الاستثمار في رأس المال البشري واستيعاب الثورة الصناعية الرابعة: تحليل العتبة للحد الأدنى

إعداد

عبدالله محمد الشناوي

أستاذ الاقتصاد المساعد

كلية التجارة جامعة الزقازيق

shenawy59@gmail.com

مريم رجب عبدالهادي

المعيدة بقسم الاقتصاد

كلية التجارة - جامعة الزقازيق

marimragab@zu.edu.eg

د. رامي حسني محفوظ الأزهري

مدرس الاقتصاد

كلية التجارة - جامعة الزقازيق

ramyazhary@zu.edu.eg

مجلة البحوث التجارية - كلية التجارة جامعة الزقازيق

المجلد الخامس والأربعين - العدد الرابع أكتوبر 2023

رابط المجلة: https://zcom.journals.ekb.eg/

المستخلص:

تُعد الزيادة المستمرة في تطور التكنولوجيا واستخدامها وتنظيمها تحدياً صعباً في ظل الثورة الصناعية الرابعة (4IR). وقد أُثيرت مخاوف بشأن كفاية رأس المال البشري في هذا العصر الجديد، لاسيما في الاقتصادات النامية مثل مصر. اعتمد هذا البحث منهجًا تحليلياً وصفياً لتقييم استعداد رأس المال البشري في عصر الثورة الصناعية الرابعة. واستخدمت الدراسة تحليل انحدار العتبة (Threshold Regression) لتحديد العتبة أو الحاجز الذي يجب أن يتجاوزه مستوى تراكم رأس المال البشري ليحقق تأثيراً ملحوظاً على الثورة الصناعية الرابعة. وتأخذ المنهجية المستخدمة بعين الاعتبار عوامل مثل المستوى الحالي للتعليم والصحة، ومتغيرات الابتكار التكنولوجي، والتغييرات المتوقعة في سوق العمل. وأظهرت النتائج وجود تأثيراً إيجابياً لتراكم رأس المال البشري على استيعاب 4IR، ممثلاً في مستوي الجاهزية الشبكية والتعقيد الاقتصادي للدول محل الدراسة، ولكن قوة العلاقة تختلف بناءً على مستوى تراكم رأس المال البشري (مستوى العتبة) والذي تراوح ما بين (3.19 - 3.22) بالنسبة لمستويي التعقيد الاقتصادي والجاهزية الشبكية على الترتيب. وبمقارنة هذه العتبة مع مستوي رأس المال البشري المتراكم في مصر حتى عام 2020 والبالغ (2.707) اتضح أن الحد الأدنى اللازم لاستيعاب تطبيقات الثورة الصناعية الرابعة أكبر قليلاً من مستوي تراكم رأس المال البشري بمصر. لذا يجب أن يعمل صانعو السياسات وأصحاب المصلحة على إعطاء الأولوية للاستثمار في تطوير رأس المال البشري، بما في ذلك برامج تطوير وتحسين المهارات وبرامج الرعاية الصحية، لضمان الاستعداد الجيد للاستفادة من الفرص المتاحة في إطار الصناعة 4.0.

الكلمات المفتاحية: الثورة الصناعية الرابعة، رأس المال البشري، التغيير التكنولوجي، الجاهزية الشبكية والتعقيد الاقتصادي، تحليل انحدار العتبة.

1- المقدمة:

