل الناجمة عن الرَّقْمَنَة، مُشدّداً على التعاون بين الحكومات وأصحاب العمل والعمال لضمان نتائج مُنصِفة وعمل لائق في العصر الرقمي.

تستكشف العديد من المبادرات البحثية على المستوى دون الإقليمي بنشاط التقاطع بين السلامة والصحة المهنيتين والرَّقْمَنَة في أماكن العمل. وتشمل هذه المبادرات:

- بحث حول منصات العمل الرقمية في أوغندا ونيجيريا والهند وكينيا.
- تُجرى دراسات حالة حول ممارسات الإدارة الخوارزمية، تُغطي قطاعات، مثل تجارة التجزئة والأعمال المصرفية في شيلي، وصناعة السيارات في الأرجنتين وماليزيا، والإلكترونيات في ماليزيا. كما أُجرِيت دراسات حالة حول الإدارة الخوارزمية في مجال الخدمات اللوجستية والرعاية الصحية في إيطاليا وفرنسا والهند وجنوب أفريقيا (ILO/European Commission 2024).
- تُجرى مسوح حول سلاسل توريد الذكاء الاصطناعي في شركات إسناد الأنشطة إلى مصادر خارجية لتسيير الأعمال في الهند وكينيا، مع خطط لتشمل الفلبين في نهاية المطاف.

20 انظُر GB.347/INS/2/1/Decision
21 انظُر GB.331/LILS/2
22 انظُر https://www.ilo.org/resource/other/protection-workers-personal-data
23 انظُر https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/40%ed_protect/40%protrav/40%safework/documents/policy/wcms_897539.pdf
24 https://www.ilo.org/all-resources-for-topic?cf206126%206106%1781=0
25 يغطي المرصد حالياً المجالات المواضيعية الأربعة التالية: الذكاء الاصطناعي، والإدارة الخوارزمية، ومنصات العمل الرقمية، والبيانات الشخصية للعمال، على الرغم من وجود خطط للتوسع في المزيد من المجالات المواضيعية في المستقبل.

2.1.2 المبادرات الدولية

أطلقت المجموعات الدولية مبادرات واسعة النطاق لمواجهة التحديات التي تفرضها التكنولوجيات الرقمية.

- **تؤكد خطة عمل مجموعة الدول الصناعية السبع (G7) لاعتماد الذكاء الاصطناعي الآمن والجدير بالثقة الذي يركز على الإنسان في عالم العمل**، على إنفاذ قوانين العمل ومعايير السلامة والصحة المهنيتين، مع مراقبة تأثير الذكاء الاصطناعي على السلامة والصحة المهنيتين، بما في ذلك تقييمات الخطر وعمليات التدقيق.

كما تُطوّر المؤسسات الدولية المعنية بالسلامة والصحة المهنيتين أنشطة ومبادرات تُركّز على جوانب مُحدَّدة من الرَّقْمَنَة وتأثيرها على السلامة والصحة في العمل.

- نظَّمت **الرابطة الدولية للأرغونوميات والعوامل البشرية**[26] العديد من الندوات عبر الإنترنت حول الذكاء الاصطناعي والتفاعل بين الإنسان والروبوت. ففي هذه الندوات، يُقدّم خبراء دوليون في مجال بحوث الروبوتات وجهات النظر حول العوامل البشرية والأرغونوميات في مجال الروبوتات.

- شاركت **مؤسسة السلامة والصحة المهنيتين**[27] بنشاط في مبادرات تتناول الرَّقْمَنَة في مجال السلامة والصحة المهنيتين. وشمل ذلك تنظيم سلسلة ندوات عبر الإنترنت حول «فهم ماهية الذكاء الاصطناعي من أجل الصحة والسلامة»، والتي جمعت خبراء لاستكشاف كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي لتعزيز بروتوكولات السلامة، وتحسين إدارة الخطر، وتبسيط العمليات في مكان العمل.

- **لدى المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (ISO) العديد من المعايير المتعلقة بتكنولوجيا المعلومات والذكاء الاصطناعي، بما في ذلك إدارة الخطر.**[28] وقد وُضِعت معايير السلامة لقطاع الروبوتات الصناعية[29] وكذلك لقطاع الروبوتات غير الصناعية (الخدمية).[30] وتشمل المواضيعُ الأخرى لأنشطة توحيد معايير الروبوتات معاييرَ الأداء والنمطية والمفردات (IFR n.d.). ولا توجد حالياً أي معايير فنية أو معايير بشأن السلامة تركز حصرياً على الهياكل الخارجية. ومع ذلك، فإن المعيار الدولي الحالي «الروبوتات والأجهزة الروبوتية - متطلبات السلامة لروبوتات الرعاية الشخصية»[31]، يتناول متطلبات السلامة لروبوتات الرعاية الشخصية، والتي يمكن اعتبار بعضها هياكل خارجية.

تتخذ المنظمات الدولية لأصحاب العمل وللعمال بشكل متزايد مبادرات للتعامل مع الفرص والتحديات التي تفرضها الرَّقْمَنَة في مكان العمل.

- تدعو **المنظمة الدولية لأصحاب العمل (IOE)** إلى تطوير المهارات والتدريب لضمان جاهزية القوى العاملة للتعامل مع التحولات الرقمية، مع إدراك أهمية إدماج الاعتبارات بشأن السلامة والصحة المهنيتين في تطبيق التكنولوجيات الجديدة. وفي إطار هذا الجهد، نشرت هذه المنظمة عدة تقارير، منها تقرير «الصحة النفسية والرفاهية في العمل»، حيث يتناول الصحة النفسية في سياق أوسع للرَّقْمَنَة في مكان العمل وإدماج التكنولوجيات الجديدة (IOE 2023). بالإضافة إلى ذلك، تناولت مراجعة للسياسات أجرتها هذه المنظمة تأثير الذكاء الاصطناعي على العمل والتوظيف، مُركزةً على إمكاناته التحويلية في قطاع الأعمال، مع تقديم إرشادات استراتيجية بشأن التبني الفعال لتكنولوجيات الذكاء الاصطناعي وإدارتها من قِبَل أصحاب العمل (IOE 2024). وفضلاً عن ذلك، نشرت المنظمة الدولية لأصحاب العمل وشركة (Deloitte) تقريراً مهماً بعنوان «جاهزية مجموعة العشرين لعام 2024: التحول المدعوم بالذكاء الاصطناعي»[32]، حيث يسلط الضوء على أن الذكاء الاصطناعي، رغم قدرته الكبيرة على تعزيز الإنتاجية والكفاءة، إلا أنه يُرافقه تحديات لا بد من معالجتها بشكل استباقي، مثل فقدان الوظائف وخطر تفاقم التفاوتات الاجتماعية.

- كانت **النقابات العمالية العالمية** أيضاً استباقية في التصدي للآثار المترتبة للرَّقْمَنَة على العمال. يدعو **الاتحاد الدولي للنقابات العمالية (ITUC)** إلى تنظيم أقوى للذكاء الاصطناعي والترصد الرقمي لحماية العمال من التمييز وتكثيف العمل[33]. كما يدفع من أجل إجراءات الحماية المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين وحقوق المفاوضة الجماعية لعمال المنصات المتأثرين بالرَّقْمَنَة. يدرس **تقريرُ الشبكة الدولية للنقابات العمالية (UNI Global Union)** الصادر بعنوان «الإدارة الخوارزمية - دليل النقابات العمالية»[34]، الاستخدامَ المتزايد لأدوات الإدارة الخوارزمية في أماكن العمل في جميع أنحاء العالم، حيث يوفر إرشادات للنقابات العمالية حول كيفية التعامل مع المفاوضات بشأن تطويرها وتطبيقها. علاوة على ذلك، جمع **المنتدى الدولي الأول للنقابات العمالية حول تأثير الرَّقْمَنَة على النظام المالي**،[35] الذي عقد في فورتاليزا بالبرازيل في حزيران/يونيو 2022، أكثر من 600 من قادة النقابات من 24 بلداً

26 International Ergonomics & Human Factors Association
27 AI and tech in safety and health
28 Including ISO/IEC 42001:2023 and ISO/IEC 23894:2023
29 Including ISO 1-10218, ISO 2-10218, ISO/TS 15066
30 ISO 13482
31 ISO 13482:2014
32 G2024 20 Readiness Report: AI Powered Transformation
33 AI IS NOT OK | Union action needed on Artificial Intelligence (AI) at work
34 Algorithmic management - A trade union guide
35 International Trade Union Forum seeks solutions to the impacts of digitalization on the financial system

لمناقشة حلول للتخفيف من آثار الرَّقْمَنَة والأَتْمَتَة في القطاع المالي. كما شكلت **الشبكةُ العالمية (IndustriALL) (IndustriALL Global Union)** فريقَ خبراء معنياً بالصناعة 4.0 (Industry 4.0 expert group)[36] لوضع ورقة سياسات حول الرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي والصناعة 4.0 (Industry 4.0)[37] (الثورة الصناعية الرابعة)، مع التركيز على مشاركة العمال وحماية حقوقهم وضمان انتقال عادل إلى الرَّقْمَنَة للعمال. وأجرى **الاتحاد الدولي لعمال البناء والأخشاب** دراسة حول التأثيرات الوطنية والدولية للرَّقْمَنَة على عمال البناء، مسلطاً الضوء على التحديات الخاصة التي تواجه هذه الصناعة[38].

2.2 المبادرات الإقليمية لتسخير الرَّقْمَنَة في تعزيز السلامة والصحة المهنيتين

أُطلِقت مبادرات إقليمية متنوعة في جميع أنحاء العالم، تشمل إجراءات تتعلق بالرَّقْمَنَة بوجه عام، فضلاً عن أنظمة مُستهدفة تتعلق بتكنولوجيا مُحدَّدة. ومع ذلك، تميل هذه المبادرات خارج أوروبا إلى التركيز بشكل أكبر على قضايا أوسع نطاقاً، مثل الاستخدام الأخلاقي للذكاء الاصطناعي، بدلاً من التركيز على السلامة والصحة المهنيتين.

في **الاتحاد الأوروبي**، تُنظم العديدُ من الأطر التنظيمية السلامةَ والصحة المهنيتين في سياق الرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي والروبوتات المتطورة:

- التوجيه الإطاري للسلامة والصحة المهنيتين 89/391/EEC[39] - لا يزال أساسياً لأنه يُرسي مبادئ عامة لسلامة العمال وصحتهم، بما في ذلك الوقاية من الخطر، والتشاور مع العمال، والتدريب. وعلى الرغم من أنه غير مُصمَّم خصيصاً للأنظمة والروبوتات القائمة على الذكاء الاصطناعي، إلا أن نطاقه الواسع يتيح له مواجهة الأخطار المرتبطة بها.
- اللائحة الخاصة بالآلات (EU) 2023/1230[40] - تحل هذه اللائحة الجديدة (سارية المفعول اعتباراً من عام 2027) محل التوجيه الخاص بالآلات 2006/42/EC، وتعزز متطلبات الصحة والسلامة المُلزِمة للآلات المتطورة والروبوتات والأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي. وهي تعالج بشكل مباشر المخاوف بشأن قدرة التوجيه الصادر في عام 2006 على إدارة الأخطار المرتبطة بالذكاء الاصطناعي.

36 يُعرف أيضاً بالثورة الصناعية الرابعة (RI4).
37 Protecting workers' rights in Southeast Asia amid transformation
38 https://www.bwint.org/web/content/cms.media/1837/datas/EN_FoW_Study_Oct2019.pdf
39 Council Directive 391/89/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work
40 Regulation (EU) 1230/2023 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2023 on machinery and repealing Directive 42/2006/EC of the European Parliament and of the Council and Council Directive 361/73/EEC (Text with EEA relevance)

© iStock/Smederevac

- اللائحة الخاصة بالذكاء الاصطناعي (EU) 2024/1689 [41] - يضع هذا التشريع الجديد قواعد مُتسِّقة لأنظمة الذكاء الاصطناعي، لاسيما المُصنَّفة على أنها عالية الخطورة، لضمان الشفافية والرقابة البشرية والضمانات المناسبة لتقليل الأخطار على الصحة والسلامة والحقوق الأساسية إلى أدنى حد.
- التوجيه بشأن عمال المنصات (EU) 2024/2831 [42] - يهدف إلى تحسين ظروف العمل لعمال المنصات وينظم استخدام الخوارزميات في مكان العمل؛ ويفرض الرقابة البشرية في القرارات الرئيسية، بما في ذلك عمليات الفصل من العمل.

إلى جانب التشريعات، تعالج المبادرات في الاتحاد الأوروبي بشكل استباقي تأثير التحول الرقمي على السلامة والصحة المهنيتين.

حملة الوكالة الأوروبية للسلامة والصحة المهنيتين (EU-OSHA) حول العمل الآمن والصحي في العصر الرقمي (2023-2025)

تهدف حملة «أماكن العمل الصحية 2023-2025»[43] إلى إذكاء الوعي بتأثير التكنولوجيات الرقمية الجديدة على العمل وأماكن العمل، وما يرتبط بها من تحديات وفرص بشأن السلامة والصحة المهنيتين. كما توفر المبادرة منصة لتبادل أفضل الممارسات.

تهدف الحملة إلى تحفيز التعاون من أجل تحوّلٍ رقميٍ للعملِ آمنٍ ومُنتِجٍ. وتتمثل إحدى طرق القيام بذلك في التخطيط الاستراتيجي القائم على الأهداف الرئيسية الخمسة التالية:

1. إذكاء الوعي بأهمية التحوّل الرقمي للعمل وآثاره على السلامة والصحة المهنيتين، بما في ذلك دراسة الجدوى من خلال تقديم الحقائق والأرقام.
2. زيادة وعي الجميع ومعرفتهم العملية في جميع القطاعات وأنواع أماكن العمل وفئات مُحدَّدة من العمال (مثل النساء والمهاجرين) حول الاستخدام الآمن والمُنتِج للتكنولوجيات الرقمية في العمل.
3. تحسين المعرفة بالأخطار والفرص الجديدة والناشئة المتعلقة بالتحوّل الرقمي للعمل.
4. تعزيز تقييم الخطر والإدارة الاستباقية الصحية والآمنة للتحول الرقمي للعمل من خلال توفير الوصول إلى الموارد ذات الصلة (مثل قوائم التَّحقُّق والأدوات والإرشادات بشأن الممارسات الجيدة).
5. الجمع بين أصحاب المصلحة لتسهيل تبادل المعلومات والمعارف والممارسات الجيدة، وتحفيز التعاون لتحقيق تحولٍ رقميٍ للعملِ آمنٍ ومُنتِجٍ.

تعطي المجالاتُ الخمسة التالية ذات الأولوية هيكلاً للحملة:

- عمل المنصات الرقمية
- الروبوتات المتطورة والذكاء الاصطناعي
- العمل عن بُعد والعمل الهجين
- الأنظمة الرقمية الذكية
- إدارة العمال من خلال الذكاء الاصطناعي

41 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX3%A32024R1689
42 https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2831/2024/oj/eng
43 تستند الحملات بشكل أساسي إلى نتائج وموارد «OSH Overview on Digitalisation 2020-2023»، وهو برنامج بحثي مدته أربع سنوات حول رَقْمَنَة مكان العمل وآثاره على السلامة والصحة المهنيتين. يقدم موقع الحملات الإلكتروني التالي (www.healthy-workplaces.eu) مجموعة واسعة من المواد والموارد المُصمَّمة لمساعدتك في الترويج للحملات ودعمها. معظم هذه الموارد متاحة بـ25 لغة.

رغم عدم التركيز حصرياً على السلامة والصحة المهنيتين، إلا أن هناك مبادرات إقليمية أخرى ذات أهمية كبيرة لأنها تتناول ظروف العمل والأمن الوظيفي وحقوق العمال في العصر الرقمي.

- يعزز **الاتحادُ الأفريقي** التنميةَ الرقمية والتنمية القائمة على الذكاء الاصطناعي من خلال استراتيجية التحول الرقمي لأفريقيا 2020-2030[44]، وهي جزء من أجندة 2063 الأوسع نطاقاً، والتي تؤكد على حماية البيانات والأمن السيبراني والمهارات الرقمية للقوى العاملة، و«استراتيجية الذكاء الاصطناعي القارية»[45]، التي تدعو إلى استخدام الذكاء الاصطناعي الذي يركز على التنمية والأخلاقيات.

- في **السوق الجنوبية المشتركة (Mercosur)**، يؤكد «الإعلان الرئاسي بشأن الإدماج الرقمي»[46]، الصادر عن حكومات الأرجنتين والبرازيل وباراغواي وأوروغواي، على أهمية وجود استراتيجية إقليمية مُتسِّقة للتحول الرقمي، مع التركيز على البحوث والتطوير والابتكار الأخلاقي.

- ناقشت **منظمة العمل العربية** مستقبل العمل في ضوء الذكاء الاصطناعي[47]، بما في ذلك التركيز على تمكين الشباب والابتكار في مكان العمل. وفي حين لم تكن هناك إشارة مُحدَّدة إلى السلامة والصحة المهنيتين، كانت هناك إشارة عامة لدعم القدرات البشرية باستخدام الذكاء الاصطناعي.

- تركز الاستراتيجية الاقتصادية الإقليمية **لرابطة أمم جنوب شرق آسيا (ASEAN)** بشكل متزايد على الثورة الصناعية الرابعة (RI4)، والتي تشمل اعتماد التكنولوجيات الرقمية والأَتْمَتَة المتطورة.[48] وكجزء من هذه الاستراتيجية، أطلقت هذه الرابطة خطة عمل إطارية للإدماج الرقمي لرابطة أمم جنوب شرق آسيا لتوجيه الدول الأعضاء في اعتماد التكنولوجيات الرقمية في مختلف القطاعات.

كما نَفَّذ الشركاءُ الاجتماعيون مجموعةً من المبادرات المختلفة المتعلقة بالرَّقْمَنَة والسلامة والصحة المهنيتين.

من الأمثلة البارزة على الحوار الاجتماعي «الاتفاق الإطاري للشركاء الاجتماعيين الأوروبيين بشأن الرَّقْمَنَة (2020)»، الذي اعتمده الشركاء الاجتماعيون الأوروبيون في العديد من القطاعات (BusinessEurope, SMEunited - Crafts & SMEs in Europe, the European Centres of Employers and Enterprises providing Public Services, and the European Trade Union Confederation). ويهدف هذا الاتفاق إلى ضمان اتباع نهج محوره الإنسان في التحول الرقمي، ومواجهة تأثيره على تنظيم العمل، وتنمية المهارات، والسلامة والصحة المهنيتين. ويتضمن ذلك التزامات بتوقع التغييرات في مكان العمل وإدارتها، وتعزيز حقوق العمال في التدريب والتشاور، وضمان أن تعزز التكنولوجيات الرقمية حماية السلامة والصحة المهنيتين بدلاً من تقويضهما.

أصدرت منظمات أصحاب العمل الإقليمية تقارير، وعقدت مناقشات لتعزيز الاستخدام المسؤول للتكنولوجيات في أماكن العمل.

- ينخرط **اتحاد أصحاب العمل في رابطة أمم جنوب شرق آسيا** بنشاط في تعزيز الذكاء الاصطناعي المسؤول في مكان العمل. وقد سلط الضوء على الحاجة إلى الحَوكَمَة ومبادئ توجيهية أخلاقية في تطوير تكنولوجيات الذكاء الاصطناعي واستخدامها. ومن خلال المناقشات وبناء الوعي، يهدف إلى ضمان أن تدمج الأعمالُ الذكاءَ الاصطناعي بطرق تحمي حقوق العمال وسلامتهم. ويشمل ذلك توفير الموارد والرؤى حول إدارة المخاطر المرتبطة بتطبيق الذكاء الاصطناعي، مثل فقدان الوظائف وتحيزات البيانات والمخاوف بشأن الخصوصية.

- سلط **اتحاد رجال الأعمال الأوروبيين (BusinessEurope)** الضوء على أهمية تنمية المهارات والتدريب استجابةً للتأثير المتزايد للأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي. وقد دعا إلى وضع أطر تدعم الأعمال في التكيف مع الرَّقْمَنَة، بما في ذلك التصدي لمخاطر الصحة النفسية المرتبطة بالعمل عن بُعد والأَتْمَتَة. ومن المنشورات البارزة تقريرهم الصادر بعنوان «الإدارة الخوارزمية في العمل: تحسين الشفافية لتحقيق المزيد من الثقة في الذكاء الاصطناعي»[49]، حيث يستكشف طرق تعزيز الثقة في الأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي. وعلى المستوى القطاعي، أصدر **المجلس الأوروبي لأصحاب العمل في مجال الصناعات الحديدية والهندسية القائمة على التكنولوجيا (CEEMET)** تقريراً في عام 2021 بعنوان «الرَّقْمَنَة وعالم السلامة والصحة المهنيتين»[50]، حيث يتضمن أقساماً حول الروبوتات التعاونية، والعمل المرن، وأجهزة الاستشعار، ومعدات الوقاية الشخصية الذكية، بالإضافة إلى الأرغونوميات والهياكل الخارجية.

44 Digital Transformation Strategy for Africa 2020-2030
45 Continental Artificial Intelligence Strategy
46 Declaração presidencial sobre a integração digital no MERCOSUL
47 The Future of Work in Light of Artificial Intelligence
48 Consolidated Strategy on the Fourth Industrial Revolution for ASEAN
49 Algorithmic management at work: Improving transparency to achieve more trust in AI
50 Digitalisation and the World of Occupational Safety and Health

كما طورت النقابات العمالية مبادرات على المستوى الإقليمي، بما في ذلك التقارير، والإرشادات بشأن السياسات، وحملات إذكاء الوعي، ومبادرات التدريب.