يُعد الاستثمار في رأس المال البشري أمراً بالغ الأهمية خصوصاً وأن العالم يشهد يوماً بعد يوم تغيرات متسارعة للتكنولوجيا وتطورات تقنية متلاحقة والتي تحدث بفعل الإنسان وتنعكس عليه في الوقت ذاته. لذا تعاظمت الحاجة إلى وجود موارد بشرية تتمتع بمهارات عالية وقدرات متميزة تتناسب مع متطلبات العالم المتغير. وتشير نظريات النمو الاقتصادي إلى سيادة العلاقة الطردية بين التقدم التكنولوجي ومعدل النمو الاقتصادي في الأجل الطويل، ويلاحظ تعاظم تأثير التقدم التكنولوجي في المناخ التعليمي والصحي الأفضل، وهو ما يدعم تراكم رأس المال البشري. والذي يُعد أحد أهم مصادر استدامة النمو. مما يؤكد أولوية الاستثمار في رأس المال البشري مقارنة بالاستثمار في الموارد المالية، وهو ما أكد عليه الاقتصاديين باعتباره أفضل أنواع رأس المال قيمة والعنصر الإنتاجي الأول في عمليات التنمية الاقتصادية والاجتماعية (Harrison, 1973). ويعيش العالم اليوم ثورة تكنولوجية جديدة تُعرف بالثورة الصناعية الرابعة 4IR والتي انطلقت من الإنجازات الكبيرة التي حققتها الثورة الصناعية الثالثة، ولكن ما يميزها عن الثالثة هو تداخل المعارف وتشابكها مما أدي لظهور مجموعة من التكنولوجيات والتقنيات الرقمية الجديدة الأكثر تعقيداً وإحلالها محل البشر في العمليات الإنتاجية مثل: إنترنت الأشياء، وتحليلات البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي، والحوسبة السحابية. وأصبحت الأتمتة الذكيةSmart Automation والتقنيات الرقمية الجديدة تلعب دوراً متزايداً في العمليات الإنتاجية وتستحوذ على مهام روتينية كان يقوم بها البشر في الماضي، مما يعني تزايد احتمالية تعرضهم للبطالة التكنولوجية (مؤتمر القمة العالمي، 2015)، ويتوقع أن يتمادى تأثير الثورة الصناعية الرابعة في اختلالات سوق العمل بسبب العجز الشديد في المهارات المتطورة التي تتطلبها التقنيات الحديثة (Schwab, 2017). وفي هذا السياق، تتمثل المشكلة الرئيسية للدراسة في معرفة ما إذا كان المورد البشري في مصر قادراً على استيعاب التطورات السريعة والتكنولوجيات الذكية، ليتحدد السؤال الرئيسي الذي تسعي هذه الدراسة إلى الإجابة عنه وهو: **ما هو الحد الأدنى من تراكم رأس المال البشري اللازم لاستيعاب ومواكبة الثورة الصناعية الرابعة في مصر؟** لتكون بذلك أول دراسة -وفقاً للمعلومات المتوافرة- تقوم بقياس الحد الأدنى لتراكم رأس المال البشري الذي تبدأ به أي دولة نامية مرحلة استيعاب الثورة الصناعية الرابعة وتطبيقاتها، وذلك خلال الفترة من (2000-

2020)[1]، باستخدام تحليل انحدار العتبة (Threshold Regression) لتحديد العتبة أو الحاجز الذي يجب أن يتجاوزه مستوى تراكم رأس المال البشري ليحقق تأثيراً ملحوظاً على الثورة الصناعية الرابعة. ويمكن لنتائج هذه الدراسة أن تساعد الدول النامية على التحرك نحو المزيد من الاستثمار في رأس المال البشري وتحقيق مستويات أعلى من التطور التكنولوجي والاستفادة المثلى من التغييرات التكنولوجية التي تخلقها 4IR. مما يعزز فرصهم في تحقيق التنمية الاقتصادية والمستدامة وزيادة تنافسيتهم في السوق العالمية.

2- الدراسات السابقة وفرضية الدراسة:

يُعد الاستثمار في رأس المال البشري عملية ضرورية ومستمرة لأي مجتمع أو منشأة تسعى إلى البقاء في ظل التحديات التي يفرضها العالم المتغير. توجد العديد من الدراسات التي تناولت تأثير الاستثمار في رأس المال البشري، ولكنها تراوحت ما بين البحث عن هذا **التأثير** على النمو والتنمية الاقتصادية، وبين **التأثير** على القضايا المتعلقة بالتطورات التكنولوجية وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة وآثارها المحتملة. بالنسبة للتأثير على النمو الاقتصادي والتنمية الاقتصادية أكدت العديد من الدراسات من أهمها (Maitra, 2016), (Ozyilmaz, et al., 2022), (Dor´e & Teixeira, 2023) (صقر و رضوان، 2022) (احمد و راضي، 2020)، (إبراهيم، 2019)، (عبدربه، 2019)، (شبلاق، 2018)، (حنفي، 2018) على الدور المحوري للاستثمار في رأس المال البشري لتحقيق النمو الاقتصادي والتنمية الاقتصادية، وقد تفاوتت تلك العلاقة نتيجة لعدد من المسائل المتعلقة بقياس رأس المال البشري وطبيعة النموذج المستخدم في التقدير، إلا أن غالبيتها أكدت على وجود أثر إيجابي ومعنوي في الأجل الطويل بين كل من الرصيد المبدئي لرأس المال البشري والاستثمار فيه وبين النمو الاقتصادي والتنمية الاقتصادية. وعلى الرغم من أن جودة قوة العمل تُسهم في تحقيق أداء اقتصادي أفضل، فإن غالبية هذه الدراسات كانت تقتصر في تحليلها لرأس المال البشري على جانب التعليم فقط، وتجاهل الصحة كأحد الأبعاد الأساسية لرأس المال البشري وأحد المكونات الضرورية لتحقيق النمو الاقتصادي، ما عدا دراسة (صقر و رضوان، 2022) التي أخذت في الاعتبار الأبعاد المتعددة لرأس المال البشري من تعليم وصحة وبحث علمي تطوير، وأكدت أن هذه الأبعاد متكاملة ويصب كل منها في الآخر. كما اوضحت دراسة (Ozyilmaz, et al., 2022) المطبقة على 27دولة من دول الاتحاد الأوروبي في الفترة من (2000-2019) أن هناك علاقة إيجابية

[1] للتقيد بوفرة البيانات.

بين النفقات الصحية والنمو الاقتصادي في دول الاتحاد الأوروبي، كما أكدت الدراسة أن هناك علاقة ثنائية الاتجاه بين النفقات الصحية والنمو الاقتصادي، مما يشير إلى أن تأثير كل منهما على الآخر قائم ومتبادل. في المقابل لم تجد دراسة (Mohapatra & Mishra, 2011) والمطبقة على الهند في الفترة (2008/2007-1991/1990) علاقة معنوية بين النفقات العامة على الصحة والنمو الاقتصادي، وأن العلاقة بينهما تختلف باختلاف الزمن، فيما وجدت دراسة (Bukenya, 2009) علاقة موجبة بين الإنفاق على الصحة والنمو الاقتصادي، ولكنها ضعيفة.

أما بالنسبة للتأثير على القضايا المتعلقة بالتطورات التكنولوجية وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة وآثارها المحتملة، أكدت العديد من الدراسات من أهمها { (Mpofu & Nemashakwe, 2023)، (الجزار، 2020)، (حسين، 2023)، (Vrchota, Maˇriková, Rehoˇr, Rolˇ ínek, & Toušek, 2019)، (Kaba & Said, 2020)، (Puhovichova & Jankelova, 2021)، (رزق و إسماعيل، 2021)، (Peters & Jandrić, 2019) (Yang, 2019) } أن الاستثمار في رأس المال البشري يلعب دورًا أساسيًا في تمكين المجتمعات والاقتصادات من التكيف مع التطورات التكنولوجية المتلاحقة واستيعاب التقنيات المختلفة للثورة الصناعية الرابعة. بالإضافة إلى زيادة الإنتاجية والابتكار، إلى جانب تحسين فرص العمل وتقليل معدلات البطالة كأحد أهم الآثار السلبية المحتملة نتيجة الثورة الصناعية الرابعة. وقد أكدت دراسة (حسين، 2023) على العلاقة الطردية بين المستوى التعليمي ومعدل الوعي بتقنيات الثورة الصناعية الرابعة (الذكاء الاصطناعي مثالاً)، كذلك العلاقة العكسية بين عامل السن ومعدل الوعي بهذه التقنيات، كذلك أكدت دراسة (Yang, 2019) أن هناك تحديات تواجه العمال الأكبر سنا في الثورة الصناعية الرابعة، وتوصلت إلى أن تحفيز التعلم مدى الحياة وفرص إعادة التدريب يحولا دون هذه التحديات مع زيادة الاستقرار والأمان الوظيفي لديهم في ظل هذه الثورة. وأوضحت دراسة (Miculescu & Oţil, 2020) المطبقة على رومانيا خلال الفترة من (2010-2017) الارتباط الموجب بين الاستثمار في رأس المال البشري (من منظوري التعليم والصحة ومهارات القوى العاملة) وتحقيق النمو الاقتصادي في ضوء الثورة الصناعية الرابعة. كذلك ناقشت بعض الدراسات تأثير الصناعة 4.0 على تنمية رأس المال البشري ومستقبل العمل كدراسة (Peters & Jandrić, 2019) ، (Puhovichova & Jankelova, 2021) ، (رزق و إسماعيل، 2021)، (Sima, Gheorghe, Subic, & Nancu, 2020) وأكدت هذه الدراسات أن 4IR ستسفر عن تغيرات كبيرة في سوق العمل والأدوار المهنية، واتفقت