- أصدر **اتحاد نقابات الأمريكتين** تقريراً بعنوان «من الورشة إلى ساعة نظام ضبط الوقت. من ساعة نظام ضبط الوقت إلى الخوارزمية» حيث يشير إلى أن اللوائح الذكية، والعمل النقابي النشط، والحوار الاجتماعي، والتزام الحكومة هي مكونات أساسية لتحقيق نظام إدارة خوارزمية يعزز سيادة أكبر على ساعات العمل، وحقوقاً وظروف عمل أفضل للعمال.[51]

- شارك **مؤتمر العمل الكاريبي** في مناقشات حول آثار الرَّقْمَنَة في الإقليم.[52] وتركز الجهود على ضمان أن العمال في منطقة البحر الكاريبي لن يُتركوا عرضة لخطر فقدان وظائفهم الناجم عن التكنولوجيات الجديدة. ويعزز المؤتمر المبادرات التعليمية لتحسين المعرفة الرقمية بين العمال.

- أطلقت **الهيئة الدولية للخدمة العامة الدولية** «مشروع مستقبلنا الرقمي»[53] لتدريب ممثلي النقابات في **إقليمها في أفريقيا والشرق الأوسط وشمال أفريقيا** على الحقوق الرقمية والذكاء الاصطناعي والسلامة والصحة المهنيتين في أماكن العمل الرقمية. تزود المبادرة القادة بالمعرفة حول التكنولوجيات الرقمية والحقوق المتعلقة بالبيانات، مما يمكنهم من تعزيز ممارسات العمل الآمنة والمُكتسبَة بالتكنولوجيا داخل نقاباتهم. تتوفر ورش العمل والموارد باللغات العربية والفرنسية والإنجليزية لضمان إمكانية الوصول.

- نشر **الاتحاد الأوروبي لنقابات العمال (ETUC)** «القرار بشأن استراتيجيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الأوروبية» (ETUC 2020)، حيث يدعو إلى مشاركة أقوى للعمال في حَوكَمَة الذكاء الاصطناعي واتخاذ القرارات. يؤكد القرار على حماية العمال[54]، ويدعو إلى تصنيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي التي تؤثر على العمال على أنها عالية الخطورة وخاضعة للوائح صارمة، مما يضمن الامتثال للمبدأ الاحترازي.

- نشر **معهد نقابات العمال الأوروبية** تقريراً بعنوان «تنظيم الإدارة الخوارزمية»[55]، الذي يقدم تقييماً لمسودة توجيه المفوضية الأوروبية بشأن تحسين ظروف العمل في عمل المنصات. وينصّ على أنه ينبغي ضمان الإدارة الخوارزمية العادلة والشفافة من خلال تعزيز قدرة العمال على ممارسة حقوقهم في الوصول إلى بياناتهم بشكل كامل، وتصحيحها، ومحوها، وتقييد معالجتها، وقابلية نقلها. وقد طوّرت وحدة التعليم واستشراف المستقبل في هذا المعهد سلسلة من الدورات التدريبية وأدوات التدريب لتعريف ممثلي العمال بالذكاء الاصطناعي.[56]

- يؤكد تقرير **مجلس نقابات الشمال (الأوروبية)** الصادر بعنوان «مستقبل العمل - التكنولوجيا للناس»[57]، على أنه يجب أن تضمن التكنولوجيا الجديدة التحكمَ الفردي في البيانات الشخصية، مع إعطاء الأولوية للمبادئ الأخلاقية، وأمن البيانات، و«الخصوصية حسب التصميم».

◄ ◄ ◄

3.2 الأطر الوطنية التي تحكم السلامة والصحة المهنيتين والرَّقْمَنَة

1.3.2 السياسات والاستراتيجيات الوطنية

تقوم بعض البلدان بإدماج أحكام تتعلق بأخطار التكنولوجيات الرقمية في سياساتها واستراتيجياتها الوطنية للسلامة والصحة المهنيتين، مع الاعتراف بالحاجة إلى حماية العمال والأعمال من هذه التحديات المتطورة، وتحديد الإجراءات التي يتعين تنفيذها في السنوات القادمة.

- في الأرجنتين، اعتمدت هيئة الإشراف على الأخطار المهنية استراتيجية «الوقاية 4.0»[58]، التي تستخدم السجلات الرقمية لعمليات التفتيش في أماكن العمل، والتدريب على السلامة، وتوفير المعدات. تهدف هذه المبادرة إلى تعزيز حماية العمال من خلال الحلول الرقمية، وتعزيز إدارة الخطر في بيئات العمل المتطورة تكنولوجياً.

51 Del taller al cronómetro. Del cronómetro al algoritmo
52 The future of digital transformation and workforce development in Latin America and the Caribbean
53 Digitalisation Training - Africa/MENA
54 في هذا السياق، يركز القرار على منع الترصد غير المتناسب وغير المُبرَّر في العمل، وحظر المعاملات التمييزية القائمة على خوارزميات مُتحيّزة، ومنع إساءة استخدام حماية البيانات والخصوصية.
55 Regulating algorithmic management
56 Empowering workers: ETUI's training tools on AI's impact in the workplace
57 The future of work – Technology for people
58 New Prevention 4,0 rules, Superintendence of Occupational Risks (SRT)

- تشير «سياسة فنلندا بشأن بيئة العمل والرفاهية في العمل حتى عام 2030»[59] صراحةً إلى تسارع التطورات التكنولوجية، بما في ذلك الروبوتات وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة. وتؤكد على الحاجة إلى تحديد الأخطار التي تُسببها هذه التكنولوجيات والوقاية منها وتقليلها إلى أدنى حد، وتقييم تأثيرها المحتمل على صحة العمال كجزء من التحول المستمر في العمل.

- تدعو «السياسة الوطنية للسلامة والصحة المهنيتين في غيانا[60] (2018)» إلى استخدام التكنولوجيا المناسبة والمعدات الحديثة والتكنولوجيا الحالية والأنظمة الحديثة مع الأخذ في الاعتبار الآثار المتفاوتة التي قد تُحدِثها على البيئة.

- تُدرك «السياسةُ الوطنية الهندية للسلامة والصحة والبيئة في مكان العمل»[61] المخاطرَ الجديدة المتعلقة بالسلامة والأخطار الصحية المرتبطة باعتماد التكنولوجيات الحديثة. وتدعو إلى استخدام تكنولوجيات آمنة ونظيفة، بالإضافة إلى تطبيق أدوات تقييم الخطر بمساعدة الحاسوب لإدارة الأخطار على نحو أفضل.

- تركز «السياسة الوطنية لأوروغواي بشأن السلامة والصحة المهنيتين» على تحديث الإطار التنظيمي للسلامة والصحة المهنيتين ليعكس التطورات في المعرفة والتكنولوجيات الجديدة والتغيرات في عالم العمل.[62]

تتبنى العديد من البلدان استراتيجيات وطنية بشأن الرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي. في حين نادراً ما يتم تناول القضايا المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين بشكل مباشر، فإن هذه الاستراتيجيات تعزز بشكل متزايد نهجاً محوره العامل في الانتقال الرقمي. وتُعَدّ برامج الارتقاء بالمهارات وإعادة اكتساب المهارات والتعليم محوراً رئيسياً، مما يضمن اكتساب العمال للمهارات الرقمية للتكيف مع التحول الوظيفي الذي يقوده الذكاء الاصطناعي (على سبيل المثال، مصر[63] وألمانيا[64] والمكسيك[65] والمملكة العربية السعودية[66] وتونس[67] وأوروغواي[68]). وتؤكد العديد من السياسات على المبادئ الأخلاقية للذكاء الاصطناعي، مع إعطاء الأولوية لرفاهية الإنسان والإنصاف وعدم التمييز وخصوصية البيانات في مكان العمل (أيرلندا[69] والمكسيك[70] وأوروغواي[71]). ويتناول البعضُ الآخر التأثيراتِ المرتبطة بالعمل، مثل المساواة بين الجنسين والإدماج وأوجه الحماية القانونية للعمال، مع الالتزامات بمراجعة قوانين العمل لحماية الحقوق (شيلي[72]). ومن خلال إعطاء الأولوية لهذه المجالات، تعكس استراتيجياتُ الذكاء الاصطناعي الوطنية التزاماً عالمياً متزايداً بالاعتماد المسؤول للذكاء الاصطناعي، مما سيساهم أيضاً في بيئات عمل أكثر أماناً وأوفر صحةً.

2.3.2 الإطار التنظيمي الذي يتصدى للأخطار المحتملة الناشئة عن التكنولوجيات الجديدة

عادةً ما توفر تشريعات السلامة والصحة المهنيتين الحالية حماية واسعة للعمال من جميع الأخطار المهنية، بما في ذلك الأخطار الناشئة عن التكنولوجيات والعمليات الجديدة التي نوقشت في هذا التقرير. وتؤكد الأحكام المشتركة في التشريعات على واجب صاحب العمل في الرعاية وضرورة إجراء تقييمات شاملة للخطر في مكان العمل، والتي تشمل عموماً المخاوف المتعلقة بالرَّقْمَنَة. ومع ذلك، غالباً ما تُعطي قوانين السلامة والصحة المهنيتين الأولوية للمخاطر الفيزيائية - مثل المخاطر التي تُشكلها الروبوتات والعمليات المؤتمتة - وقد تكون أقل ملاءمة للتصدي للأخطار النفسية الاجتماعية الناجمة عن الرَّقْمَنَة والأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي.

ولرأب هذه الفجوة، تَظهَر لوائح جديدة لتنظيم تصميم التكنولوجيات الرقمية الجديدة وتطبيقها واستخدامها، لضمان أنها تعزز السلامة والصحة في مكان العمل مع تقليل الأخطار المرتبطة بها إلى أدنى حد.

- يهدف القرار الأرجنتيني رقم 69/2024 [73]، الصادر عن هيئة الإشراف على الأخطار المهنية، إلى تحديث الوقاية من الخطر في مكان العمل من خلال التكنولوجيا الرقمية. يُمكّن هذا القرارُ الهيئةَ من وضع مبادئ توجيهية لتنفيذ تدابير السلامة القائمة على التكنولوجيا، ويشجع المنظمات على اعتماد أدوات رقمية لتعزيز السلامة والصحة المهنيتين.

59 Safe and healthy working conditions and Work Ability for everyone : Policy for the Work Environment and Wellbeing at Work until 2030
60 Guyana's National Policy on Occupational Safety and Health
61 National Policy on Safety, Health and Environment at the workplace
62 Uruguay´s National OSH Policy
63 National Artificial Intelligence Strategy
64 Artificial Intelligence Strategy of the German Federal Government
65 Mexico›s National AI strategy
66 National Strategy for Data and Artificial Intelligence
67 Tunisia AI Roadmap
68 Uruguay´s National Strategy on AI 2030-2024
69 Roadmap for AI in Ireland
70 Mexico›s National AI strategy
71 Uruguay´s National Strategy on AI 2030-2024
72 Chile's National Policy on AI and Chile's Action Plan on AI
73 Resolución 69/2024

لا تزال اللوائح المُلزِمة بشأن الروبوتات المتطورة وتأثيرها على سلامة العمال وصحتهم في مراحلها الأولى أو غير موجودة في العديد من البلدان.

- شاركت فرنسا بنشاط في الجهود التنظيمية الرامية إلى تحقيق التوازن بين الابتكار وإجراءات حماية العمال. وقد أدرج «قانون العمل الرقمي»[74] قواعد مُحدَّدة لبيئات العمل التي تعمل بمساعدة الروبوتات، مع التركيز على السلامة والصحة والمخاوف الأخلاقية. وتتناول هذه القواعدُ التفاعلَ الآمن بين البشر والروبوتات، مما يضمن التعامل مع التعاون بين الإنسان والروبوت بطريقة تقلل الأخطار التي يتعرض لها العمال إلى أدنى حد.

- في ألمانيا، تغطي معايير الهيئة الألمانية للتأمين الاجتماعي ضد الحوادث (DGUV)، مثل اللائحة 100-500[75]، الآلات الصناعية والروبوتات، وتضع متطلبات إلزامية لأصحاب العمل لضمان سلامة عمالهم. وتغطي هذه اللوائح كل شيء بدءاً من تقييمات الخطر وحتى ضمان وجود تدابير السلامة المناسبة لتشغيل الروبوتات، لاسيما في البيئات التي يعمل فيها البشر جنباً إلى جنب مع الأنظمة المؤتمتة.

تُصدر بعض البلدان قوانين تُرسي الحق في قطع الاتصال، مما يسمح للعمال بعدم الاستجابة للاتصالات المتعلقة بالعمل خارج ساعات العمل. تهدف هذه التدابير إلى منع الإرهاق، وتعزيز التوازن بين العمل والحياة، والحد من المراقبة الرقمية المفرطة. ومن خلال تنظيم استخدام أدوات، مثل البريد الإلكتروني وتطبيقات المراسلة، تساعد هذه القوانين في حماية الوقت الشخصي والصحة النفسية للعاملين في عالم متزايد الترابط.

- قدمت لوكسمبورغ قانون «الحق في قطع الاتصال» في عام 2023[76]، والذي ينص على أن الشركات التي يَستخدِم فيها العاملون الأدواتِ الرقمية لأغراض مهنية يجب أن تحدد نظاماً لضمان احترام الحق في قطع الاتصال خارج ساعات العمل.

- سنّت بلدانٌ أخرى تشريعات مماثلة، بما في ذلك الأرجنتين[77] وأستراليا[78] والنمسا[79] وبلجيكا[80] والبرازيل[81] وشيلي[82] والدنمارك[83] وألمانيا[84] واليونان[85] وأيرلندا[86] وإيطاليا[87] ولوكسمبورغ والمكسيك[88] ومملكة هولندا[89] والبرتغال[90] وإسبانيا[91] والسويد[92] وتركيا[93] وأوكرانيا[49]. وفي بعض الحالات، لا تنطبق هذه القوانين إلا على المنشآت التي تضم عدداً معيناً من العاملين، كما هو الحال في فرنسا[95] (50 عاملاً أو أكثر) أو في كيبيك[96]، كندا (25 عاملاً أو أكثر).

وفيما يتعلق بالخصوصية، لا تتصدى قوانين السلامة والصحة المهنيتين الوطنية عموماً لتحديات أمن البيانات الكبيرة التي تفرضها التكنولوجيات الرقمية والذكاء الاصطناعي في أماكن العمل. وبينما يحكم خصوصية بيانات العمال عادةً القوانين العامة لحماية البيانات بدلاً من اللوائح الخاصة بالعمال، فقد **أدخلت بعض البلدان أحكاماً مُحدَّدة لحماية خصوصية العمال وأمن بياناتهم في بيئة عمل مؤتمتة وقائمة على البيانات بشكل متزايد**. فعلى سبيل المثال، يضع قانون العمل الفرنسي[97] قواعد لمراقبة مكان العمل، مثل كاميرات الترصد وتتبع النشاط عبر الإنترنت، بينما يفرض القانون الفيدرالي الألماني لحماية البيانات[98] لوائح صارمة على جمع بيانات العاملين ومعالجتها وتخزينها. كما اقترحت أستراليا لوائح جديدة لحماية البيانات في إطار استراتيجية الاقتصاد الرقمي[99]، حيث تغطي ترصد العمل عن بُعد، والبيانات البيومترية، واتخاذ القرارات الخوارزمية.

74 https://code.travail.gouv.fr/
75 https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/997
76 https://www.paulhastings.com/insights/practice-area-articles/luxembourg
77 https://iuslaboris.com/insights/the-right-to-disconnect-which-countries-have-legislated/
78 https://www.fairwork.gov.au/employment-conditions/hours-of-work-breaks-and-rosters/right-to-disconnect#:~:text=An20%employee20%has20%a20%right,the20%Right20%to20%disconnect20%section.
79 https://iuslaboris.com/insights/the-right-to-disconnect-which-countries-have-legislated/
80 المرجع نفسه
81 https://www.paulhastings.com/insights/practice-area-articles/brazil
82 المرجع نفسه
83 المرجع نفسه
84 المرجع نفسه
85 المرجع نفسه
86 المرجع نفسه
87 المرجع نفسه
88 المرجع نفسه
89 المرجع نفسه
90 المرجع نفسه
91 https://healthy-workplaces.osha.europa.eu/en/media-centre/news/spains-latest-initiative-puts-spotlight-right-disconnect-and-associatedpreventive-measures
92 https://iuslaboris.com/insights/the-right-to-disconnect-which-countries-have-legislated/
93 المرجع نفسه
94 المرجع نفسه
95 https://www.klgates.com/What-is-new-in-France-right-for-the-employees-to-disconnect2017-22-02-
96 https://www.assnat.qc.ca/Media/Process.aspx?MediaId=ANQ.Vigie.Bll.DocumentGenerique_136423en&process=Default&token=ZyMoxNwUn8ikQ+TRKYwPCjWrKwg+vlv9rjij7p3xLGTZDmLVSmJLoqe/vG7/YWzz
97 Légifrance – Code du travail
98 Federal Data Protection Act
99 Digital Economy Strategy

بدأت البلدان في تنظيم الإدارة الخوارزمية في أماكن العمل للتصدي للأخطار، مثل العقوبات غير العادلة والرصد المفرط والتمييز - وهي ثغرات لا تغطيها عادةً القوانين العامة للسلامة والصحة المهنيتين.

- أدخلت الصين[100] ومملكة هولندا[101] لوائح تؤكد على العدالة والشفافية في خوارزميات مكان العمل.
- في إسبانيا، يُعدِّل القانونُ رقم 12/2021[102] قانونَ النظام الأساسي للعمال، ويُلزِم أصحاب العمل بالإفصاح عن المعايير الخوارزمية التي تؤثر على ظروف العمل. ولدعم الامتثال، أصدرت وزارة العمل والاقتصاد الاجتماعي الإسبانية دليلاً يعزز الشفافية واتخاذ القرارات الخوارزمية العادلة في بيئات العمل الرقمية.
- في الولايات المتحدة الأمريكية، يفرض قانون المساءلة الخوارزمية الصادر في عام 2019[103] تقييمات لأنظمة الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي عالية الخطورة التي تتعامل مع البيانات الشخصية أو تتخذ قرارات آلية.

بيئة الاختبار التنظيمية لتكنولوجيا السلامة الصناعية (Industrial Safetytech Regulatory Sandbox)

يُقدّم التطور السريع للتكنولوجيا فرصاً وتحديات على حد سواء في مجال السلامة الصناعية. وفي حين أن تكنولوجيات، مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والروبوتات، يُمكن أن تعزز السلامة في مكان العمل بشكل كبير، إلا أنه يعيق تبنيها أوجه انعدام اليقين التنظيمي، وضعفُ بيانات الجدوى أحياناً، والحاجةُ إلى بيئات تطوير آمنة. أطلقت شركة Safetytech Accelerator (STA)، وهي مُسرّع تكنولوجيا مقرها لندن تُركز على الابتكار في الصناعات ذات الأهمية الحرجة للسلامة، بالشراكة مع برنامج Discovering Safety التابع للهيئة التنفيذية للصحة والسلامة في المملكة المتحدة (UK HSE)، أول بيئة اختبار تنظيمية لتكنولوجيا السلامة الصناعية في العالم في عام 2023 لمواجهة هذه التحديات.

يهدف المشروع إلى استكشاف أنشطة التقييم والامتثال الفعالة، وتسريع تبني تكنولوجيات مُثبَتَة بشأن السلامة، وفهم وتقليل العوائق التي تعترض تطوير تكنولوجيات جديدة مُنقِذة للأرواح. يجمع نهج بيئة الاختبار المُبتكَر بين الخبرة التنظيمية للهيئة التنفيذية للصحة والسلامة (HSE) ومعرفة برنامج الابتكار لـ(Safetytech Accelerator (STA. حُدّدت التحديات ذات الأولوية في البداية من خلال المشاورات، مع التركيز على السقوط من ارتفاعات، وتصادم المَركَبات، وتشغيل الرافعات، والمناولة اليدوية. وتم اختيار ست شركات تقنية مبتكرة لإجراء دراسات استقصائية. وقد دعمتها الهيئةُ التنفيذية للصحة والسلامة ومرشدون من قطاع الصناعة لمواجهة التحديات بشكل تعاوني، مما يضمن عدم تطوير حلول بشكل منعزل. استمر العمل في بيئة الاختبار التجريبية لمدة ثلاثة أشهر، ونتج عنه مجموعة من التوصيات لتعزيز اعتماد التكنولوجيا في قطاع البناء. وقد أثبت المشروعُ بنجاح قدرة بيئة الاختبار التجريبية التنظيمية التعاونية على تسريع اعتماد تكنولوجيات السلامة المبتكرة في قطاع البناء، مما يساهم في نهاية المطاف في توفير أماكن عمل أكثر أماناً وأوفر صحة.

المصدر: Safetytech Accelerator

دفع الانتشارُ المتزايد للعمل عن بُعد وعمل المنصات الرقمية العديدَ من البلدان إلى سنّ تشريعات خاصة لمواجهة التحديات الفريدة التي تفرضها أنماط العمل المتطورة هذه.[104] فعلى سبيل المثال، منذ بداية جائحة كوفيد-19، صدرت مبادرات تشريعية خاصة بالعمل عن بُعد في العديد من البلدان، مثل النمسا واليونان ولاتفيا والبرتغال ورومانيا وسلوفاكيا

100 Regulation on Administration of Internet Information Service Recommendation Algorithms (2022)

101 AI & Algorithmic risks report Netherlands

102 BOE-A15767-2021- Ley 2021/12, de 28 de septiembre, por la que se modifica el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores, aprobado por el Real Decreto Legislativo 2015/2, de 23 de octubre, para garantizar los derechos laborales de las personas dedicadas al reparto en el ámbito de plataformas digitales.

103 The Algorithmic Accountability Act of 2019 (H.R.2231)

104 مصدر القلق المشترك هو أن العديد من المنصات تميز أعمالها بأنها وسطاء تكنولوجيين وتَعتبِر عاملي المنصات يعملون لحسابهم الخاص. وهذا يُثير غموضاً فيما يتعلق بالمسؤولية عن تنفيذ التدابير الأساسية للوقاية من الخطر، مثل تقييمات الخطر، والتدريب على السلامة والصحة المهنيتين، وتوفير معدات الوقاية. وفي كثير من الحالات، تكون هذه الالتزامات إما غير واضحة بموجب القوانين السارية، أو يتم تحويلها إلى العمال، الذين عادةً ما يفتقرون إلى الموارد اللازمة للوفاء بها (ILO 2024c).

وإسبانيا (Eurofound 2022). وتضع البلدان بشكل متزايد قوانين لتنظيم العمل عبر المنصات الرقمية، مع تباين كبير في الأساليب المُتبَّعة. تركز بعض التشريعات على ضمان التصنيف الصحيح للعمال، وبالتالي توسيع نطاق حماية العاملين الحالية لتشمل عمال المنصات. وتهدف تشريعات أخرى إلى توفير إجراءات حماية مُحدَّدة، بما في ذلك التدابير المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين، لجميع عمال المنصات بغض النظر عن تصنيفهم، مع تحديد درجات متفاوتة من المسؤولية للمنصات. في بعض الحالات، تُلقى المسؤولية صراحةً على المنصات، بينما تُحوَّل في حالات أخرى إلى العمال.

تُكمل اتفاقات المفاوضة الجماعية التشريعات الوطنية، حيث توفر إجراءات حماية إضافية على مستوى القطاع أو المنشأة. تركز بعض الاتفاقات على تكنولوجيات مُحدَّدة، مثل الهياكل الخارجية أو الذكاء الاصطناعي أو الإدارة الخوارزمية، بينما تتبنى اتفاقات أخرى نهجاً أوسع.

- في النرويج، يتناول اتفاقاً جماعياً بين اتحاد المنشآت النرويجية والاتحاد النرويجي لنقابات العمال استخدام الذكاء الاصطناعي في مكان العمل. وينص على أنه يجب على الشركات اطْلاع العاملين لديها، من خلال مندوبي النقابات، على الخطط والقرارات المتعلقة بإجراءات التحكم، والتي يمكن أن تستند إلى اعتبارات تكنولوجية ومالية واعتبارات أخرى تتعلق بالسلامة والصحة. ويجب ألا تتجاوز تدابير التحكم المُطبَّقة النطاق اللازم، ويجب أن تكون مُبرَّرة من الناحية الواقعية في عمليات الشركة واحتياجاتها. وتُعَدّ خصوصية العاملين وكرامتهم أمراً بالغ الأهمية، مما يتطلب أساليب ذكاء اصطناعي سليمة، ومشاركة ممثليهم، ومنع التحيز (Brunnerová et al. 2024).
- في إسبانيا، تضمن الاتفاق الجماعي لعامي 2023-2024 في شركة Tekniker حق العاملين في قطع الاتصال، وضمان الراحة والخصوصية، ومنع الاتصالات المتعلقة بالعمل خارج ساعات العمل إلا في حالات استثنائية (Brunnerová et al. 2024).
- في السويد، طُبِّق نظام ترصد جديد بالذكاء الاصطناعي في منجم Kiruna، يستخدم تطبيقاً للهواتف الذكية يُقدِّم للعمال دعماً لتحديد المواقع، ومساعدةً في الملاحة، وإمكانيةَ تلقي التنبيهات ومعلومات بشأن الطوارئ مع تأكيد الاستلام (IKAB 2022). ومع ذلك، تم التفاوض على أن لا يُستخدَم النظام إلا لأغراض السلامة، وليس لتتبع الإنتاجية أو قياسها.

© iStock/zoranm

تُركِّز اتفاقات أخرى على قضايا خاصة بالقطاع.

- في إيطاليا، توصلت النقابات العمالية المُمثِّلة للعمال في قطاعات التجارة والسياحة والخدمات[105] إلى اتفاق مع شركة Partesa، وهي شركة تابعة لمجموعة Heineken Group متعددة الجنسيات لتصنيع البيرة، لتنظيم استخدام تطبيق التحكم عن بُعد لمراقبة سائقي التوصيل. ويقتصر الاتفاق على المراقبة لأغراض السلامة والإنتاجية، ويتطلب موافقة النقابة أو مجلس العمل قبل التنفيذ (Brunnerová et al. 2024).

- في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية، توصل اتحاد GMB إلى اتفاق مع شركة Hermes، يتناول بعض العمليات القائمة على الخوارزميات التي تستخدمها الشركة لإدارة أسطول سائقي التوصيل. ويمنح الاتفاقُ النقاباتِ سلطةَ إجراء تقييمات بعد الحوادث بشأن الصحة والسلامة، مما يتيح لها تحديد الحالات التي تثير فيها الإدارة الخوارزمية مخاوف تتعلق بالسلامة (Collins and Atkinson 2023).

- شهدت ألمانيا أول اتفاق بشأن الرَّقْمَنَة في قطاع التجزئة، تفاوض عليه اتحاد ver.di التابع للشبكة الدولية للنقابات العمالية (UNI Global Union) وشركة H&M (للأزياء). يعني هذه الاتفاق الرائد أن العمال سيكون لهم رأي أكبر في كيفية نشر التكنولوجيا الجديدة في عملاق الأزياء، مع توفير الأمن الوظيفي والمكافآت (UNI Global Union 2022).

تضطلع إدارات تفتيش العمل بدور رئيسي في ضمان الامتثال للوائح السلامة والصحة المهنيتين، بما في ذلك في سياق الرَّقْمَنَة. فإلى جانب إنفاذ القوانين، يقدم المفتشون الإرشادَ والدعم الأساسيين لكل من أصحاب العمل والعمال، مما يساعدهم على فهم وتنفيذ تدابير السلامة اللازمة في أماكن العمل الرقمية بشكل متزايد. ومن خلال عمليات التفتيش والتدريب والحوار، يعملون على ضمان أن التطورات التكنولوجية لا تؤثر على سلامة العمال وصحتهم.

بالإضافة إلى ذلك، تَستخدِم إداراتُ تفتيش العمل بشكل متزايد التكنولوجياتِ والذكاءَ الاصطناعي لتحسين أولوياتها وتحديد أهدافها من خلال خوارزميات تساعد في تحديد علامات الاحتيال أو عدم الامتثال.

- تعمل وزارة العمل والرعاية الاجتماعية في المكسيك على نشر نظام مبتكر يستخدم نماذج إسقاط المخاطر لتحسين عمليات التفتيش في أماكن العمل (STPS, 2024). ستحلل الأداة الجديدة 1.5 مليون عملية تفتيش سابقة لتحديد المناطق ذات احتمالية أعلى لعدم الامتثال، مما يعزز دقة عمليات التفتيش المستقبلية. ونتيجة لذلك، تُظهِر عمليات التفتيش المدعومة بالذكاء الاصطناعي معدلَ نجاح بنسبة 94 بالمئة (Moncada, 2024). علاوة على ذلك، يمكن للأداة كشف الأنماط المتعلقة بالأمراض والأخطار المهنية، مما يوفر رؤىً قيّمة للإجراءات الوقائية (STPS, 2024). ستتم مشاركة هذه المعلومات مع المعهد المكسيكي للضمان الاجتماعي لمساعدة سلطة العمل على تحديد المنشآت وأماكن العمل ذات المعدلات الأعلى من الحوادث الصناعية أو حالات العجز المهني المتكررة أو الشكاوى (Gascón, 2025).

- طَوَّرت سلطةُ تفتيش العمل النرويجية أداةَ تحليل تنبؤية تَستخدِم البيانات الضخمة لتحديد الشركات عالية الخطورة لعمليات التفتيش بشأن الصحة والسلامة.[106] تحلل هذه الأداة مصادر البيانات المختلفة لاستهداف عمليات التفتيش بفعالية أكبر، مما يعزز دقة تدخلها.

3.3.2 المعايير الطوعية والمبادئ التوجيهية الفنية

لاستكمال الأطر التنظيمية، أدخلت العديد من البلدان معايير طوعية ومبادئ توجيهية فنية وممارسات جيدة لضمان السلامة والصحة المهنيتين في سياق التحول الرقمي. في حين أن هذه المبادرات ليست مُلزِمة قانوناً، إلا أنها تقدم توصيات قيّمة لدعم التبني الآمن والصحي والمسؤول للتكنولوجيات الجديدة في مكان العمل.

تركز بعض المبادئ التوجيهية على تعزيز استخدام التكنولوجيات الرقمية لتحسين السلامة والصحة المهنيتين، وتعزيز إدارة الخطر.

- في الأرجنتين، أصدرت وزارة العمل والاستخدام والضمان الاجتماعي منشوراً بعنوان «الكتاب الأبيض: الرَّقْمَنَة للوقاية من المخاطر في العمل»[107]، وهو يحدد استراتيجيات لاستخدام التكنولوجيات الرقمية لتعزيز الوقاية من الخطر في مكان العمل. ويستكشف المنشورُ الرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات كأدوات لتحديث الممارسات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين وتحسين حماية العمال. ويؤكد على الأساليب التعاونية، ويضع توصيات لإدماج الأدوات الرقمية في أنظمة تقييم الخطر وإدارته.

105 Namely, Filcams CGIL (Federazione Italiana Lavoratori Commercio Albergo Mensa e Servizi) and Fisascat CISL (Federazione Italiana Sindacati Addetti Servizi Commerciali Affini e Turismo).
106 https://osha.europa.eu/en/publications/future-role-big-data-and-machine-learning-health-and-safety-inspection-efficiency
107 Libro Blanco: Digitalización para la Prevención de Riesgos en el Trabajo

- في كندا (كولومبيا البريطانية)، يشجع مجلس WorkSafeBC استخدامَ الأدوات الرقمية لإدارة السلامة والصحة في مكان العمل. وتشمل المبادرات «مجموعة أدوات لأصحاب العمل بشأن تخطيط الصحة والسلامة»[108] والتي تُمكِّن أصحاب العمل من تتبع بيانات الإصابات والمطالبات، وتحليل أداء السلامة، وتحديد الاتجاهات التي يمكن أن تفيد التخطيط بشأن الصحة والسلامة في المستقبل. وهي تتيح لأصحاب العمل مقارنة أداء السلامة لديهم مع معايير الصناعة، والتنبؤ بالأخطار المحتملة، وإدماج بيانات الصحة والسلامة في التخطيط المالي.

- في فرنسا، أصدر المعهد الوطني للبحوث والسلامة للوقاية من الحوادث والأمراض المهنية منشوراً بعنوان «الذكاء الاصطناعي في خدمة الصحة والسلامة في العمل: التحديات والآفاق لعام 2035»[109]، وهو يستكشف كيف يُمكن للذكاء الاصطناعي أن يُحدِث نقلة نوعية في مجال الوقاية من الخطر في مكان العمل، ويُحسّن ظروف العمل بحلول عام 2035. وتشمل مجالاتُ التركيز الرئيسية تطبيقاتِ الذكاء الاصطناعي لتحليل الحوادث، والوبائيات، والروبوتات المتطورة.

تُركّز مبادئ توجيهية أخرى على التصدي للأخطار المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين والتحديات المرتبطة بالرَّقْمَنَة، لاسيما في مجال الأَتْمَتَة والروبوتات. وفي بعض الحالات، تتبنى هذه المبادئ التوجيهية نهجاً خاصاً بالقطاع أو الخطر.

- في أستراليا، أصدر مركز السلامة والصحة في العمل التابع لحكومة نيو ساوث ويلز منشوراً بعنوان «مبادئ توجيهية بشأن التصميم والتنفيذ الآمنِيَن للروبوتات التعاونية»[110]، حيث يتضمن معلومات أساسية حول الاعتبارات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين لاستخدام الروبوتات التعاونية، بما في ذلك التفاعل الآمن، والتصميم، وقوائم التَّحقُّق في مكان العمل، وتقييمات الخطر.

- في الولايات المتحدة الأمريكية، قدم المعهد الوطني الأمريكي للمعايير ورابطة صناعة الروبوتات أول معيار للسلامة للروبوتات الصناعية في عام 1986 (المعيار الوطني الأمريكي للروبوتات الصناعية وأنظمة الروبوتات - متطلبات السلامة)، والذي تم تحديثه بشكل مستمر للتصدي للأخطار الجديدة، بما في ذلك الروبوتات التعاونية. بالإضافة إلى ذلك، قامت إدارة السلامة والصحة المهنيتين (OSHA) والمعهد الوطني للسلامة والصحة المهنيتين (NIOSH)، بالتعاون مع رابطة تطوير الأَتْمَتَة، بمراجعة أجزاء من «الدليل الفني لإدارة السلامة والصحة المهنيتين»[111] لتغطية التدابير المتعلقة بالسلامة للأنظمة الروبوتية التعاونية والمتنقلة.

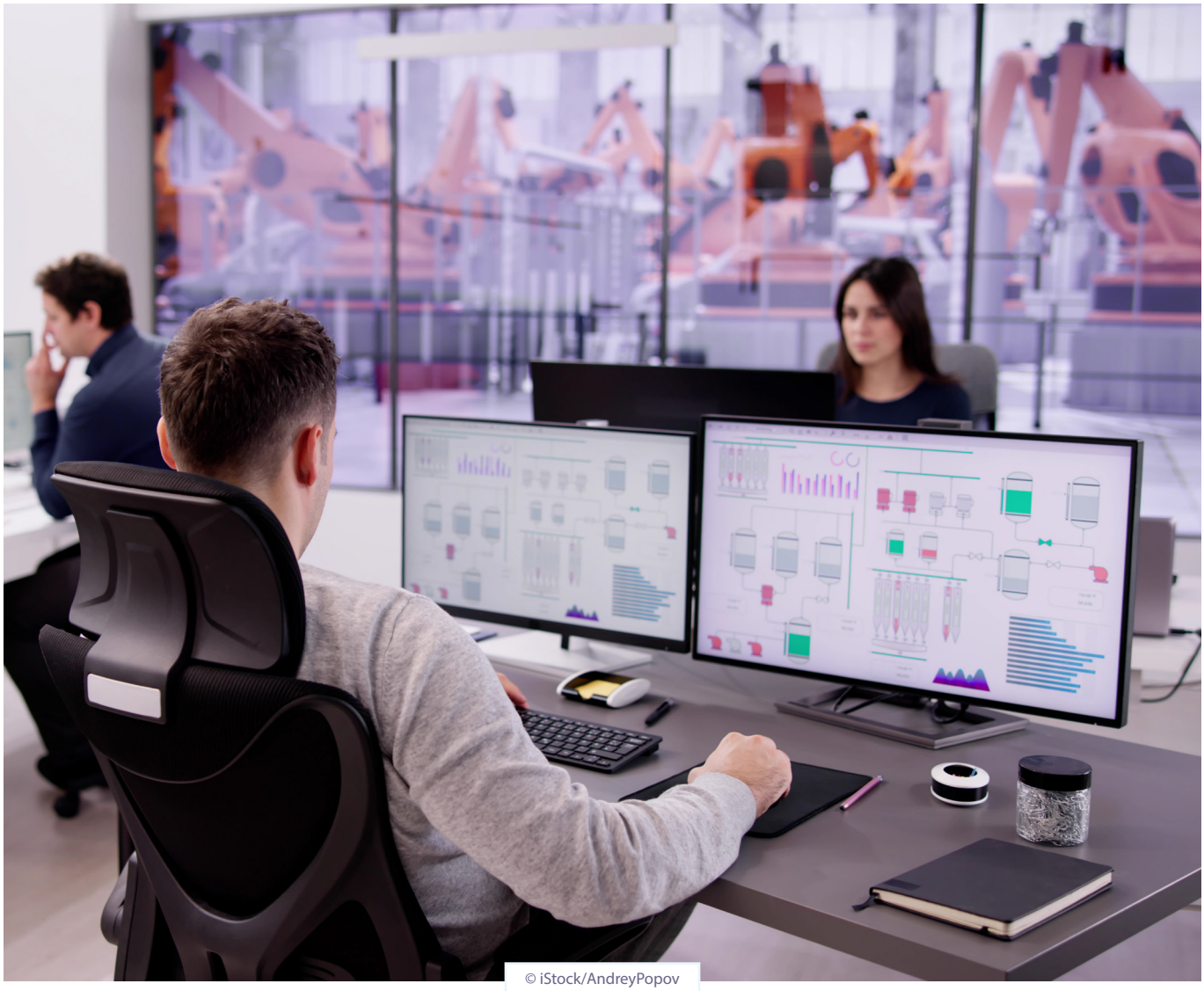
- في فرنسا، يوفر دليل «الوقاية في مجال الروبوتات التعاونية»[112] معلومات حول التنفيذ الآمن للروبوتات التعاونية، بما في ذلك الوقاية من الخطر.

- نشر معهد الصحة العامة في شيلي دليلاً بعنوان «إرشادات حول رَقْمَنَة وأَتْمَتَة العمل»[113] حيث يدرس كيفية تأثير التكنولوجيات الجديدة على السلامة والصحة المهنيتين والإنتاجية، ويقدم رؤىً حول إدارة الأخطار المرتبطة بزيادة الإدماج الرقمي في مختلف القطاعات. ويؤكد الدليل على أهمية التنفيذ المسؤول لدعم كل من رفاهية القوى العاملة وكفاءتها على حد سواء، ويتناول مجالات، مثل الأخطار الأرغونومية، والتعامل مع البيانات، والسلامة المتعلقة بالمهام الآلية.

- في نيوزيلندا، نشرت WorkSafe «مبادئ توجيهية حول الأَتْمَتَة والروبوتات»[114] لدعم المنشآت في إدارة الأخطار المرتبطة باستخدام الأَتْمَتَة، بما في ذلك الروبوتات، وتشجيع اعتماد تدابير استباقية، مثل عمليات التدقيق بشأن السلامة والتدريب ومشاركة العمال في عملية التنفيذ. كما نُشِرت مبادئ توجيهية خاصة بالقطاعات في نيوزيلندا. فعلى سبيل المثال، تتضمن «المبادئ التوجيهية بشأن الصحة والسلامة في قطاع البناء»[115] توصيات بشأن إدارة الآلات المؤتمتة، بينما يوفر «قانون خصوصية معلومات الاتصالات»[116] اعتبارات للأَتْمَتَة والتكنولوجيات الرقمية في عمليات الاتصالات.

- في أيرلندا، نشرت هيئة الصحة والسلامة ووكالة المطالبات الحكومية منشوراً مشتركاً بعنوان «تقييم الخطر النفسي الاجتماعي: إرشادات بشأن التعرض للمحتوى الحساس»[117] لمساعدة المنظمات التي تُوظِّف أشخاصاً في أدوار تُعرِّضهم لمحتوى حساس كجزء من واجباتهم الموكَلة إليهم، مثل المشرفين على المحتوى، أو العاملين الآخرين الذين يتعرضون بشكل غير متوقع في أدوارهم. ويُقدّم هذا المنشور معلومات مُفصَّلة حول تقييم الخطر، باستخدام المخطط التسلسلي الهرمي لإجراءات التحكم.

108 Employer Health & Safety Planning Tool Kit
109 Intelligence artificielle au service de la santé et sécurité au travail
110 Guidelines for Safe Collaborative Robot Design and Implementation
111 Industrial Robot Systems and Industrial Robot System Safety
112 Prevention in the field of collaborative robots
113 Digitalización y Automatización en el Trabajo
114 Guidelines on Automation and Robotics
115 Safe use of machinery
116 Telecommunication Information Privacy Code 2020
117 The Psychosocial Risk Assessment: Guidance for Exposure to Sensitive Content



© iStock/AndreyPopov

تُركّز بعض المبادئ التوجيهية على الآثار المترتبة لأخلاقيات الذكاء الاصطناعي على السلامة في مكان العمل، لاسيما في مجال الإدارة الخوارزمية والنشر المسؤول.

- تعزّز «مبادئُ أخلاقيات الذكاء الاصطناعي في أستراليا»[118] و«مبادئ أخلاقيات الذكاء الاصطناعي في نيوزيلندا»[119] الاستخدامَ الآمن والمسؤول للذكاء الاصطناعي، مما يشجع الأعمال على مراعاة الأخطار المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين، وسلامة العمال وخصوصيتهم.
- تُؤكد «المبادئُ الأساسية والمبادئ التوجيهية بشأن أخلاقيات الذكاء الاصطناعي في دبي»[120] في الإمارات العربية المتحدة، و«إطار حَوكَمَة الذكاء الاصطناعي النموذجي في سنغافورة»[121] على الشفافية والمساءلة والإنصاف في تطبيقات الذكاء الاصطناعي.

كما تُشارك منظمات أصحاب العمل بنشاط في تشجيع الإدماج المسؤول للتكنولوجيات الرقمية، وتقديم الإرشادات لأعضائها.

- في الولايات المتحدة الأمريكية، أصدرت «رابطة صناعة الروبوتات»[122] «متطلبات السلامة»[123] للروبوتات المتنقلة الصناعية، والتي تصف المخاطر الأساسية المرتبطة بهذه الروبوتات في البيئة الصناعية، وتوفر متطلبات للقضاء على الأخطار المرتبطة بها أو الحد منها بشكل كافٍ.
- في اليابان، أصدر برنامج سلامة الروبوتات وتدريب العمال التابع للاتحاد الياباني للحديد والصلب متطلبات ينبغي لمشغلي خدمات الروبوتات أو مقدمي خدمات الروبوتات مراعاتها.[124] وتنص هذه المتطلبات على قواعد لتقييم الخطر، وإدارة السلامة، والتعليم، وأنظمة التشغيل، ونُظُم الإدارة، وغيرها من الإجراءات التي ينبغي لمقدمي خدمات الروبوتات اتخاذها لضمان سلامة روبوتات الخدمة في تقديم الخدمات للأشخاص العاديين في الأماكن العامة.

118 The Australian AI Ethics Principles
119 NZ's Artificial Intelligence Ethics Framework
120 Dubai Ethical AI Toolkit
121 Singapore's Model AI Governance Framework
122 مجموعة تجارية تأسست عام 1974 لخدمة صناعة الروبوتات في أمريكا الشمالية
123 Industrial Mobile Robots - Safety Requirementss
124 New JIS as Safety Standards for Robot Services Established

4.3.2 مبادرات إذكاء الوعي

تضطلع مبادرات إذكاء الوعي بدور حاسم في نشر المعلومات وتشجيع الممارسات الآمنة والصحية لضمان مساهمة التكنولوجيات الجديدة في أماكن عمل أكثر أماناً وأوفر صحةً. يمكن تنظيم هذه المبادرات من قِبَل السلطات العامة، أو الهيئات المعنية بالسلامة والصحة المهنيتين، أو منظمات أصحاب العمل ومنظمات العمال، وتتخذ أشكالاً مختلفة، مثل الحملات وورش العمل والمؤتمرات والندوات عبر الإنترنت والمدونات الصوتية (البودكاست) والشبكات، بالإضافة إلى المواد الترويجية، مثل التقارير وصحائف الوقائع.

طَوَّرت السلطات العامة والهيئات المعنية بالسلامة والصحة المهنيتين في جميع أنحاء العالم مبادرات لإذكاء الوعي تركز على الآثار المترتبة للتكنولوجيات الرقمية على السلامة والصحة المهنيتين.

- تُجري العديد من الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي حملات إذكاء الوعي كجزء من حملة أماكن العمل الصحية التابعة للاتحاد الأوروبي وإدارة السلامة والصحة المهنيتين (2023-2025) التي تقودها الوكالة الأوروبية للسلامة والصحة المهنيتين (EU-OSH)، حيث تتناول العمل الآمن والصحي في العصر الرقمي (انظر الصفحة 31).
- ينشر المركز الكندي للصحة والسلامة المهنيتين (CCOHS) صحائف الوقائع، مثل صحيفة الوقائع بعنوان «إدخال التكنولوجيات الجديدة في مكان العمل»[125]، حيث تُحدد المخاطر المحتملة وتدابير إدارة الخطر المتعلق بالتكنولوجيات الرقمية. وتركز صحائف الوقائع الأخرى على تكنولوجيات مُحدَّدة، مثل صحيفة الوقائع بعنوان «الروبوتات والروبوتات التعاونية[126] والهياكل الخارجية»[127]، حيث تقدم إرشادات مُفصَّلة حول إدارة الخطر.
- في فنلندا، تُعَدّ مبادرة «تحدي أخلاقيات الذكاء الاصطناعي»[128] تحدياً للشركات، حيث يمكنها مناقشة القواعد الأخلاقية لاستخدام الذكاء الاصطناعي.
- في الهند، تعمل وزارة العمل والتشغيل، بالتعاون مع الهيئات الصناعية، على إذكاء الوعي بأخطار الذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة، لاسيما للقطاعات التي تشهد تحولاً رقمياً.[129]
- في المكسيك، تُجري أمانةُ العمل والرعاية الاجتماعية ورشَ عمل لمساعدة الأعمال في قطاعات، مثل التصنيع والسيارات والخدمات اللوجستية، على إدماج الذكاء الاصطناعي والروبوتات بأمان، مع التركيز على الوقاية من الحوادث والأخطار المتعلقة بالصحة النفسية في بيئات العمل الرقمية.[130]
- في المملكة العربية السعودية، ركز المؤتمر العالمي السعودي السادس للسلامة والصحة المهنيتين (أيار/مايو 2024)[131]، برعاية وزارة الموارد البشرية والتنمية الاجتماعية، على الآثار المترتبة للتحول التكنولوجي على السلامة والصحة المهنيتين.
- في جنوب أفريقيا، تُشجع «مبادرة مستقبل السلامة في العمل»[132] على التبني الآمن للذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة في قطاعات، مثل التعدين والتصنيع.
- في الولايات المتحدة الأمريكية، أصدر المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنيتين (NIOSH) عدة تقارير حول دور الذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة في السلامة والصحة المهنيتين، حيث ناقشت الأخطار المتعلقة بالروبوتات وأنظمة أماكن العمل القائمة على الذكاء الاصطناعي[133]. كما أجرى المعهد ندوة عبر الإنترنت حول «دور الذكاء الاصطناعي في مستقبل العمل»[134]. وقد شارك مجلس السلامة الوطني للولايات المتحدة ومؤسسة Safetytech Accelerator في تأليف تقرير حول الحلول التي تعمل بالذكاء الاصطناعي للوقاية من الاضطرابات العضلية الهيكلية[135].

125 Introducing New Technology at the Workplace
126 Robots and Cobots
127 Exoskeletons
128 Ministry of Economic Affairs and Employment, Finland
129 Ministry of Labour and Employment – Workplace Safety
130 Mexico revises regulations to improve machinery safety
131 The Minister of Human Resources and Social Development Inaugurates the Global Conference for Occupational Safety and Health Under the Theme Scanning the Horizon
132 Department: Employment and Labour, Republic of South Africa
133 Occupational Safety and Health Equity Impacts of Artificial Intelligence: A Scoping Review
134 The Role of Artificial Intelligence in the Future of Work
135 https://safetytechaccelerator.org/downloads/report-emerging-technologies-for-the-prevention-of-msd/

كما تعمل منظمات أصحاب العمل بنشاط على تعزيز الإدماج المسؤول للتكنولوجيا الرقمية، وتنظيم فعاليات إذكاء الوعي، وإعداد التقارير والأدلة الإرشادية.

- يروج الاتحاد الصناعي الأرجنتيني لبرنامج «Ruta X»[136]، الذي يدعم التحول الرقمي، لاسيما في المنشآت الصغيرة والمتوسطة. ويضم البرنامج «مركز الصناعة»[137]، الذي يستضيف ورش عمل حول التحول الرقمي والتسريع، ويعرض حلولاً مبتكرة بشأن السلامة والصحة المهنيتين، مثل الكشف عن الخطر الناجم عن الذكاء الاصطناعي.
- في البرازيل، يُشجع الاتحادُ الوطني للصناعة التحولَ الرقمي، ويدعم الشركاتِ في مواجهة الأخطار المرتبطة به.[138]
- في شيلي، وضع اتحاد الإنتاج والتجارة، عقب إنشاء «مائدة مستديرة بشأن التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي»، مقترحات لمواجهة التحديات في هذا المجال، مع التركيز على التدريب والإنتاجية والتعاون.[139]
- أجرى الاتحاد المجري لأصحاب العمل والصناعيين مسحاً حول «العمل والمهارات المتاحة»، مُسلِّطاً الضوء على الحاجة إلى تدريب القوى العاملة على الكفاءات الرقمية استعداداً للانتقال الرقمي.[140]
- يدعو اتحاد أصحاب العمل في جمهورية المكسيك إلى اعتماد الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا الرقمية بشكل مسؤول، مع التركيز على التعليم والتدريب على المهارات الرقمية.[141]
- في أيرلندا، استضاف اتحاد الأعمال وأصحاب العمل الأيرلندي ندوة بعنوان «تبني التكنولوجيا لإدارة السلامة والصحة المهنيتين»[142]، حيث تم التركيز على الحلول الرقمية والامتثال والسياسات، مع تبادل دراسات الحالة وأفضل الممارسات. كما عقدت رابطة المعادن الصناعية ندوة في عام 2024 بعنوان «مراقبة التعرض للغبار والصحة والسلامة في العصر الرقمي»[143].
- في إيطاليا، عقد اتحاد Brescia الصناعي اجتماعاً حول «الذكاء الاصطناعي والمنشآت الصغيرة والمتوسطة: تجارب من مستقبل بدأ الآن»[144]، كجزء من جولة ترويجية بمشاركة 700 شركة حول التحول الرقمي.

تقود النقابات العمالية بنشاط حملات إذكاء الوعي وتطور الموارد لضمان أن تظل سلامة العمال وصحتهم أولوية في اعتماد التكنولوجيات الجديدة. تركز جهودها على تعزيز الانتقال الرقمي الذي يدعم حقوق العمال، وإيجاد أماكن عمل أكثر أماناً وأوفر صحةً وأكثر شموليةً في ظل مشهد تكنولوجي متطور.

- في الأرجنتين، قدّم مشروعُ «SinDigital» رؤىً قيّمة، بنشره تقرير «التكنولوجيا والتحول الرقمي: تحدٍّ للنقابات العمالية»[145]. ودرس مسحٌ شمل 27 منظمةً تُمثّل 1.3 مليون عامل تأثيرَ الرَّقْمَنَة على ظروف العمل وعمليات النقابات، بما في ذلك كيفية تأثير الأدوات الرقمية على إدارة البيانات داخل النقابات.
- في كولومبيا، أطلقت الرابطة الوطنية للمهنيين في مجال الصحة والسلامة والبيئة سلسلة من المدونات الصوتية (البودكاست) حول دور الذكاء الاصطناعي في تحويل السلامة والصحة المهنيتين، مع التركيز على مواضيع، مثل رَقْمَنَة السلامة والصحة المهنيتين باستخدام الذكاء الاصطناعي، وخلق ثقافة السلامة، وإدارة الأخطار التكنولوجية في مكان العمل.[146]
- في ألمانيا، تدعو شركة IG Metall إلى الاستخدام الأخلاقي للذكاء الاصطناعي في التصنيع، مع التركيز على مشاركة العمال في نشر التكنولوجيا والوعي بشأن الخطر الخوارزمي[147]. بالإضافة إلى ذلك، نشرت الشبكة الدولية للنقابات العمالية (UNI Global Union) منشوراً بعنوان «الإدارة الخوارزمية - التوعية والأخطار واستجابة الشركاء الاجتماعيين»[148]، حيث حث النقاباتِ على زيادة القدرات والتعاون لتحسين تغطية الإدارة الخوارزمية المحفوفة بالخطر في الاتفاقات الجماعية.

136 https://www.uia.org.ar/ciencia-tecnologia-e-innovacion/3880/agenda-40-la-uia-lanzo-ruta-x-x/
137 https://rutax.uia.org.ar/centroX
138 Especialista orienta sindicatos sobre comunicação digital
139 https://www.cpc.cl/desafio-transformacion-digital/?lang=es
140 Labour and skills supply in different regions of Hungary - trends and challenges
141 COPARMEX's «Connecting Mexico» Project
142 Embracing technology for managing occupational safety and health
143 IMA-Europe 2024 OSH Seminar: Dust Exposure Monitoring and Health and Safety in the Digital Age
144 Artificial intelligence and SMEs: experiences from a present future
145 ‹Technology and digital transformation: A challenge for trade unions
146 Digitalizando la SST con IA; Transformación IA buscando una cultura de Seguridad; Inteligencia Artificial en el mundo de la SST
147 Promoting human-centred AI in the workplace. Trade unions and their strategies for regulating the use of AI in Germany
148 Algorithmic Management - Awareness, Risks and Response of the Social Partners

- أطلق مؤتمر النقابات العمالية في الفلبين حملات تتناول تأثير الرَّقْمَنَة على الأمن الوظيفي والسلامة والصحة المهنيتين، داعياً إلى وضع لوائح وطنية بشأن الذكاء الاصطناعي تحمي حقوق العمال[149]. تعزز برامجها التدريبية الممارسات الآمنة مع الذكاء الاصطناعي، مما يساعد العمال على التكيف مع الأَتْمَتَة والبيئات الرقمية.
- في إسبانيا، أصدرت لجان العمال والاتحاد العام للعمال تقارير لدعم المفاوضة الجماعية وتثقيف مجالس العمل بشأن القضايا المتعلقة بالخوارزميات وحماية البيانات. كما نشر الاتحاد تقريراً بعنوان «النقابات العمالية في العصر الرقمي: بطاقة وطنية حول قطاع التصنيع الإسباني»[150]، حيث تم التركيز على تدريب العمال والنقابات على المهارات الرقمية.
- في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية، نشر مؤتمر النقابات العمالية تقريراً بعنوان «تشكيل مستقبلنا الرقمي»[151] الذي يستكشف المفاوضة الجماعية بشأن التكنولوجيا، ويؤكد على الحاجة إلى حماية العمال من ضغوط الأداء المفرط والمراقبة المستمرة المرتبطة غالباً ببيئات العمل القائمة على الذكاء الاصطناعي. ويُعَدّ هذا جزءاً من بيان «الكرامة في العمل وثورة الذكاء الاصطناعي»[152] الأوسع نطاقاً، والذي يدعو إلى استخدام عادل وشفاف للذكاء الاصطناعي، مع تسليط الضوء على المخاوف بشأن الأمن الوظيفي وظروف العمل والصحة النفسية.

149 Towards building worker and trade union in the Philippines
150 Trade Unions in the Digital Age: Country Fiche on Spanish Manufacturing Sector
151 Shaping our digital Future
152 Dignity at Work and the AI Revolution - A TUC manifesto

© iStock/RealPeopleGroup

5.3.2 برامج التدريب

وضعت السلطاتُ العامة والهيئات الأخرى في العديد من البلدان برامجَ تدريبية لمساعدة أصحاب العمل والعمال على التصدي للأخطار المرتبطة بالتكنولوجيات الرقمية في مكان العمل. تغطي بعضُ المبادرات التكنولوجياتِ الرقمية بشكل عام، بينما تركز مبادرات أخرى بشكل خاص على الذكاء الاصطناعي، وغالباً ما يكون ذلك مقترناً بالروبوتات أو الأَتْمَتَة، وتستهدف قطاعات مُحدَّدة، مثل التصنيع والتعدين والطاقة.

- في البرازيل، تقدم الخدمة الاجتماعية للصناعة[153] تدريباً في الصناعات التي تشهد تحولاً رقمياً، مع التركيز على التفاعلات الآمنة مع الروبوتات والذكاء الاصطناعي وغيرها من الأدوات الرقمية. وتؤكد برامجها على الأخطار الأرغونومية للأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي، بالإضافة إلى الآثار المترتبة للرَّقْمَنَة المتزايدة على الصحة النفسية.
- في كندا، تقدم «خدمات السلامة والوقاية في مكان العمل»[154] تدريباً على السلامة الرقمية، لاسيما في قطاعات، مثل التصنيع والبناء والزراعة. وينصب التركيز على الأخطار المرتبطة بالذكاء الاصطناعي والروبوتات، بما في ذلك المخاوف الأرغونومية والتأثير النفسي للتكنولوجيات الرقمية. كما تقدم الوكالة الأسترالية للعمل الآمن[155] تدريباً للعمال وأصحاب العمل في قطاعات، مثل البناء والخدمات اللوجستية والتصنيع. وتركز البرامج على التفاعل الآمن مع الأدوات القائمة على الذكاء الاصطناعي وأنظمة الروبوتات، والتطوير المستمر للمهارات استجابةً للتحول الرقمي.
- في شيلي، تُقدم «لجنة النظام الوطني لاعتماد كفاءات العمل» (ChileValora)[156] تدريباً للعاملين في القطاعات عالية الخطورة، مثل التعدين والتصنيع والطاقة. يغطي التدريب بروتوكولات السلامة للذكاء الاصطناعي والروبوتات، بالإضافة إلى الآثار النفسية للتحول الرقمي.
- يقدم «البرنامج الوطني للذكاء الاصطناعي»[157] في الإمارات العربية المتحدة تدريباً لتعزيز مهارات الذكاء الاصطناعي بين العاملين في القطاع العام، مما يضمن تأهيلهم لإدارة إدماج الذكاء الاصطناعي في قطاعاتهم المعنية.
- في بولندا، يُجري «المعهد المركزي لحماية العمال»[158] تدريباً على الإدماج الآمن للذكاء الاصطناعي والروبوتات في قطاعات، مثل التصنيع والخدمات اللوجستية والرعاية الصحية. يتناول هذا التدريب السلامة بشأن الروبوتات، وإدماج الذكاء الاصطناعي في تقييمات الخطر، وأهمية الأرغونوميات، إلى جانب الجهود المبذولة للتخفيف من الأخطار النفسية الاجتماعية وتعزيز الصحة النفسية في مكان العمل الرقمي.
- في سنغافورة، يُقدم «مجلس السلامة والصحة في مكان العمل»[159] برامج تأهيل تستهدف الأعمال لفهم تأثيرات التحول الرقمي على السلامة، لاسيما في القطاعات عالية الخطورة، مثل البناء والخدمات اللوجستية. يركز التدريب على النشر الآمن لأنظمة الذكاء الاصطناعي والروبوتات والأجهزة القابلة للارتداء لمراقبة السلامة، بالإضافة إلى التصدي للآثار النفسية للأَتْمَتَة.

6.3.2 البحوث حول آثار الرَّقْمَنَة على السلامة والصحة المهنيتين

تُعَدّ مبادراتُ البحوث حاسمةً لفهم ومواجهة التحديات المتطورة في مجال السلامة والصحة في مكان العمل. تضطلع البحوث بدور رئيسي في تزويد الحكومات وأصحاب العمل والعمال بمعلومات موثوقة حول تأثير التكنولوجيات الرقمية؛ مما يمكّنهم من تحديد الأولويات واتخاذ إجراءات مستنيرة لتعزيز وحماية سلامة العمال وصحتهم. وقد ظهرت العديد من المبادرات التي تركز على جوانب مختلفة من رَقْمَنَة مكان العمل، بما في ذلك المِنَح وبرامج الدكتوراه والمؤتمرات الأكاديمية التي تعزز التعاون وتوسع المعرفة في هذا المجال.

- في النمسا، تركز مبادرة «Work NEW 4.0»[160]، التي تقودها وزارة العمل والاقتصاد الاتحادية النمساوية، على تأثير الرَّقْمَنَة والأَتْمَتَة والذكاء الاصطناعي على السلامة والصحة المهنيتين. وتستكشف هذه المبادرة كلاً من الفوائد، مثل مراقبة السلامة القائمة على الذكاء الاصطناعي، والتحديات، بما في ذلك المخاوف بشأن الصحة النفسية وفقدان الوظائف. وتشجع على التعاون بين الأكاديميين والأعمال والهيئات الحكومية لضمان الإدماج الآمن لهذه التكنولوجيات.

153 Social Service of Industry (SESI)
154 Workplace Safety and Prevention Services (WSPS)
155 Safe Work Australia
156 ChileValora
157 https://u.ae/en/information-and-services/jobs/training-and-development/online-training/national-program-for-artificial-intelligence
158 Central Institute for Labour Protection
159 Workplace Safety and Health (WSH) Council
160 https://lab.neos.eu/_Resources/Persistent/a7b52188459eaf6028338e8958683de074b3324f/ELF20%-20%Work204,0%.pdf

- في كندا، أصدر «معهد Robert-Sauvé للبحوث في مجال السلامة والصحة المهنيتين» النشرة الدورية بعنوان «المراقبة العلمية حول الذكاء الاصطناعي والسلامة والصحة المهنيتين»[161]. تهدف هذه المبادرة إلى تزويد أصحاب المصلحة برؤىً بحثية حول التكنولوجيات الناشئة، وآثارها المترتبة على السلامة في مكان العمل، والاستراتيجيات المحتملة لإدماج الذكاء الاصطناعي لتعزيز الممارسات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين.

- في شيلي، تموّل «هيئة الإشراف على الضمان الاجتماعي» بحوثاً حول استخدام الذكاء الاصطناعي والأجهزة القابلة للارتداء لمراقبة السلامة في الوقت الفعلي، مع التركيز على قطاعات، مثل التعدين والغابات والزراعة،[162] مع تطبيق الذكاء الاصطناعي للتقييم البيوميكانيكي للمشي باستخدام كاميرات الفيديو التقليدية،[163] وتقديم المشورة الرقمية بشأن إدارة الخطر،[164] وفعالية برامج الواقع الافتراضي لتعزيز الوقاية من الخطر.[165]

- تجمع شبكةُ «الروبوتات والأَتْمَتَة والاستشعار»[166] في نيوزيلندا خبراء لمناقشة الآثار المترتبة للروبوتات والأَتْمَتَة على السلامة، وتنظيم مؤتمرات تستكشف مستقبل العمل وسلامة العمال في عالم رقمي.

- في السويد، تبحث مجموعة بحوث «العالم الجديد للعمل»[167] في معهد Karolinska في كيفية تأثير الأنظمة الخوارزمية على صحة العمال وسلامتهم ورفاهيتهم، مع مراعاة المفاوضات بين العمال وأصحاب العمل عند تطبيق هذه التكنولوجيات.

- في الولايات المتحدة الأمريكية، يدعم المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنيتين (NIOSH) بحوث الذكاء الاصطناعي والروبوتات لتحسين السلامة في مكان العمل. ويقدم المعهد مِنَحاً لمشاريع تستخدم الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالحوادث، وأَتْمَتَة بروتوكولات السلامة، وإجراء تعديلات أرغونومية. كما يُموّل المعهد بحوثاً حول الأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي، مثل الهياكل الخارجية، للحد من أخطار الإصابات، بالإضافة إلى تطبيقات التعلم الآلي لتحليل بيانات السلامة.[168]

161 Nouvelle veille dédiée à l'intelligence artificielle en SST > IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
162 SUSESO: Prensa - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES PROFESIONALES AÑO 2023: RESULTADOS PROCESO DE ADJUDICACIÓN
163 https://www.suseso.cl/619/w-3article732234-.html
164 https://www.suseso.cl/619/w-3article732253-.html
165 https://www.suseso.cl/619/articles672238-_archivo_01.pdf
166 https://www.nzras.org.nz/
167 https://ki.se/en/research/research-areas-centres-and-networks/research-groups/the-new-world-of-work-theo-bodins-research-group
168 Research Grant Funding | Extramural Research | CDC

© iStock/cofotoism

4.2 إدارة الرَّقْمَنَة والسلامة والصحة المهنيتين في مكان العمل

يُعَدّ العملُ الفعّال على مستوى مكان العمل، بمشاركة فعّالة من العمال، أمراً بالغ الأهمية لضمان أن تصميم وتطبيق التكنولوجيات الجديدة في أماكن العمل يعزز السلامة والصحة المهنيتين. ومع إعادة تشكيل التكنولوجيات الجديدة لطبيعة العمل، يجب على أماكن العمل تطبيق تدابير مُستهدفة لمواجهة الأخطار الناشئة. ويجب تصميم هذه التدابير بعناية وفقاً للاحتياجات المُحدَّدة للقوى العاملة والتحديات التي تفرضها التطورات التكنولوجية. ومن خلال اعتماد استراتيجيات استباقية، يُمكن للشركات ضمان أن التكنولوجيا تُعزز سلامةَ العمال ورفاهيتهم، بدلاً من المساس بهما.

على مستوى مكان العمل، يُمكن للرَّقْمَنَة أن تُحدِث تغييرات جوهرية، مثل تلك المتعلقة بالأَتْمَتَة أو المراقبة الرقمية. وتتطلب زيادة الفرص إلى أقصى حد ومواجهة التحديات نهجاً تعاونياً يشارك فيه العمال وممثلوهم بنشاط في وضع التدابير والحلول. وينبغي إشراك العمال في كل مرحلة من مراحل تطبيق التكنولوجيات الجديدة، بما في ذلك اختيارها، وتحديد دورها وهدفها، وتقديمها، ومراجعتها المستمرة. ومن خلال الحوار والتعاون، يُمكن للعمالِ وأصحابِ العملِ العملَ معاً لوضع استراتيجيات للاستخدام الآمن للتكنولوجيات الرقمية، مما يُساعد على ضمان دعم هذه التطورات لصحة العمال وسلامتهم.

ولتحقيق هذه الغاية، يُعَدّ إنشاء أنظمة قوية لإدارة السلامة والصحة المهنيتين أمراً أساسياً للتصدي بشكل استباقي للأخطار التي تفرضها الرَّقْمَنَة والذكاء الاصطناعي.

1.4.2 تطبيق نظام شامل لإدارة السلامة والصحة المهنيتين

مع قيام المنظمات بإدماج الأدوات الرقمية والذكاء الاصطناعي والأَتْمَتَة في عملياتها، يضمن النظامُ القوي لإدارة السلامة والصحة المهنيتين إعطاءَ الأولوية للسلامة والصحة، مع التكيف أيضاً مع التطورات التكنولوجية. وينبغي تنفيذ ذلك بالتشاور مع العمال وممثليهم في كافة المراحل. وتماشياً مع المبادئ التوجيهية لمنظمة العمل الدولية بشأن نُظُم إدارة السلامة والصحة المهنيتين (ILO OSH 2001)، يتضمن هذا النظام العناصر الرئيسية التالية:

- **وضع السياسة:** صياغة سياسة واضحة للسلامة والصحة المهنيتين تعكس التزام المنظمة بالسلامة والصحة، بما في ذلك في سياق إدماج التكنولوجيات الجديدة وتطبيق عمليات جديدة. وينبغي الاتفاق على ذلك من خلال عملية لأطراف الإنتاج الثلاثة، مع الالتزام بالأحكام الواردة في الاتفاقية رقم 155 في كافة بنودها.
- **التنظيم:** تحديد الأدوار والمسؤوليات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين، وضمان التزام الإدارة، وتعزيز المشاركة والتشاور الفعالَّين مع العمال، لاسيما فيما يتعلق بإدماج التكنولوجيات الجديدة والتدابير المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين.
- **التخطيط والتنفيذ:** تحديد المخاطر بشكل منهجي وتقييم كافة الأخطار، بما في ذلك تلك المرتبطة بالتكنولوجيات الجديدة، بما في ذلك الذكاء الاصطناعي والأدوات الرقمية، وتطبيق تدابير الوقاية والحماية المُصمَّمة خصيصاً لهذه الابتكارات.
- **التقييم:** مراقبة أداء السلامة والصحة المهنيتين وقياسه، بما في ذلك فعالية إجراءات التحكم المتعلقة بالتكنولوجيات الجديدة، وإجراء عمليات تدقيق منتظمة لضمان الامتثال لمعايير السلامة والصحة المهنيتين.
- **إجراءات التحسين:** تنفيذ الإجراءات التصحيحية بناءً على التقييمات والسعي إلى التحسين المستمر. ويشمل ذلك مراجعة سياسات وإجراءات السلامة والصحة المهنيتين لمواجهة الأخطار المتطورة التي تفرضها التغييرات التكنولوجية في مكان العمل.

2.4.2 التشاور مع العمال وتزويدهم بالمعلومات وتدريبهم

يُعَدّ ضمانُ أن يكون العمال على دراية جيدة بالتكنولوجيات الجديدة وأخطارها المحتملة، ومشاركتهم بنشاط في تنفيذ تدابير الوقاية، أمراً بالغ الأهمية لبيئة عمل آمنة وصحية.

كما هو مُوضَّح في الاتفاقية رقم 155، ينبغي التشاور مع العمال وممثليهم بشكل هادف قبل إدخال التكنولوجيات الجديدة التي تؤثر على السلامة والصحة المهنيتين، مما يضمن حصولهم على صوت في القرارات التي تؤثر بشكل مباشر على عملهم. وينبغي أن تكون هذه التشاورات استباقية، مع إتاحة فرص للعمال للتعبير عن مخاوفهم وتقديم ملاحظاتهم والتأثير على القرارات المتعلقة بكيفية تنفيذ التكنولوجيات الجديدة وإدارتها في مكان العمل. وتشير البحوث إلى أن المشاركة النشطة للعمال في عمليات صنع القرار يمكن أن تُحسّن كلاً من نتائج السلامة وقبول التكنولوجيات الجديدة (EU-OSHA 2024b).

كما يساعد التشاورُ والمشاركة العمالَ على الشعور بمزيد من الثقة والدعم عند التكيف مع الأنظمة الجديدة. تُعَدّ خبرة ومعرفة العمال ونقاباتهم أمراً بالغ الأهمية أيضاً لإيجاد أفضل الحلول. ويمكن أن تساعد مشاركتهم في تحديد الأخطار التي قد لا تكون واضحة خلال مراحل التخطيط أو التصميم، وضمان أن الحلول مُصمَّمة وفقاً للاحتياجات الواقعية للقوى العاملة. ويُعزز هذا النهج ثقافة إيجابية للسلامة والصحة المهنيتين، حيث لا يقتصر تدريب العمال على ذلك فحسب، بل يشمل أيضاً إشراكهم وتحملهم المسؤولية في تشكيل بيئات عملهم. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي لأصحاب العمل ضمان شمولية عمليات التشاور، مع مراعاة الاحتياجات المختلفة للقوى العاملة. كما تُشجع ثقافةُ التشاورِ والمشاركةُ العمالَ على الإبلاغ عن الأخطار المحتملة دون خوف من الانتقام، مما يُساعد على تحديد المشاكل والتصدي لها بسرعة وفعالية. ومن خلال جعل العمال شركاء في هذه العملية، يُعزز أصحاب العمل بيئة تُعَدّ فيها السلامة والرفاهية من الأولويات المشتركة.

لضمان مشاركة فعّالة للعمال والتطبيق الآمن للتكنولوجيات الرقمية، ينبغي لأصحاب العمل توفير تدريب شامل ومستمر يُزوِّد العمال بالمعرفة والمهارات الكافية. يشمل ذلك فهم إجراءات التشغيل، والتعرف على المخاطر المحتملة، وتطبيق تدابير الوقاية، ومعرفة كيفية الاستجابة أثناء الأعطال أو حالات الطوارئ. وينبغي أن يكون التدريب عملية مستمرة، مُصمَّمة خصيصاً لاستيعاب التحديثات في التكنولوجيا والتغيرات في ممارسات العمل. وينبغي لأصحاب العمل ضمان أن تكون المواد التدريبية في متناول جميع العمال ومفهومة، مع مراعاة عوامل، مثل التنوع اللغوي وتفاوت مستويات الإلمام بالقراءة والكتابة.

3.4.2 التصدي للأخطار الجديدة والناشئة من خلال تقييم سليم للخطر

يتطلب إدماجُ التكنولوجيات الجديدة في مكان العمل إجراءَ تقييم شامل للخطر المتعلق بالسلامة والصحة المهنيتين، بمشاركة كاملة من العمال. يمتد ذلك إلى ما هو أبعد من التقييم الفيزيائي لمكان العمل ومعداته - مثل الأجهزة القابلة للارتداء والروبوتات والآلات - ليشمل أيضاً التصدي للأخطار المرتبطة بالعمليات الرقمية، بما في ذلك الإدارة الخوارزمية وأنظمة المراقبة الذكية والأَتْمَتَة.

تتضمن إدارة الخطر تحديد المخاطر المحتملة، وتقييم احتمالية حدوث الأخطار المرتبطة بها وشدتها، وتحديد تدابير التحكم المناسبة للتخفيف منها، وفقاً للمخطط التسلسلي الهرمي لإجراءات التحكم. ويجب أن يأخذ هذا التقييم في الاعتبار تعقيدات التكنولوجيات الناشئة، حيث تُشكِّل الأنظمة الخوارزمية والأَتْمَتَة تحديات كبيرة نظراً لطبيعتها المتطورة. ولا ينبغي أن تركز تقييمات الخطر على التكنولوجيات المرتبطة مباشرة بطرائق تنفيذ العمل أو عمليات الإنتاج فحسب، بل يجب أن تركز أيضاً على التكنولوجيات المُصمَّمة لتحسين السلامة والصحة المهنيتين، لأنها قد تؤدي عن غير قصد إلى أخطار جديدة، لاسيما الأخطار النفسية الاجتماعية.

إدماج التكنولوجيات الجديدة في إدارة الخطر لتحسين السلامة والصحة المهنيتين

تُحدِث الأنظمة المُدعَّمة بالذكاء الاصطناعي تحولاً في النهج التقليدي لتقييم الخطر في مكان العمل، نظراً لقدرتها على كشف التهديدات وتحليلها والاستجابة لها بسرعة. فمن خلال فحص كميات هائلة من البيانات من مصادر مُختلفة، بما في ذلك شبكات أجهزة الاستشعار، والأجهزة القابلة للارتداء، وسجلات الحوادث التاريخية، يُمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحديد المخاطر المُحتملة والتنبؤ بالأخطار في الوقت الفعلي (O'Brien 2023). ويتيح هذا التقييم الاستباقي للخطر اتخاذ التدخلات والتدابير الوقائية في الوقت المُناسب لتقليل الحوادث والإصابات إلى أدنى حد (Safetytech Accelerator 2024).

تضطلع تكنولوجيات الابتكار بدور رئيسي في الوقاية من الخطر والتحكم فيه. وكما هو الحال مع جميع التدابير الوقائية في مكان العمل، ينبغي تنفيذها وفقاً للمخطط التسلسل الهرمي لإجراءات التحكم. ويوضح المثال أدناه كيفية تطبيق التكنولوجيات المبتكرة وفقاً لهذا المخطط التسلسلي الهرمي.

		الأماكن المحصورة	الاضطرابات العضلية الهيكلية	مواقع العمل
أكثر فعالية	**الإزالة** إزالة المخاطر مادياً	استبدال الدخول الفيزيائي بـطائرات مُسَيَّرة أو روبوتات زاحفة.	أَتْمَتَة العمليات الروبوتية للأعمال المتكررة	الروبوتات لإبعاد العمال عن المهام والبيئات الخطرة
	الاستبدال استبدال المخاطر	محاكاة تفاعلية للواقع الافتراضي لتطوير المهارات	هياكل خارجية لتسهيل المناولة اليدوية الشاقة روبوتات تعاونية لتقاسم عبء العمل	مواد مُصمَّمة بتقنية النانو لاستبدال المواد الخطرة ببدائل أكثر أماناً
	إجراءات التحكم الهندسية عزل الأشخاص عن المخاطر	أنظمة مراقبة آنية للتتبع المستمر للظروف البيئية داخل الأماكن المحصورة	رؤية حاسوبية لتحديد الأخطار الأرغونومية	أجهزة استشعار وأجهزة قابلة للارتداء لمراقبة تعرض العمال للمخاطر في الوقت الفعلي
	إجراءات التحكم الإدارية تغيير طريقة عمل الأشخاص	أنظمة تصاريح العمل الرقمية للتقييم والتفويض قبل الدخول	تحويل الأنشطة إلى ألعاب إلكترونية والمحاكاة في التدريب على الأرغونوميات لإشراك العمال وتثقيفهم حول أفضل الممارسات	تدريب على تكنولوجيا الواقع الافتراضي والواقع المُعَزَّز للتعرف على المخاطر والاستجابة للطوارئ
أقل فعالية	**معدات الوقاية الشخصية** حماية العامل بمعدات الوقاية الشخصية	أجهزة كشف الغاز القابلة للارتداء للمراقبة المستمرة والتنبيهات الفورية	معدات وقاية شخصية ذكية مزودة بأجهزة استشعار مُدمَجة للكشف والتحذير عن الوضعيات غير الصحيحة أو الإجْهاد المفرط	معدات وقاية شخصية ذكية مُزوَّدة بأجهزة استشعار مُدمَجة لمراقبة العلامات الحيوية للعمال

المصدر: Accelerator Safetytech (2024)

النقاط الرئيسية

تُعيد الرَّقْمَنَة تشكيلَ عالم العمل، مما يوفر فرصاً جديدة للسلامة والصحة المهنيتين.

- يُمكن للرَّقْمَنَة تعزيز السلامة والصحة المهنيتين من خلال الحد من التعرضات الخطرة، وتحسين كشف الخطر والوقاية منه، وتبسيط العمليات، وتحسين تنظيم العمل لتقليل كلٍ من أعباء العمل البدنية والنفسية إلى أدنى حد، من بين فوائد أخرى.

يُمكن أن يُؤدي إدماجُ التكنولوجيات الرقمية أيضاً إلى أخطارٍ بدنية وتنظيمية ونفسية اجتماعية جديدة، والتي يجب تقييمها وإدارتها بعناية.

يمكن للأَتْمَتَة أن تُعزز بشكل كبير السلامةَ والصحة في مكان العمل من خلال الحد من التعرضات الخطرة.

- يُمكن للروبوتات المتطورة إبعاد العمال عن المهام والبيئات الخطرة، مثل مناطق التشغيل عالية الخطورة أو المواقف التي تُعرّض العمال لدرجات الحرارة القصوى أو لمواد سامة.
- يُمكن للروبوتات والهياكل الخارجية دعمَ العمال في الأعمال التي تتطلب جهداً بدنياً، مما يُقلل إلى أدنى حد من الاضطرابات العضلية الهيكلية، ويُعزز السلامةَ العامة.
- يمكن للأَتْمَتَة أن تُلغي المهامَ المتكررة والرتيبة، كما هو الحال في خطوط الإنتاج في المصانع، وكذلك في العمل الإداري، بما في ذلك تطبيقات ملء النماذج ومعالجتها، مما يتيح للعمال التركيزَ على مسؤوليات أكثر تعقيداً وجاذبية.

رغم فوائد الأَتْمَتَة، إلا أنها قد تؤدي أيضاً إلى أخطارٍ، بما في ذلك الأعطال الميكانيكية، والتحديات الأرغونومية، والتعرض للمواد الكيميائية، ومخاطر الضوضاء، والأخطار النفسية الاجتماعية، مثل تكثيف العمل، والعبء المعرفي الزائد، والعزلة الاجتماعية، وانعدام الأمن الوظيفي.

تعمل أدواتُ وأنظمة مراقبة السلامة والصحة المهنيتين الذكية على تحسين كشف الخطر والاستجابة له، من خلال البيانات الآنية والتحليلات التنبؤية.

- تكشف الأجهزةُ القابلة للارتداء وأجهزة الاستشعار والأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي مخاطرَ، مثل نوعية الهواء السيئة، والتعرض المفرط للضوضاء، والأخطار الأرغونومية، مما يمنع وقوع الحوادث ويُحسّن صحةَ العمال.
- تعزز التحليلاتُ التنبؤية السلامةَ والصحة في العمل من خلال تحديد المخاطر مبكراً، وتمكين التدخلات الاستباقية، والحد من الإصابات في مكان العمل.

تدعم الأجهزةُ الذكية القابلة للارتداء، بما في ذلك معدات الوقاية الشخصية الذكية، سلامةَ العمال وصحتهم ورفاهيتهم، ولكن يجب مواجهة القضايا المتعلقة بالراحة وسهولة الاستخدام والملاءمة المناسبة – لاسيما بين فئات العمال المتنوعة - لضمان الفعالية.

عند اعتماد هذه الأنظمة، يتعين مراعاة المخاوف بشأن الخصوصية، والترصد في مكان العمل، والإجْهاد (الكَرْب) الناتج عن المراقبة المستمرة.

تُحدِث تكنولوجياتُ الواقع الممتد ثورةً في التدريب على السلامة والصحة المهنيتين والتوعية بشأن المخاطر.

- يوفر الواقعُ الافتراضي والواقعُ المُعَزَّز تدريباً تفاعلياً وخالياً من الخطر للبيئات عالية الخطورة، مما يُحسّن من الاحتفاظ بالمهارات والتأهب للطوارئ.
- يمكن أن تدعم عملياتُ المحاكاةِ الافتراضية عملياتِ التفتيش في مكان العمل، وتحديدَ المخاطر، والتقييماتِ الأرغونومية، مما يحد من الأخطار في الموقع.

لضمان الاستخدام الآمن لهذه التكنولوجيات، يجب تقييم الأخطار المحتملة، مثل حجب الرؤية ومشاكل التوازن والإجْهاد البصري والعبء المعرفي الزائد، وإدارتها بعناية.

يؤدي الاستخدامُ المتزايد للإدارة الخوارزمية إلى إعادة تشكيل ديناميات مكان العمل، مما يؤثر على كيفية التكليف بالمهام ومراقبتها وتقييمها.

- تعمل أنظمةُ الإدارة الخوارزمية على تحسينِ الجدولة، وتوزيعِ عبء العمل، وتخصيصِ المهام، مما يُحسّن الكفاءة والتوازن بين العمل والحياة.
- يمكن أن يُقلل الترصدُ المفرط، وضغطُ الإنتاجية، واتخاذُ القرارات الآلي استقلاليةَ العمال وتزيد إجهادَهم (كَرْبَهم). وتشمل الأخطارُ النفسية الاجتماعية المحتملة الأخرى المرتبطةُ بالإدارة الخوارزمية العزلةَ الاجتماعية، والتحيزَ في التوظيف والترقيات، وجمعَ البيانات التدخلي.

يُعيد التحولُ إلى العملِ عبر الإنترنت، والأنماطِ عن بُعد، ومنصاتِ العمل الرقمية تشكيلَ كيفية ومكان أداء العمل.

- يُعزز العملُ عن بُعد والعملُ الهجين وعملُ المنصات المرونةَ، والتوازنَ بين العمل والحياة، والإدماجَ، مما يعود بالفائدة على العمال الذين يتحملون مسؤوليات تقديم الرعاية، أو يعانون من إعاقاتٍ أو قيودٍ على الحركة.

يمكن أن يؤدي العملُ عن بُعد وعملُ المنصات إلى زيادة عبء العمل، والترصدِ الرقمي، والعزلةِ الاجتماعية، والأخطارِ الأرغونومية. وغالباً ما يُواجه عمالُ المنصات انعدامَ الأمن الوظيفي، ونقصاً في أوجه الحماية الاجتماعية وإجراءاتِ الحماية المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين، وجداولَ العمل غير المنتظمة، مما يؤثر على صحتهم ورفاهيتهم.

يعتمد إنشاءُ التكنولوجيات الرقمية وتشغيلُها والتخلصُ منها على قوة عاملة هائلة، مما يُثير مخاوفَ بالغة تتعلق بالسلامة والصحة المهنيتين والبيئة.

- يواجه العاملون في مجال توصيف البيانات، والإشرافِ على المحتوى، وتطويرِ الذكاء الاصطناعي، أعباءَ عمل ثقيلة، وإجْهاداً ذهنياً، وترصداً، وغالباً ما يفتقرون إلى إجراءات الحماية الكافية.
- غالباً ما يواجه العاملون في إنتاج التكنولوجيا وإدارة النفايات أخطاراً جسيمة تتعلق بالسلامة والصحة المهنيتين، بما في ذلك عمال المناجم الذين يستخرجون معادن هامة، مثل الكوبالت والليثيوم، في بيئات خطرة؛ وعمال المصانع الذين يعملون لساعات طويلة في ظل ظروف غير آمنة؛ والعاملين في القطاع غير المُنظَّم في مجال النفايات الإلكترونية المعرضين للمواد الكيميائية السامة.
- في حين أن الذكاءَ الاصطناعي والأَتْمَتَة يمكن أن يحسنا السلامة في الإنتاج وإعادة التدوير، إلا أنه يجب معالجة متطلباتهما المتزايدة من الطاقة وأثرهما البيئي لضمان كلٍ من حماية العمال والممارسات المستدامة.

يُعَدّ النهجُ المتوازنِ ومتعددِ التخصصات أمراً ضرورياً لضمان السلامة والصحة المهنيتين في العصر الرقمي.

- تظل أطر السلامة والصحة المهنيتين الحالية ضرورية للتصدي للأخطار الناشئة عن الرَّقْمَنَة. فعلى سبيل المثال، تُعَدّ صكوكُ منظمة العمل الدولية بشأن السلامة والصحة المهنيتين أساسيةً لضمان الحق الأساسي في بيئة عمل آمنة وصحية، بما في ذلك في العصر الرقمي.

- تتناول السياساتُ والاستراتيجياتُ الوطنية بشكل متزايد الآثارَ المترتبة للرَّقْمَنَة على السلامة والصحة المهنيتين، مما يضمن حمايةَ العمال في بيئات العمل المتطورة، ويعزز الانتقالَ الرقمي المسؤول لتحقيق التوازن بين الابتكار وإجراءات حماية العمال.
- تتطور اللوائحُ التي تتناول الأخطارَ المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين الناجمة عن التكنولوجيات الرقمية، مع تدابير جديدة تغطي السلامةَ المتعلقة بالروبوتات والتفاعلَ بين الإنسان والروبوت، والحقَ في قطع الاتصال، والإدارةَ الخوارزمية، والعملَ عن بُعد، وعملَ المنصات، بينما تساعد اتفاقاتُ المفاوضة الجماعية في حماية العمال في أماكن العمل الرقمية.
- تضطلع المعاييرُ والمبادئُ التوجيهية الطوعية، وحملاتُ التوعية، ومبادراتُ التدريب بدور حاسم في ضمان الاستخدام الآمن والصحي للتكنولوجيا من خلال تعزيز الامتثال، وتوجيه الأعمال، وتزويد العمال بالمهارات الرقمية اللازمة لمواكبة التغير التكنولوجي.
- يضطلع الشركاءُ الاجتماعيون بدور رئيسي في تشكيل سياسات الرَّقْمَنَة من خلال المشاركة في صنع القرار، والتفاوض على الاتفاقات الجماعية، وقيادة مبادرات إذكاء الوعي لتعزيز تبني التكنولوجيا بشكل عادل وآمن.

يُعَدّ تقييمُ الخطر وإدارته أمراً ضرورياً لضمان اتباع نهج استباقي لمنع الأخطار الجديدة المحتملة.

- ينبغي إجراء تقييم الخطر بانتظام لتحديد المخاطر المرتبطة بالتكنولوجيات الرقمية، مع مراعاة الأخطار البدنية والتنظيمية والنفسية الاجتماعية.
- ينبغي أن يُوجِّه المخططُ التسلسلي الهرمي لإجراءات التحكم التدابيرَ الوقائية، مع إعطاء الأولوية لإزالة المخاطر والحلول الهندسية على إجراءات التحكم الإدارية ومعدات الوقاية الشخصية، مما يضمن استخدام التكنولوجيا لتعزيز سلامة العمال وصحتهم بدلاً من استخدامها كبديل لإجراءات الحماية القوية للسلامة والصحة المهنيتين.
- يمكن للأدوات الرقمية، مثل التحليلات القائمة على الذكاء الاصطناعي وأنظمة المراقبة الآنية والنمذجة التنبؤية، أن تعزز تقييماتِ الخطر وتُحسّن استراتيجياتِ السلامة في مكان العمل، ولكن ينبغي لها أن تُكمل - لا أن تحل محل - الحكم البشري في الممارسات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين.
- ينبغي تكييف تدابير الوقاية والتحكم مع احتياجات فئات مُحدَّدة من العمال، مما يضمن أن التكنولوجيات الرقمية تُوفر فرصاً للجميع مع التخفيف من الأخطار لمن هم أكثر عرضة للتحديات المتعلقة بالسلامة والصحة المهنيتين.
- ينبغي أن يُشارك العمالُ بنشاط في جميع مراحل تنفيذ التكنولوجيا الرقمية، وتشكيل تصميمها وتشغيلها والتحكم فيها، وضمان مراعاة وجهات نظرهم، وأن تدعم الرَّقْمَنَة السلامةَ والصحة المهنيتين بدلاً من تقويضهما.
- ينبغي أن تُزود برامجُ التدريب الشاملة العمالَ بالمهارات اللازمة لاستخدام التكنولوجيات الجديدة بأمان، والتعرفَ على الأخطار المحتملة، والاستجابةَ بفعالية للمخاطر الناشئة، مع تدريب مُخصَّص لأولئك المنخرطين في أدوار عالية الخطورة أو كثيفة رقمياً.
- ينبغي أن يضمن التقييمُ المستمر والتكيف لسياسات السلامة والصحة المهنيتين في مكان العمل بقائها ذات صلة مع تطور التكنولوجيا، مع دمج آراء العمال وأحدث التطورات في مجال السلامة.

هناك حاجة إلى مزيد من البحوث لفهم الآثار طويلة المدى للتكنولوجيات الرقمية على السلامة والصحة المهنيتين، وضمان التنفيذ المُستنير.

- هناك حاجة إلى مزيد من البيانات حول كلٍ من الفوائد المحتملة والآثار السلبية على السلامة والصحة المهنيتين في مختلف القطاعات - مثل انخفاض الإصابات والأمراض المرتبطة بالعمل أو زيادتها.
- هناك حاجة إلى مزيد من التعاون بين الحكومات والهيئات الأكاديمية والشركاء الاجتماعيين لمواجهة الفجوات في البحوث ودعم الاستراتيجيات المُستنَدة بالأدلة لضمان أماكن عمل رقمية آمنة وصحية.

© iStock/fotografixx

المراجع

- Aati, Khaled, Daeyeol Chang, Praveen Edara, and Carlos Sun. 2020. "Immersive Work Zone Inspection Training Using Virtual Reality". Transportation Research Record 2674 (12): 224–32. https://doi.org/10.1177/0361198120953146.
- Aksüt, Güler, Tamer Eren, and Hacı Mehmet Alakaş. 2024. "Using Wearable Technological Devices to Improve Workplace Health and Safety: An Assessment on a Sector Base with Multi-Criteria Decision-Making Methods". Ain Shams Engineering Journal 15 (2): 102423. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102423.
- Akyıldız, Cengiz. 2023. "Integration of Digitalization into Occupational Health and Safety and Its Applicability: A Literature Review". The European Research Journal 9 (6):1509-1519. https://doi.org/10.18621/eurj.1352743.
- Amarasinghe, Akarshani, Viraj B. Wijesuriya, Dilshan Ganepola, and Lakshman Jayaratne. 2019. "A Swarm of Crop Spraying Drones Solution for Optimising Safe Pesticide Usage in Arable Lands: Poster Abstract". SenSys: Proceedings of the 17th Conference on Embedded Networked Sensor Systems 410–11. https://doi.org/10.1145/3356250.3361948.
- Anses. 2021. "Expositions Aux Technologies de Réalité Virtuelle et/ou Augmentée. Avis de l'Anses Rapport d'expertise Collective". https://www.anses.fr/en/system/files/AP2017SA0076Ra.pdf (Anses, 2021).
- ANSI. 1986. "American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems – Safety Requirements". https://webstore.ansi.org/standards/ria/ansiriar15062012?srsltid=AfmBOoqOfn56xO5q2ulEexlHCcAwc3vC_gvB-Oi-yrloJAoKo9xBy6xF (ANSI, 1986).
- Arterburn, David R., Christopher T. Duling, and Nishanth R. Goli. 2017. "Ground Collision Severity Standards for UAS Operating in the National Airspace System (NAS)". In 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics. https://doi.org/10.2514/6.2017-3778.
- Australian Water Association. 2023. "Melbourne Water Grabs Gong for VR Tech Use in Hazard Identification." Australian Water Association, November 9, 2023. https://www.awa.asn.au/resources/latest-news/technology/innovation/melbourne-water-grabs-gong-for-vr-tech-use-in-hazard-identification.
- A3 Marketing Team. (2019, March 14). 4 Extreme Application Environments Today's Industrial Robots are Automating. Retrieved from Association for Advancing Automation: https://www.automate.org/robotics/blogs/4-extreme-application-environments-today-s-industrial-robots-are-automating#:~:text=Not%20only%20are%20the%20temperatures,a%207thaxis%20positioner.
- Babashahi, Leili, Carlos Eduardo Barbosa, Yuri Lima, Alan Lyra, Herbert Salazar, Matheus Argôlo, Marcos Antonio de Almeida, and Jano Moreira de Souza. 2024. "AI in the Workplace: A Systematic Review of Skill Transformation in the Industry". Administrative Sciences 14 (6): 127. https://doi.org/10.3390/admsci14060127.
- Baiocco, Sara, Enrique Fernández-Macías, Uma Rani, and Annarosa Pesole. 2022. "The Algorithmic Management of Work and Its Implications in Different Contexts". JRC Working Papers on Labour, Education and Technology. https://ideas.repec.org//p/ipt/laedte/202202.html.
- Ball, K. 2021. Electronic Monitoring and Surveillance in the Workplace. Literature Review and Policy Recommendations. European Commission Publications Office. https://dx.doi.org/10.2760/5137.
- Ball, Kirstie. 2010. "Workplace Surveillance: An Overview". Labor History 51 (1): 87–106. https://doi.org/10.1080/00236561003654776.
- Bankins, Sarah, and Paul Formosa. 2023. "The Ethical Implications of Artificial Intelligence (AI) For Meaningful Work". Journal of Business Ethics 185: 725–40. https://doi.org/10.1007/s10551-023-05339-7.
- Bär, Mona, Benjamin Steinhilber, Monika A. Rieger, and Tessy Luger. 2021. "The Influence of Using Exoskeletons during Occupational Tasks on Acute Physical Stress and Strain Compared to No Exoskeleton – A Systematic Review and Meta-Analysis". Applied Ergonomics 94 (July):103385. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103385.
- BBC News. 2021. "Facebook Moderator: 'Every Day Was a Nightmare'". https://www.bbc.com/news/technology-57088382 (BBC News, 12 May 2021, sec. Technology).
- Bérastégui, Pierre. 2021. "Exposure to Psychosocial Risk Factors in the Gig Economy: A Systematic Review". ETUI Research Paper 2021.01. Bérastégui, Pierre, Exposure to Psychosocial Risk Factors in the Gig Economy: A Systematic Review (January 20, 2021). ETUI Research Paper - Report 2021.01, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3770016 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3770016
- ———. 2024. "Working in the Metaverse: What Are the Risks?" https://www.etui.org/publications/working-metaverse-what-are-risks (ETUI, 2024).
- Berg, Janine, Francis Green, Laura Nurski, and David A Spencer. 2023. "Risks to Job Quality from Digital Technologies: Are Industrial Relations in Europe Ready for the Challenge?" European Journal of Industrial Relations 29 (4): 347–65. https://doi.org/10.1177/09596801231178904.
- Berg-Beckhoff, Gabriele, Grace Nielsen, and Eva Ladekjær Larsen. 2017. "Use of Information Communication Technology and Stress, Burnout, and Mental Health in Older, Middle-Aged, and Younger Workers - Results from a Systematic Review". International Journal of Occupational and Environmental Health 23 (2): 160–71. https://doi.org/10.1080/10773525.2018.1436015.
- BIS. 2024. "Shocking Ways Smart Wearables Are Saving Lives at Work". https://www.trainanddevelop.ca/blog/shocking-ways-smart-wearables-are-saving-lives-at-work/ (BIS, 6 March 2024).
- Borikar, Ganesh P., Chaitanya Gharat, and Sachin R. Deshmukh. 2022. "Application of Drone Systems for Spraying Pesticides in Advanced Agriculture: A Review". IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1259 012015. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1259/1/012015.
- BrainStation. 2024. "What Is a Machine Learning Engineer? (2024 Guide)". https://brainstation.io/career-guides/what-is-a-machine-learning-engineer (BrainStation®, 2024)

- British Safety Council. 2024. "How Smart Hearing Protection Is Driving Reductions in Noise Exposure at Work". https://www.britsafe.org/safety-management/2024/how-smart-hearing-protection-is-driving-reductions-in-noise-exposure-at-work (British Safety Council, 2024).
- Brous, Paul, Marijn Janssen, and Paulien Herder. 2020. "The Dual Effects of the Internet of Things (IoT): A Systematic Review of the Benefits and Risks of IoT Adoption by Organizations". International Journal of Information Management 51 (April): 101952. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.008.
- Brun, L. 2020. "Cybercinétose en milieu professionnel". Références en Santé au Travail. https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TP%2040.
- Brunnerová, Simona, Daniela Ceccon, Barbora Holubová, Marta Kahancová, Katarína Lukácová, and Gabriele Medas. 2024. "Collective Bargaining Practices on AI in the European Services Sectors". Brussels: FES Competence Centre on the Future of Work. https://wageindicator.org/about/projects/identifying-collective-bargaining-practices-on-ai-in-the-european-services-sectors.
- Cameron, Gillian, David Cameron, Gavin Megaw, Raymond Bond, Maurice Mulvenna, Siobhan O'Neill, Cherie Armour, and Michael McTear. 2017. "Towards a Chatbot for Digital Counselling". Proceedings of the 31st International BCS Human Computer Interaction Conference (HCI 2017). https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2017.24.
- Campolettano, Eamon T., Megan L. Bland, Ryan A. Gellner, David W. Sproule, Bethany Rowson, Abigail M. Tyson, Stefan M. Duma, and Steven Rowson. 2017. "Ranges of Injury Risk Associated with Impact from Unmanned Aircraft Systems". Annals of Biomedical Engineering 45: 2733–41. https://doi.org/10.1007/s10439-017-1921-6.
- CCOHS. 2022a. "CCOHS: Exoskeletons". 2022. https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/exoskeletons.html (CCOHS, 2022).
- ———. 2022b. "CCOHS: Robots and Cobots". 2022. https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/robots_cobots.html (CCOHS, 2022).
- CDT. 2021. Warning. Bossware May Be Hazardous to Your Health. https://cdt.org/wp-content/uploads/2021/07/2021-07-29-Warning-Bossware-May-Be-Hazardous-To-Your-Health-Final.pdf (Center for Democracy & Technology, 2021).
- Chen, Qin, Jinfeng Ge, Huaqing Xie, Xingcheng Xu, and Yanqing Yang. 2023. "Large Language Models at Work in China's Labor Market". arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.08776.
- Collins, Philippa, and Joe Atkinson. 2023. "Worker Voice and Algorithmic Management in Post-Brexit Britain". Transfer: European Review of Labour and Research 29 (1): 37–52. https://doi.org/10.1177/10242589221143068.
- Cougnard-Gregoire, Audrey, Bénédicte M. J. Merle, Tariq Aslam, Johanna M. Seddon, Isabelle Aknin, Caroline C. W. Klaver, Gerhard Garhöfer, Alfredo Garcia Layana, Angelo Maria Minnella, Rufino Silva, and Cécile Delcourt. 2023. "Blue Light Exposure: Ocular Hazards and Prevention—A Narrative Review." Ophthalmology and Therapy 12 (2): 755–788. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9938358/.
- Costantino, Francesco, Andrea Falegnami, Lorenzo Fedele, Margherita Bernabei, Sara Stabile, and Rosina Bentivenga. 2021. "New and Emerging Hazards for Health and Safety within Digitalized Manufacturing Systems". Sustainability 13 (19): 10948. https://doi.org/10.3390/su131910948.
- Costin, Alina, Alina Felicia Roman, and Raluca-Stefania Balica. 2023. "Remote Work Burnout, Professional Job Stress, and Employee Emotional Exhaustion during the COVID-19 Pandemic". Frontiers in Psychology 14 (June):1193854. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1193854.
- Datta, Namita, Chen Rong, Sunamika Singh, Clara Stinshoff, Nadina Iacob, Natnael Simachew Nigatu, Mpumelelo Nxumalo, and Luka Kimaviciute. 2023. Working Without Borders: The Promise and Peril of Online Gig Work. Washington, DC: World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/ebc4a7e2-85c6-467b-8713-e2d77e954c6c.
- Dekker, Fabian, Anna Salomons, and Jeroen van der Waal. 2017. "Fear of Robots at Work: The Role of Economic Self-Interest". Socio-Economic Review 15 (3): 539–62. https://doi.org/10.1093/ser/mwx005.
- Deo Niyati, Anjankar Ashish. 2023. "Artificial Intelligence With Robotics in Healthcare: A Narrative Review of Its Viability in India". https://www.researchgate.net/publication/370986866_Artificial_Intelligence_With_Robotics_in_Healthcare_A_Narrative_Review_of_Its_Viability_in_India
- Dhanalakshmi, A., P. Lathapriya, and K. Divya. 2017. "A Smart Helmet for Improving Safety in Mining Industry". International Journal of Innovative Science and Research Technology 2 (3): 58-64. https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2017/04/A-SMART-HELMET-FOR-IMPROVING-SAFETY-IN-MINING-INDUSTRY.pdf
- DHS. 2023. "Feature Article: Wearable Tech Mitigates First Responder Exposure to Chemical Threats". https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2023/12/07/feature-article-wearable-tech-mitigates-first-responder-exposure-chemical-threats (Department of Homeland Security, 2023).
- Dogan, Onur, and Asli Akcamete. 2019. "Detecting Falls-from-Height with Wearable Sensors and Reducing Consequences of Occupational Fall Accidents Leveraging IoT". In Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering, edited by Ivan Mutis and Timo Hartmann, 207–14. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_25.
- Easa, Said. 2021. "Human Factor Considerations in Virtual Reality: Adequate or Inadequate?" Ergonomics International Journal 5(2): 000267. https://doi.org/10.23880/eoij-16000267.
- Ekso Bionics. 2022. "9 Must-Know Facts About Exoskeleton Suits". https://eksobionics.com/9-must-know-facts-about-exoskeleton-suits/ (Ekso Bionics, 2022).
- Elsamani, Yousif, and Yuya Kajikawa. 2024. "How Teleworking Adoption Is Changing the Labor Market and Workforce Dynamics?" PLOS ONE 19 (3): e0299051. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299051.
- ETUC. 2020. "Resolution on the European Strategies on Artificial Intelligence and Data" https://www.etuc.org/en/document/resolution-european-strategies-artificial-intelligence-and-data (ETUC, 2 July 2020).
- EU-OSHA.2009. The human machine interface. https://osha.europa.eu/sites/default/files/en_TE8010196EN-N.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2009).
- ———. 2019. Digitalisation and Occupational Safety and Health (OSH). An EU-OSHA Research Programme. https://osha.europa.eu/en/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-eu-osha-research-programme (European Agency for Safety and Health at Work, 2019).
- ———.2020. Smart Personal Protective Equipment: Intelligent Protection for the Future. https://www.nisg.org.uk/media/uploads/Smart_personal_protective_equipment_intelligent_protection_of_the_future.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2020).

- ———. 2021. New Forms of Work in the Digital Era: Implications for Psychosocial Risks and Musculoskeletal Disorders. https://osha.europa.eu/en/publications/digitalisation-work-psychosocial-risk-factors-and-work-related-musculoskeletal (European Agency for Safety and Health at Work, 2021).
- ———. 2022a. Advanced Robotics and Automation/ Implications for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/sites/default/files/Summary-Advanced%20robotics%20automation_implications_OSH_web.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022b. Advanced Robotics and Automation: What are the Risks and Opportunities for Occupational Safety and Health? https://osha.europa.eu/en/publications/advanced-robotics-and-automation-what-are-risks-and-opportunities-occupational-safety-and-health (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022c. Advanced Robotics, Artificial Intelligence and the Automation of Tasks: Definitions, Uses, Policies and Strategies and Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/sites/default/files/2022-04/Advanced%20robotics_AI_based%20systems.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022d. Artificial Intelligence for Worker Management: Risks and Opportunities. https://osha.europa.eu/en/publications/artificial-intelligence-worker-management-risks-and-opportunities (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022e. Cognitive Automation - Implications for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/en/publications/summary-cognitive-automation-implications-occupational-safety-and-health-0 (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022f. Cognitive Automation: Impact, Risks and Opportunities for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/en/publications/cognitive-automation-impact-risks-and-opportunities-occupational-safety-and-health (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022g. Smart Digital Monitoring Systems for Occupational Safety and Health: Opportunities and Challenges. https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2022h. Incorporating Occupational Safety and Health in the Assessment of Cybersecurity Risks. https://osha.europa.eu/en/publications/incorporating-occupational-safety-and-health-assessment-cybersecurity-risks. (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).
- ———. 2023a. Advanced Robotic Automation - Comparative Case Study Report. https://osha.europa.eu/en/publications/summary-advanced-robotic-automation-comparative-case-study-report (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023b. Advanced Robotics and AI-Based Systems in the Workplace: OSH Challenges and Opportunities Originating from Actual Implementations. https://osha.europa.eu/en/publications/advanced-robotics-and-ai-based-systems-workplace-osh-challenges-and-opportunities-originating-actual-implementations (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023c. Healthy Workplaces Campaign 2023-2025 Campaign Guide. https://healthy-workplaces.osha.europa.eu/en/campaign-guide (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023d. Hybrid Work: New Opportunities and Challenges for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Hybrid_work_OSH_en_0.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023e. Press Briefing. Safe and Healthy Work in the Digital Age. https://healthy-workplaces.osha.europa.eu/en/publications/press-briefing-safe-and-healthy-work-digital-age (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023f. Surveillance and Monitoring of Remote Workers: Implications for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Remote_workers_monitoring.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023g. Contributing to Occupational Risk Prevention through Initial and Continuing Training. https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/contributing-occupational-risk-prevention-through-initial-and-continuing-training. (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2023h. Managing Occupational Safety and Health Risks in Digital Platform Work. European Agency for Safety and Health at Work. https://osha.europa.eu/sites/default/files/Managing-OSH-risks-digital-platform-work_en.pdf (European Agency for Safety and Health at Work, 2023).
- ———. 2024a. Automation of Cognitive and Physical Tasks in the Health and Social Care Sector: Implications for Safety and Health. Literature Review. https://healthy-workplaces.osha.europa.eu/en/publications/automation-cognitive-and-physical-tasks-health-and-social-care-sector-implications-safety-and-health (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).
- ———. 2024b. Digital Technologies at Work and Psychosocial Risks: Evidence and Implications for Occupational Safety and Health. https://osha.europa.eu/en/publications/summary-digital-technologies-work-and-psychosocial-risks-evidence-and-implications-occupational-safety-and-health (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).
- ———. 2024c. Remote and Hybrid Work - Managing Safety and Health Anywhere. https://osha.europa.eu/en/publications/remote-and-hybrid-work-managing-safety-and-health-anywhere (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).
- ———. 2024d. Worker Exposure to Virtual and Augmented Reality and Metaverse Technologies: How Much Do We Know? https://osha.europa.eu/en/publications/worker-exposure-virtual-and-augmented-reality-and-metaverse-technologies-how-much-do-we-know (European Agency for Safety and Health at Work, 2024).
- ———. 2024e. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). 2024. "Platform Work: Recent Policy Developments and OSH Implications." OSHwiki. https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/platform-work-recent-policy-developments-osh-implications.
- ———. 2024f. Smart Digital Systems to Improve OSH: A Comparative Report – Summary. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Smart-digital-systems-improve-OSH-comparative-report_summary_EN.pdf (European Agency for Safety and Health at Work 2024).
- ———. 2025. Worker Management Through AI: Implications for Occupational Safety and Health. European Agency for Safety and Health at Work. https://osha.europa.eu/en/publications/worker-management-through-ai-implications-occupational-safety-and-health. (European Agency for Safety and Health at Work, 2025).
- Eurofound. 2022. "Working Conditions. The Rise in Telework: Impact on Working Conditions and Regulations". https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2022/rise-telework-impact-working-conditions-and-regulations (Eurofound, 2022).
- Eurofound. 2023. "Platform Work: Social Environment". https://www.eurofound.europa.eu/en/platform-work-social-environment (Eurofound 2023).
- European Commission. 2016. The EU Data Protection Reform and Big Data. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/

publication/51fc3ba6-e601-11e7-9749-01aa75ed71a1 (European Commission: Directorate-General for Justice and Consumers, Publications Office, 2016).

- Evalan. 2025. "ARMOR Heat Monitor." Accessed February 27, 2025. https://evalan.com/products/armor/#:~:text=ARMOR%20is%20the%20real%2Dtime,to%20avoid%20heat%2Drelated%20injuries.
- Fadel, Marc, Julie Bodin, Florence Cros, Alexis Descatha, and Yves Roquelaure. 2023. "Teleworking and Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review". International Journal of Environmental Research and Public Health 20 (6): 4973. https://doi.org/10.3390/ijerph20064973.
- Farley, Samuel, Iain Coyne, Christine Sprigg, Carolyn Axtell, and Ganesh Subramanian. 2015. "Exploring the Impact of Workplace Cyberbullying on Trainee Doctors". Medical Education 49 (4): 436–43. https://doi.org/10.1111/medu.12666.
- Feng, Y., & Farris, J. A. (2020). The impact of electronic performance monitoring on job stress and the role of fairness perceptions. Cognition, Technology & Work, 22(4), 667–677. https://doi.org/10.1007/s10111-020-00656-7
- Figueiredo, Elisabeth, Clara Margaça, Brizeida Hernández-Sánchez, and José Carlos Sánchez-García. 2024. "Teleworking Effects on Mental Health - A Systematic Review and a Research Agenda". International Journal of Environmental Research and Public Health 21 (3): 243. https://doi.org/10.3390/ijerph21030243.
- Flor, Omar. 2023. "ExoskeletonsH&SV2". Mendeley Data VI. https://doi.org/10.17632/bktzm7k664.1.
- Flor-Unda, Omar, Bregith Casa, Mauricio Fuentes, Santiago Solorzano, Fabián Narvaez-Espinoza, and Patricia Acosta-Vargas. 2023. "Exoskeletons: Contribution to Occupational Health and Safety". Bioengineering 10 (9): 1039. https://doi.org/10.3390/bioengineering10091039.
- Forbes. 2023. "Applications of Artificial Intelligence Across Various Industries". https://www.forbes.com/sites/qai/2023/01/06/applications-of-artificial-intelligence/ (Forbes, 2023).
- Friemert, Daniel, Mirko Kaufmann, Ulrich Hartmann, and Rolf Ellegast. 2019. "First Impressions and Acceptance of Order Pickers Towards Using Data Glasses at a Simulated Workstation". In Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Body and Motion, edited by Vincent G. Duffy, 251–65. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1_19.
- GAO. 2024. "Science & Tech Spotlight: Wearable Technologies in the Workplace" https://www.gao.gov/products/gao-24-107303 (GAO, 2024).
- Gascón, V. (2025, Jan 16). *Utilizan IA para la inspección en el trabajo. Agencia Reforma / El Diario de Chihuahua.*
- Goldman Sachs. 2024. "AI Is Poised to Drive 160% Increase in Data Center Power Demand". https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand (Goldman Sachs, 2024).
- Gonzalez Vazquez, Ignacio, Maurizio Curtarelli, Ioannis Anyfantis, Emmanuelle Brun, and Annick Starren. 2024. "Digitalisation and Workers Wellbeing: The Impact of Digital Technologies on Work-Related Psychosocial Risks". European Commission. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC138992.
- Google Cloud. n.d. "Big Data Defined: Examples and Benefits". https://cloud.google.com/learn/what-is-big-data. Google Cloud. Accessed 21 February 2025.
- GPAI. 2024. Fairwork Amazon Report 2024. Transformation of the Warehouse Sector through AI. https://fair.work/en/fw/blog/new-report-reveals-how-ai-and-robotics-are-changing-the-experiences-and-conditions-of-amazon-warehouse-workers/ (GPAI, 2024).
- Graham, Mark, Isis Hjorth, and Vili Lehdonvirta. 2017. "Digital Labour and Development: Impacts of Global Digital Labour Platforms and the Gig Economy on Worker Livelihoods". Transfer: European Review of Labour and Research 23 (2): 135–62. https://doi.org/10.1177/1024258916687250.
- Guizzo, Erico. 2023. "Types of Robots". ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics. https://robotsguide.com/learn/types-of-robots. Updated 23 May 2023.
- Haddadin, Simon, Dirk Wilhelm, Daniel Wahrmann, Fabio Tenebruso, Hamid Sadeghian, Abdeldjallil Naceri, and Sami Haddadin. 2024. "Autonomous Swab Robot for Naso- and Oropharyngeal COVID-19 Screening". Scientific Reports 14 (January):142. https://doi.org/10.1038/s41598-023-50291-1.
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. 2019. A Definition of AI: Main Capabilities and Scientific Disciplines. European Commission. https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=56341.
- Hislop, Jaime, Oren Tirosh, Mats Isaksson, John McCormick, and Chrys Hensman. 2024. "Perceived Comfort and Tool Usability during Robot-Assisted and Traditional Laparoscopic Surgery: A Survey Study". Journal of Robotic Surgery 18: 15. https://doi.org/10.1007/s11701-023-01785-7.
- Hoey, Iain. 2024. "FLAIM Systems highlights immersive learning technology to boost recruitment in fire departments". International Fire & Safety Journal. https://internationalfireandsafetyjournal.com/australian-fire-departments-adopt-immersive-learning-to-address-recruitment-challenges/.
- Howard, John, Vladimir V. Murashov, Brian D. Lowe, and Ming-Lun Lu. 2020. "Industrial Exoskeletons: Need for Intervention Effectiveness Research". American Journal of Industrial Medicine 63 (3): 201–8. https://doi.org/10.1002/ajim.23080.
- Hoy, Ryan F., Mohamed F. Jeebhay, Catherine Cavalin, Weihong Chen, Robert A. Cohen, Elizabeth Fireman, Leonard H. T. Go, Antonio León-Jiménez, Alfredo Menéndez-Navarro, Marcos Ribeiro, and Paul-André Rosental. 2022. "Current Global Perspectives on Silicosis -Convergence of Old and Newly Emergent Hazards". Respirology (Carlton, Vic.) 27 (6): 387. https://doi.org/10.1111/resp.14242.
- HSE Network. 2020. "The Potential Applications and Benefits of Drones in Health and Safety". https://www.hse-network.com/the-potential-applications-and-benefits-of-drones-in-health-and-safety/ (HSE Network, 2020).
- Huang, Chao, Chunlei Wang, Tayyaba Rani, and Syed Aziz Ur Rehman. 2024. "Digitalization's Role in Shaping Climate Change, Renewable Energy, and Technological Innovation for Achieving Sustainable Development in Top Asian Countries". Energy & Environment (June) 0958305X241258799. https://doi.org/10.1177/0958305X241258799.
- Hughes, Claretha, Lionel + "Jr" Robert, Kristin Frady, and Adam Arroyos. 2019. "Artificial Intelligence, Employee Engagement, Fairness, and Job Outcomes". In Managing Technology and Middle- and Low-skilled Employees (The Changing Context of Managing People). Emerald Publishing Limited, pp. 61-68.. http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/150204.
- IFR. n.d. "Standardization". IFR International Federation of Robotics. https://ifr.org/standardisation. Accessed 14 February 2025.
- IKAB. 2022. "New Technology Makes LKAB's Mines in Sweden Even Safer". https://lkab.com/en/press/new-technology-makes-lkabs-mines-safer/ (LKAB, 2022).

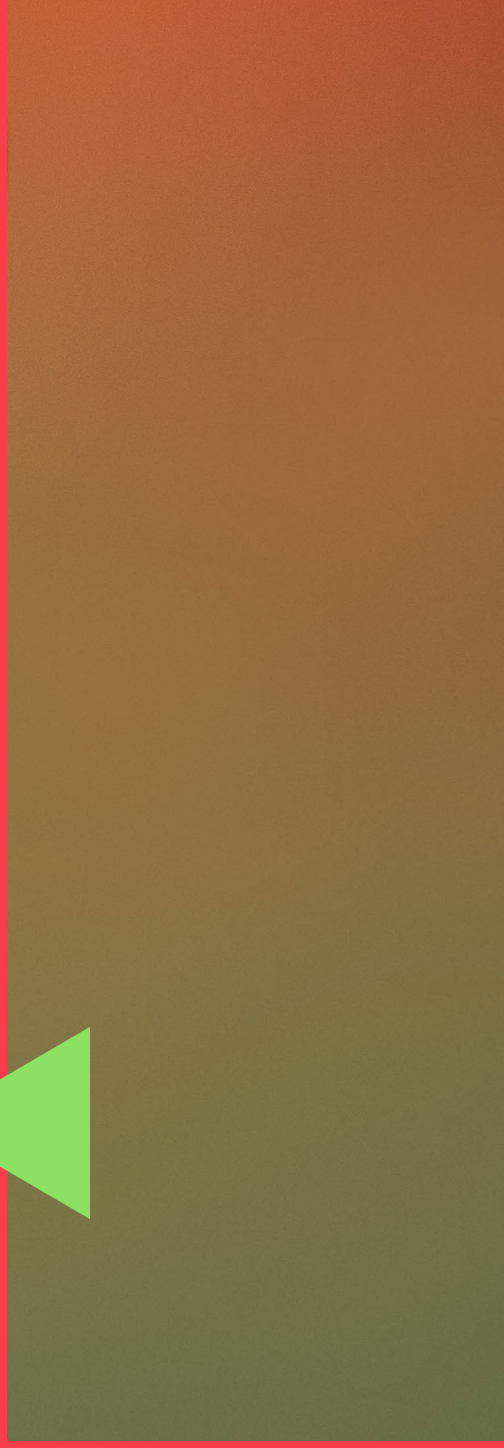
- ILO.2018. International Labour Organization (ILO). *Working Time and the Future of Work*. ILO Future of Work Research Paper Series. Geneva: International Labour Organization. (International Labour Organization, 2018).
- ———. 2019. Safety and Health at the Heart of the Future of Work. Building on 100 Years of Experience. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/publication/wcms_686645.pdf (International Labour Organization, 2019).
- ———. 2021a. Digital Platforms and the World of Work in G20 Countries: Status and Policy Action. Paper Prepared for the Employment Working Group under Italian G20 Presidency (2021). https://www.ilo.org/publications/digital-platforms-and-world-work-g20-countries-status-and-policy-action (International Labour Organization, 2021).
- ———. 2021b. Exposure to Hazardous Chemicals at Work and Resulting Health Impacts: A Global Review. https://www.ilo.org/publications/exposure-hazardous-chemicals-work-and-resulting-health-impacts-global (International Labour Organization, 2021).
- ———. 2021c. Teleworking Arrangements during the COVID-19 Crisis and Beyond. https://www.ilo.org/publications/teleworking-arrangements-during-covid-19-crisis-and-beyond (International Labour Organization, 2021).
- ———.2021d. Working from Home. From Invisibility to Decent Work. https://www.ilo.org/publications/major-publications/working-home-invisibility-decent-work (International Labour Organization, 2021).
- ———.2021e. World Employment and Social Outlook. The Role of Digital Labour Platforms in Transforming the World of Work. https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/role-digital-labour-platforms-transforming-world-work (International Labour Organization, 2021).
- ———.2022. The Algorithmic Management of Work and Its Implications in Different Contexts. https://www.ilo.org/publications/algorithmic-management-work-and-its-implications-different-contexts (International Labour Organization, 2022).
- ———.2023. Generative AI and Jobs: A Global Analysis of Potential Effects on Job Quantity and Quality. https://www.ilo.org/publications/generative-ai-and-jobs-global-analysis-potential-effects-job-quantity-and (International Labour Organization, 2023).
- ———.2024a. Social Dialogue Report 2024: Peak-Level Social Dialogue for Economic Development and Social Progress https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/social-dialogue-report-2024-peak-level-social-dialogue-economic-development (International Labour Organization 2024).
- ———.2024b. Heat at Work: Implications for Safety and Health. https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/ILO_OSH_Heatstress-R16.pdf (International Labour Organization 2024).
- ———.2024c. Realizing Decent Work in the Platform Economy. https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/ILC113-V%281%29-%5BWORKQ-231121-002%5D-Web-EN.pdf (International Labour Organization 2024).
- ILO/Eurofound. 2017. Working Anytime, Anywhere: The Effects on the World of Work. https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2017/working-anytime-anywhere-effects-world-work (International Labour Organization and Eurofound, 2017).
- ILO/European Commission. 2024. Algorithmic Management Practices in Regular Workplaces: Case Studies in Logistics and Healthcare. https://www.ilo.org/publications/algorithmic-management-practices-regular-workplaces-case-studies-logistics (International Labour Organization and European Commission, 2024).
- ILO/WHO. 2021. Healthy and Safe Telework. Technical Brief. https://www.who.int/publications/i/item/9789240040977 ((International Labour Organization and World Health Organization, 2021).
- IMF. 2024a. "AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity". https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2024/01/14/ai-will-transform-the-global-economy-lets-make-sure-it-benefits-humanity (IMF, 2024).
- Indradewa, Rhian, and Agustinus Ayung Prasetio. 2023. "The Influence of Flexible Working Arrangements and Work-Life Balance on Job Satisfaction: A Double-Layered Moderated Mediation Model." Jurnal Ekonomi dan Bisnis 26 (2): 449–476. https://doi.org/10.24914/jeb.v26i2.9551.
- Internet Society. 2015. The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf (Internet Society, 2015).
- IOE. 2023. Mental Health and Wellbeing at Work. https://www.ioe-emp.org/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=159737&token=34fcaeda5444b552b88158aba47b798b511dcd8d (IOE, 2023).
- ———. 2024. The Impact of AI on Work and Employment (an IOE Policy Review. https://industrialrelationsnews.ioe-emp.org/industrial-relations-and-labour-law-august-2024/news/article/the-impact-of-ai-on-work-and-employment-an-ioe-policy-review (IOE, 2024).
- IOSH. 2023. "Everyone's Talking about Exoskeletons – but Do They Live up to Their Hype?" https://iosh.com/news-and-opinion/exoskeletons-in-the-workplace (IOSH, 2023).
- Ishwarappa, and J. Anuradha. 2015. "A Brief Introduction on Big Data 5Vs Characteristics and Hadoop Technology". Procedia Computer Science 48: 319–24. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.188.
- Jarrahi, Mohammad Hossein, Mareike Möhlmann, and Min Kyung Lee. 2023. "Algorithmic Management: The Role of AI in Managing Workforces". MIT Sloan Management Review, April. https://sloanreview.mit.edu/article/algorithmic-management-the-role-of-ai-in-managing-workforces/.
- Javed, Nashra, Tasneem Ahmed, Mohammad Faisal, and Halima Sadia. 2023. Workplace Cyberbullying in the Remote-Work Era: A New Dimension of Cyberology. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/371927675_Workplace_Cyberbullying_in_the_Remote-Work_Era_A_New_Dimension_of_Cyberology.
- Jensen, Beth. 2024. "Exploring the Complex Ethical Challenges of Data Annotation". https://hai.stanford.edu/news/exploring-complex-ethical-challenges-data-annotation. 10 July 2024.
- Jose, Carla. 2023. "How Could AI Robots Free Up Teachers' Time in Education? 6 Possibilities". Robotlab Blog. (blog) 30 June 2023. https://www.robotlab.com/blog/how-could-ai-robots-free-up-teachers-time-in-education-6-possibilities.
- Judge, Ladan. 2023. "What Is Forced Labor in the Technology Industry Supply Chain?" https://www.z2data.com/insights/what-is-forced-labor-in-the-technology-industry-supply-chain (Z2Data, 2023).
- Kanellakis, Christoforos, and George Nikolakopoulos. 2017. "Survey on Computer Vision for UAVs: Current Developments and Trends". Journal of Intelligent & Robotic Systems 87: 141–68. https://doi.org/10.1007/s10846-017-0483-z.
- Kantor J., Sundaram A., Aufrichtig A., Taylor R. 2022. "Workplace Productivity: Are You Being Tracked." The New York Times.
- Katwala, Amit. 2017. "Making Factories Safer with VR, Smart Clothes and Robots". 2017. https://www.imeche.org/news/news-article/making-factories-safer-with-vr-smart-clothes-and-robots.

- Kelan, Elisabeth K. 2024. "Algorithmic Inclusion: Shaping the Predictive Algorithms of Artificial Intelligence in Hiring". Human Resource Management Journal 34 (3): 694–707. https://doi.org/10.1111/1748-8583.12511.
- Ken Institute. 2024. "Safety Risks and Accident Causes with Workplace Robots". Health and Safety. https://keninstitute.com/safety-risks-and-accident-causes-with-workplace-robots/
- Kirpestein, Frans, Laszlo Bax, David Chadima, Noa van Breevoort, and Harry Dobbs. n.d. EXOSKELETONS. Future Exoskeleton Technology Application by 2030. https://northsearegion.eu/media/24407/exskallerate_foresight-1.pdf (Interreg North Sea Region Exskallerate European Union Development Fund).
- Korfmacher, S. (2019). The relevance of cybersecurity for functional safety and HCI. In V. Duffy (Ed.), Digital human modeling and applications in health, safety, ergonomics and risk management human body and motion HCII 2019 lecture notes in computer science. 11581. Springer.
- Kourtesis, P., S. Collina, L. A. A. Doumas, and S. E. MacPherson. 2019. "Validation of the Virtual Reality Neuroscience Questionnaire: Maximum Duration of Immersive Virtual Reality Sessions Without the Presence of Pertinent Adverse Symptomatology." Frontiers in Human Neuroscience 13: 417. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00417.Kronos. 2018. "Employee Scheduling".
- Kuster, Christian J, Maxie Kohler, Sarah Hovinga, Christian Timmermann, Georg Hamacher, Kathrin Buerling, Lirong Chen, Nicola J. Hewitt, and Thomas Anft. 2023. "Pesticide Exposure of Operators from Drone Application: A Field Study with Comparative Analysis to Handheld Data from Exposure Models". ACS Agricultural Science & Technology 3 (12): 1125–30. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00253.
- Landrigan, Philip, Stephan Bose-O'Reilly, Johanna Elbel, Gunnar Nordberg, Roberto Lucchini, Casey Bartrem, Philippe Grandjean, Donna Mergler, Dingani Moyo, Benoit Nemery, Margrit von Braun, and Dennis Nowak on behalf of the Collegium Ramazzini. 2022. "Reducing Disease and Death from Artisanal and Small-Scale Mining (ASM) - the Urgent Need for Responsible Mining in the Context of Growing Global Demand for Minerals and Metals for Climate Change Mitigation". Environmental Health 21 (1): 78. https://doi.org/10.1186/s12940-022-00877-5.
- Lasfargue, Y., and S. Fauconnier. 2015. "Enquête 2015 Sur Les Impacts Du Télétravail" [2015 Survey on the Impacts of Telework]'. https://data.over-blog-kiwi.com/1/91/16/72/20160203/ob_b739ff_2015-05-25-synthse-enqute-tltravail-ob.pdf. Obergo. Accessed 13 February 2025.
- Li, Lan, Tina Lassiter, Joohee Oh, and Min Kyung Lee. 2021. "Algorithmic Hiring in Practice: Recruiter and HR Professional's Perspectives on AI Use in Hiring". In AIES '21 Proceedings. https://doi.org/10.1145/3461702.3462531.
- Licardo, Josip Tomo, Mihael Domjan, and Tihomir Orehovački. 2024. "Intelligent Robotics - A Systematic Review of Emerging Technologies and Trends". Electronics 13 (3): 542. https://doi.org/10.3390/electronics13030542.
- Marklin, Richard W. Jr., Ashley M. Toll, Eric H. Bauman, John J. Simmins, John F. LaDisa Jr, and Robert Cooper. 2022. "Do Head-Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers". Human Factors 64 (2): 305–23. https://doi.org/10.1177/0018720820943710.
- Mateescu, Alexandra, and Aiha Nguyen. 2019. "Algorithmic Management in the Workplace". Data & Society. https://datasociety.net/wp-content/uploads/2019/02/DS_Algorithmic_Management_Explainer.pdf.
- Mehta I, Hsueh HY, Taghipour S, Li W, Saeedi S. UV Disinfection Robots: A Review. Rob Auton Syst. 2023 Mar;161:104332. doi: 10.1016/j.robot.2022.104332.
- McAllister, Megan J., Patrick A. Costigan, Joshua P. Davies, and Tara L. Diesbourg. 2022. "The Effect of Training and Workstation Adjustability on Teleworker Discomfort during the COVID-19 Pandemic". Applied Ergonomics 102 (July):103749. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103749.
- McKendrick, Joe. 2019. "Automation And AI Actually Relieve Workplace Stress, And Customers Will Notice". https://www.forbes.com/sites/joemckendrick/2019/07/29/automation-and-ai-actually-relieve-workplace-stress-and-customers-will-notice/ (Forbes, 2019).
- Mikołajczyk, Tadeusz, Dariusz Mikołajewski, Adam Kłodowski, Andrzej Łukaszewicz, Emilia Mikołajewska, Tomasz Paczkowski, Marek Macko, and Marika Skornia. 2023. "Energy Sources of Mobile Robot Power Systems: A Systematic Review and Comparison of Efficiency". Applied Sciences 13 (13): 7547. https://doi.org/10.3390/app13137547.
- Milanez, A., A. Lemmens, and C. Ruggiu. 2025. Algorithmic Management in the Workplace: New Evidence from an OECD Employer Survey. OECD Artificial Intelligence Papers, No. 31. Paris: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/287c13c4-en.
- Moore, Phoebe V. 2018. The Quantified Self in Precarity: Work, Technology and What Counts. Routledge & CRC Press. 2018. https://www.routledge.com/The-Quantified-Self-in-Precarity-Work-Technology-and-What-Counts/Moore/p/book/9780367872908.
- Moncada, N. (2024, Dec 4). *La STPS implementa Inteligencia Artificial para inspecciones laborales más eficientes. Metro Noticias.*
- Muldoon, James, Mark Graham, and Callum Cant. 2024. Feeding the Machine. The Hidden Human Labour Powering AI. Bloomsbury Publishing.
- Murray, Rachel. 2024. "Potential Benefits and Barriers of AI in the Workforce'". She+ Geeks Out (blog). 7 May 2024. https://www.shegeeksout.com/articles/potential-benefits-and-barriers-of-ai-in-the-workforce/.
- O'Brien, Stuart. 2023. "The Potential Impacts of AI on Workplace Health and Safety". Occupational Safety and Health Forum (blog). 20 June 2023. https://oshforum.co.uk/briefing/the-potential-impacts-of-ai-on-workplace-health-and-safety/.
- O'Connor, Siobhan. 2021. "Exoskeletons in Nursing and Healthcare: A Bionic Future". Clinical Nursing Research 30 (8): 1123–26. https://doi.org/10.1177/10547738211038365.
- OECD. n.d. "Digitalisation and the Environment". OECD. Accessed 21 February 2025. https://www.oecd.org/en/topics/digitalisation-and-the-environment.html.
- Oh, Heeseok, and Wookho Son. 2022. "Cybersickness and Its Severity Arising from Virtual Reality Content: A Comprehensive Study". Sensors 22 (4): 1314. https://doi.org/10.3390/s22041314.
- Owen-Hill, Alex. 2022. "Five Highly Dangerous Jobs That Robots Can Do Safely". In Smart Manufacturing, 415–18. John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119846642.other8.
- Ozkan, Erdal. 2024. "Drones for Spraying Pesticides—Opportunities and Challenges". https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-540.
- Parajuly, Keshav, Ruediger Kuehr, Abhishek Kumar Awasthi, Colin Fitzpatrick, Josh Lepawsky, Elisabeth Smith, Rolf Widmer, and Xianlai Zeng. 2019. Future E-Waste Scenarios. StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka). https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7440/FUTURE_E-WASTE_SCENARIOS_UNU_190829_low_screen.pdf.
- Park, Hanjun, Sunwook Kim, Maury A. Nussbaum, and Divya Srinivasan. 2022. "Effects of Using a Whole-Body Powered Exoskeleton. during Simulated Occupational Load-Handling Tasks: A Pilot Study". Applied Ergonomics 98 (January):103589. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103589.

- Parker, Kim. 2023. "About a Third of U.S. Workers Who Can Work from Home Now Do so All the Time". Pew Research Center (blog). 30 March 2023. https://www.pewresearch.org/short-reads/2023/03/30/about-a-third-of-us-workers-who-can-work-from-home-do-so-all-the-time/.
- Patel, Ela, Shady Saikali, Anya Mascarenhas, Marcio Covas Moschovas, and Vipul Patel. 2023. "Muscle Fatigue and Physical Discomfort Reported by Surgeons Performing Robotic-Assisted Surgery: A Multinational Survey". Journal of Robotic Surgery 17: 2009–18. https://doi.org/10.1007/s11701-023-01608-9.
- Persson, Marcus, David Redmalm, and Clara Iversen. 2021. "Caregivers' Use of Robots and Their Effect on Work Environment – a Scoping Review". Journal of Technology in Human Services 40 (3): 251–77. https://doi.org/10.1080/15228835.2021.2000554.
- Petersen, Búi K, James Chowhan, Gordon B Cooke, Ray Gosine, and Peter J Warrian. 2023. "Automation and the Future of Work: An Intersectional Study of the Role of Human Capital, Income, Gender and Visible Minority Status". Economic and Industrial Democracy 44 (3): 703–27. https://doi.org/10.1177/0143831X221088301.
- Piasna, Agnieszka. 2024. "Digitalisation and Job Quality—the Evidence". https://www.socialeurope.eu/digitalisation-and-job-quality-the-evidence (Social Europe, 28 February 2024).
- Pillenger, Jane. 2023. "It's Not Part of the Job. The Role of Social Partners in Preventing Third-Party Violence and Harassment at Work". https://www.epsu.org/article/its-not-part-job (EPSU, 15 September 2023).
- PWC. 2020. "PwC's Study into the Effectiveness of VR for Soft Skills Training". https://www.pwc.co.uk/issues/technology/immersive-technologies/study-into-vr-training-effectiveness.html (PwC, 2020).
- Rafique, Sajid, Shaikh Masud Rana, Niclas Bjorsell, and Magnus Isaksson. 2024. "Evaluating the Advantages of Passive Exoskeletons and Recommendations for Design Improvements". Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering 11 (March. https://doi.org/10.1177/20556683241239875.
- Ragno, Luca, Alberto Borboni, Federica Vannetti, Cinzia Amici, and Nicoletta Cusano. 2023. "Application of Social Robots in Healthcare: Review on Characteristics, Requirements, Technical Solutions". Sensors 23 (15): 6820. https://doi.org/10.3390/s23156820.
- Rani, Uma, Morgan, Williams, and Nora Gobel. Forthcoming. The Human Cogs in the AI Machine: Experiences of Data Annotation and Content Moderation Workers in the BPO Sector in India and Kenya. ILO Working Paper.
- Rani, Uma, and Rishabh Kumar Dhir. 2024. "AI-Enabled Business Model and Human-in-the-Loop (Deceptive AI): Implications for Labor." In Handbook of Artificial Intelligence at Work, edited by Martha Garcia-Murillo, Ian MacInnes, and Andrea Renda, 47–75. Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781800889972.00011.
- Rawat, R., and R. Yadav. 2021. "Big Data: Big Data Analysis, Issues and Challenges and Technologies". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1022: 012014. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1022/1/012014.
- Rebelo, Glória, Antonio Almeida, and Joao Pedra. 2024. "Telework and Work Intensity: Insights from an Exploratory Study in Portugal during the COVID-19 Pandemic". Administrative Sciences 14 (1): 14. https://doi.org/10.3390/admsci14010014.
- Richarz, Hans-Udo, Arturo Tamayo, Jan Rahmig, Timo Siepmann, and Jessica Barlinn. 2023. "The Impact of Mechanical Devices for Lifting and Transferring of Patients on Low Back Pain and Musculoskeletal Injuries in Health Care Personnel - A Systematic Review and Meta-analysis". Journal of Occupational Health 65 (1): e12423. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12423.
- Robots.com. 2017. "Industrial Robots Can Prevent Exposure to Chemicals And…". https://www.robots.com/articles/industrial-robots-can-prevent-exposure-to-chemicals-and-health-problems-of-workers (Robots.com, 2017).
- Robotnik. 2022. "What is advanced robotics? Retrieved from Robotnik". https://robotnik.eu/what-is-advanced-robotics-advanced-industrial-robotics/
- Rohwer, Elisabeth, Joelle-Cathrin Flöther, Volker Harth, and Stefanie Mache. 2022. "Overcoming the 'Dark Side' of Technology - A Scoping Review on Preventing and Coping with Work-Related Technostress". International Journal of Environmental Research and Public Health 19 (6): 3625. https://doi.org/10.3390/ijerph19063625.
- run:ai. n.d. "What Is a Machine Learning Engineer? The Ultimate Guide". https://www.run.ai/guides/machine-learning-engineering. Accessed 21 February 2025.
- Saad, Lydia. 2023. "More U.S. Workers Fear Technology Making Their Jobs Obsolete". https://news.gallup.com/poll/510551/workers-fear-technology-making-jobs-obsolete.aspx (Gallup.Com, 11 September 2023).
- Sabino, Inês, Maria do Carmo Fernandes, Cátia Cepeda, Cláudia Quaresma, Hugo Gamboa, Isabel L. Nunes, and Ana Teresa Gabriel. 2024. "Application of Wearable Technology for the Ergonomic Risk Assessment of Healthcare Professionals: A Systematic Literature Review". International Journal of Industrial Ergonomics 100 (March):103570. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2024.103570.
- Safetytech Accelerator. 2024. Delivering Safety Innovation. Advancing Occupational Safety and Health through Emerging Technologies. https://safetytechaccelerator.org/downloads/report-delivering-safety-innovation/ (Safetytech Accelerator, 2024).
- Samek Lodovici, Manuela, Elena Ferrari, Emma Paladino, Flavia Pesce, Pietro Frecassetti, Eliat Aram, and Kari Hadjivassiliou. 2021. The Impact of Teleworking and Digital Work on Workers and Society. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2021)662904 (European Parliament, 2021).
- Sánchez-Medina, Agustín J., Inmaculada Galván-Sánchez, and Margarita Fernández-Monroy. 2020. "Applying Artificial Intelligence to Explore Sexual Cyberbullying Behaviour". Heliyon 6 (1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03218.
- Seoul Metropolitan Government. 2021. Seoul Adopts AI & IoT Safety Management to Prevent Construction and Building Accidents. September 24, 2021. https://english.seoul.go.kr/seoul-adopts-ai-iot-safety-management-to-prevent-construction-and-building-accidents/?utm_source=chatgpt.com
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2024). *Programa de Inspección 2024.* Secretaría del Trabajo, Gobierno de México.
- Selenko, Eva, Sarah Bankins, Mindy Shoss, Joel Warburton, and Simon Lloyd D. Restubog. 2022. "Artificial Intelligence and the Future of Work: A Functional-Identity Perspective". Current Directions in Psychological Science 31 (3): p. 272–79. https://doi.org/10.1177/09637214221091823.
- Shirmohammadi, Melika, Wee Chan Au, and Mina Beigi. 2022. "Remote Work and Work-Life Balance: Lessons Learned from the Covid-19 Pandemic and Suggestions for HRD Practitioners". Human Resource Development International 25 (2): 163–81. https://doi.org/10.1080/13678868.2022.2047380.
- Smart, Andrew, Sonja Schmer-Galunder, Mark Diaz, Ding Wang, Erin van Liemt, Atoosa Kasirzadeh, and Ellis Monk. 2024. "Discipline and Label: A WEIRD Genealogy and Social Theory of Data Annotation". 16 July 2024. https://arxiv.org/pdf/2402.06811.
- Smids, Jilles, Sven Nyholm, and Hannah Berkers. 2020. "Robots in the Workplace: A Threat to - or Opportunity for - Meaningful Work?" Philosophy & Technology 33: 503–22. https://doi.org/10.1007/s13347-019-00377-4.

- Smith, Alex Nelson. 2019. "Finite Element Analysis of Traumatic Brain Injury Due to Small Unmanned Aircraft System Impacts on the Human Head". Theses and Dissertations, 2286. https://scholarsjunction.msstate.edu/td/2286.
- Soori, Mohsen, Behrooz Arezoo, and Roza Dastres. 2023. "Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning in Advanced Robotics, a Review". Cognitive Robotics 3: 54–70. https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.001.
- Souchet, Alexis D., Domitile Lourdeaux, Alain Pagani, and Lisa Rebenitsch. 2023. "A Narrative Review of Immersive Virtual Reality's Ergonomics and Risks at the Workplace: Cybersickness, Visual Fatigue, Muscular Fatigue, Acute Stress, and Mental Overload". Virtual Reality 27: 19–50. https://doi.org/10.1007/s10055-022-00672-0.
- Srinivasan, Babji, Mohd Umair Iqbal, Mohammed Aatif Shahab, and Rajagopalan Srinivasan. 2022. "Review of Virtual Reality (VR) Applications To Enhance Chemical Safety: From Students to Plant Operators". ACS Chemical Health & Safety 29 (3): 246–62. https://doi.org/10.1021/acs.chas.2c00006.
- Stanney, Kay, Ben D. Lawson, Bas Rokers, Mark Dennison, Cali Fidopiastis, Thomas Stoffregen, Séamas Weech, and Jacqueline M. Fulvio. 2020. "Identifying Causes of and Solutions for Cybersickness in Immersive Technology: Reformulation of a Research and Development Agenda". International Journal of Human–Computer Interaction 36 (19): 1783–1803. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1828535.
- Star Knowledge. 2022. "Advantages and Disadvantages of Wearable Technology". (blog) 12 July 2022. https://star-knowledge.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-wearable-technology-in-the-workplace/.
- State of Qatar, Ministry of Labour. 2022. "Ministry of Labour Launches Training Program for Inspectors Using VR Technology". 2022. https://www.mol.gov.qa/En/mediacenter/Pages/NewsDetails.aspx?itemid=65.
- Stefan, Hans, Michael Mortimer, and Ben Horan. 2023. "Evaluating the Effectiveness of Virtual Reality for Safety-Relevant Training: A Systematic Review". Virtual Reality 27 (4): 2839–69. https://doi.org/10.1007/s10055-023-00843-7.
- Steidelmüller, Corinna, Sophie-Charlotte Meyer, and Grit Müller. 2020. "Home-Based Telework and Presenteeism Across Europe". Journal of Occupational and Environmental Medicine 62 (12): 998-1005. https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001992.
- Stoltz, Marie-Hélène, Vaggelis Giannikas, Duncan McFarlane, James Strachan, Jumyung Um, and Rengarajan Srinivasan. 2017. "Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers". IFAC-PapersOnLine 50 (1): 12979–84. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1807.
- Su, Hao, Antonio Di Lallo, Robin R. Murphy, Russell H. Taylor, Brian T. Garibaldi, and Axel Krieger. 2021. "Physical Human–Robot Interaction for Clinical Care in Infectious Environments". Nature Machine Intelligence (3): 184–86. https://doi.org/10.1038/s42256-021-00324-z.
- Sun, Jianmin, Hongzhou Shen, Syed Ibn-ul-Hassan, Amir Riaz, and Aura Emanuela Domil. 2022. 'The Association between Digitalization and Mental Health: The Mediating Role of Wellbeing at Work'. Frontiers in Psychiatry 13 (August): 934357. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.934357.
- Tamers, Sara L., Jessica Streit, Rene Pana-Cryan, Tapas Ray, Laura Syron, Michael A. Flynn, Dawn Castillo, Gary Roth, Charles Geraci, Rebecca Guerin, Paul Schulte, Scott Henn, Chia-Chia Chang, Sarah Felknor, and John Howard. 2020. "Envisioning the Future of Work to Safeguard the Safety, Health, and Well-Being of the Workforce: A Perspective from the CDC's National Institute for Occupational Safety and Health". American Journal of Industrial Medicine 63 (12): 1065–84. https://doi.org/10.1002/ajim.23183.
- Tao, Yanqiu, Debbie Steckel, Jiří Jaromír Klemeš, and Fengqi You. 2021. "Trend towards Virtual and Hybrid Conferences May Be an Effective Climate Change Mitigation Strategy". Nature Communications 12 (1): 7324. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27251-2.
- teal. n.d. 'Do Machine Learning Engineers Have a Good Work-Life Balance?' Accessed 14 February 2025. https://www.tealhq.com/work-life-balance/machine-learning-engineer.
- Tegtmeier, Patricia, Corinna Weber, Sabine Sommer, Anita Tisch, and Sascha Wischniewski. 2022. "Criteria and Guidelines for Human-Centered Work Design in a Digitally Transformed World of Work: Findings from a Formal Consensus Process". International Journal of Environmental Research and Public Health 19 (23): 15506. https://doi.org/10.3390/ijerph192315506.
- The Alan Turing Institute. 2024. "AI for Bureaucratic Productivity: Measuring the Potential of AI to Help Automate 143 Million UK Government Transactions".https://www.turing.ac.uk/news/publications/ai-bureaucratic-productivity-measuring-potential-ai-help-automate-143-million-uk (The Alan Turing Institute, 2024).
- The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Department for Business, Energy & Industry Strategy. 2020. The Safety of Domestic Virtual Reality Systems. A Literature Review. BEIS Research Paper Number 2020/038. RPN 4527. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f763502d3bf7f7c2bcf9eb9/safety-domestic-vr-systems.pdf.
- Timbó, Rafael. 2023. "Pros and Cons of Artificial Intelligence". https://www.revelo.com/blog/pros-and-cons-of-ai (Revelo, 2023).
- TİSK. 2022. "Turkiye's Journey To Zero Accidents". https://www.tisk.org.tr/project/745/turkiyes-journey-to-zero-incident.html (TİSK, 2022).
- Tucker, Sarah, Soundarya Jonnalagadda, Cheryl Beseler, Aaron Yoder, and Ann Fruhling. 2024. "Exploring Wearable Technology Use and Importance of Health Monitoring in the Hazardous Occupations of First Responders and Professional Drivers". Journal of Occupational Health 66 (1): uiad002. https://doi.org/10.1093/joccuh/uiad002.
- UNI Global Union. 2022. 'H&M Workers Protected under First Digitalization Agreement with Ver.Di'. UNI Global Union (blog). 2022. https://uniglobalunion.org/news/hm-workers-protected-under-first-digitalization-agreement-with-ver-di/.
- UN/ILO. 2024. Mind the AI Divide. Shaping a Global Perspective on the Future of Work. https://www.ilo.org/publications/major-publications/mind-ai-divide-shaping-global-perspective-future-work (United Nations and the International Labour Organization, 2024).
- Vallée, Alexandre. 2024. "Exoskeleton Technology in Nursing Practice: Assessing Effectiveness, Usability, and Impact on Nurses' Quality of Work Life, a Narrative Review". BMC Nursing 23 (1): 156. https://doi.org/10.1186/s12912-024-01821-3.
- Vorecol. 2024. "The Role of AI in Enhancing Fatigue and Stress Management Software Solutions". Accessed 12 February 2025. https://vorecol.com/blogs/blog-the-role-of-ai-in-enhancing-fatigue-and-stress-management-software-solutions-168445.
- Wang, Pei. 2019. "On Defining Artificial Intelligence". Journal of Artificial General Intelligence 10 (2): 1–37. https://doi.org/10.2478/jagi-2019-0002.
- Wee, Ian Jun Yan, Li-Jen Kuo, and James Chi-Yong Ngu. 2020. "A Systematic Review of the True Benefit of Robotic Surgery: Ergonomics". The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery 16 (4): e2113. https://doi.org/10.1002/rcs.2113.
- WHO. 2024. "WHO Launches an Innovative Virtual Reality Training Tool on Ship Sanitation Inspection". https://www.who.int/europe/news/item/03-01-2024-who-launches-an-innovative-virtual-reality-training-tool-on-ship-sanitation-inspection (World Health Organization, 2024).

- Williams, Abigail. 2019. "Reality Check: How AR Can Improve Efficiency in Logistics." *Automotive Logistics*, April 15, 2019. https://www.automotivelogistics.media/materials-handling/reality-check-how-ar-can-improve-efficiency-in-logistics/37943.article.
- Williams, Adrienne. 2022. "The Exploited Labor Behind Artificial Intelligence". https://www.noemamag.com/the-exploited-labor-behind-artificial-intelligence (Noema, 2022).
- Wilson Center. 2021. "The DRC Mining Industry: Child Labor and Formalization of Small-Scale Mining". https://www.wilsoncenter.org/blog-post/drc-mining-industry-child-labor-and-formalization-small-scale-mining (Wilson Center, 2021).
- Witkowski et al. 2024. "Public perceptions of artificial intelligence in healthcare: ethical concerns and opportunities for patient-centered care". BMC Medical Ethics. https://bmcmedethics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12910-024-01066-4
- Yan, Xiaojing, Yangyang Zhou, Xiaohui Liu, Daibin Yang, and Huizhu Yuan. 2021. "Minimizing Occupational Exposure to Pesticide and Increasing Control Efficacy of Pests by Unmanned Aerial Vehicle Application on Cowpea". Applied Sciences 11 (20): 9579. https://doi.org/10.3390/app11209579.
- Yan, Xuzhong, Heng Li, Angus R. Li, and Hong Zhang. 2017. "Wearable IMU-Based Real-Time Motion Warning System for Construction Workers' Musculoskeletal Disorders Prevention". Automation in Construction 74: 2-11. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.007
- Yang, Guang-Zhong, Bradley J. Nelson, Robin R. Murphy, Howie Choset, Henrik Christensen, Steven H. Collins, Paolo Dario, Ken Goldberg, Koji Ikuta, Neil Jacobstein, Danica Kragic, Russell H. Taylor, and Marcia McNutt. 2020. "Combating COVID-19—The Role of Robotics in Managing Public Health and Infectious Diseases". Science Robotics 5 (40): eabb5589. https://doi.org/10.1126/scirobotics.abb5589.
- Yorita, Akihiro, Simon Egerton, Carina Chan, and Naoyuki Kubota. 2023. "Chatbots and Robots: A Framework for the Self-Management of Occupational Stress". ROBOMECH Journal 10: 24. https://doi.org/10.1186/s40648-023-00261-z.
- Zamanian, Ehsan. 2023. Environmental Sensors; Comprehensive Guide 2024. Neuroject. November 8, 2023. https://neuroject.com/environmental-sensors/.
- Zapier. 2021. "Zapier Report: The 2021 State of Business Automation". https://zapier.com/blog/state-of-business-automation-2021/?src_trk=em6693d85424df84.518838661470729023 (Zapier, 2021).
- Zelik, Karl E., Cameron A. Nurse, Mark C. Schall Jr, Richard F. Sesek, Matthew C. Marino, and Sean Gallagher. 2022. "An Ergonomic Assessment Tool for Evaluating the Effect of Back Exoskeletons on Injury Risk". Applied Ergonomics 99 (February):103619. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103619.
- Zhu, R., Song, R., Wang, Y., Wang, H., and Dong, X. 2021. "Automated Workers' Ergonomic Risk Assessment in Manual Material Handling Using sEMG Wearable Sensors and Machine Learning." ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/355449113.



عنوان القسم الذي أصدر التقرير:

Occupational Safety and Health and Working Environment Branch (OSHE)

Governance and Tripartism Department (GOVERNANCE)

International Labour Office
Route des Morillons 4
1211 Geneva 22
Switzerland

T: +41 (0) 22 799 61 11

E: oshe@ilo.org