على وجود ارتباطاً موجباً بين تطوير مهارات العمال والاستقرار الوظيفي لهم وتجنب حدوث البطالة التكنولوجية، كما ركزت دراسة (Yunos & Din, 2019) على إجراء تقييم كمي لاستعداد جيل Z[2] (Generation Z)ومعرفتهم بالثورة الصناعية 4.0، وأشارت النتائج أن هذا الجيل يُظهر استعدادًا مرتفعًا لاستيعاب 4IR، على الرغم من أن مستوى معرفتهم بالثورة الصناعية الرابعة حاليًا هو مستوى منخفض. وأشار الباحث إلى أن هذا الجيل يمكنه التأقلم بشكل جيد مع التحولات التكنولوجية المستجدة والتحديات التي تطرأ على سوق العمل في الثورة الصناعية الرابعة عن طريق تعزيز معرفتهم بالتحديات والمعلومات المتعلقة بها من خلال تطوير مهارات التعلم مدى الحياة وفقًا لاتجاهاتهم الشخصية. وأكدت معظم الدراسات التي تناولت القضايا المتعلقة بالتعليم في ضوء الثورة الصناعية الرابعة عدم مواءمة مخرجات النظام التعليمي في البلدان -خاصة النامية منها- مع متطلبات سوق العمل الجديدة الناتجة عن التطورات التكنولوجية المتسارعة لهذه الثورة.

بناءً على ما سبق قامت **الدراسة على فرضية أساسية مفادها أن تراكم رأس المال البشري يؤثر بشكل إيجابي على استعداد وقدرة الاقتصادات النامية على استيعاب تطبيقات ومتطلبات الثورة الصناعية الرابعة.** وعلى نحو أدق، الفرضية تتوقع أن **هناك ارتباطاً معنوياً موجباً بين مستوى تراكم رأس المال البشري عن طريق الاستثمار فيه وبين تعقيد الاقتصاد وجاهزيته الشبكية**، مما يسمح للدول النامية بتحقيق مكاسب هائلة في الإنتاجية والنمو الاقتصادي في ضوء الثورة الصناعية الرابعة.

3- الإطار النظري:

العلاقة بين الاستثمار في رأس المال البشري واستيعاب الثورة الصناعية الرابعة:

يُشير الاستثمار في رأس المال البشري إلى كل إنفاق على المجالات الاستثمارية المختلفة كالتعليم والصحة والتدريب الوظيفي، من أجل تنمية قدرات ومهارات الفرد (Schultz, 1961). في حين تُشير الثورة الصناعية الرابعة، والتي تعرف أيضًا باسم الصناعة 4.0، إلى دعم الأتمتة على مستوى تقنيات التصنيع، بما في ذلك التطورات في الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والروبوتات (Schwab, 2015). والعلاقة بين الاستثمار في رأس المال البشري واستيعاب الثورة الصناعية الرابعة هي علاقة

[2] **الجيل Z: كما أشارت هيئة الإحصاء الكندية هم مواليد الفترة من منتصف التسعينات وحتى نهاية العقد الأول من القرن الواحد والعشرين أي من عام (1996-2010).**

معقدة. فمن جهة، يمكن للاستثمار في رأس المال البشري أن يساعد الدول ومؤسساتها على التكيف مع التغيرات التكنولوجية المتلاحقة والقدرة على المنافسة في السوق العالمية. ومن جهة أخرى، قد يكون استيعاب الثورة الصناعية الرابعة أمرًا صعبًا بالنسبة للدول التي تفتقر إلى المهارات والموارد اللازمة لذلك بفعالية. لذا فإن الاستثمار في رأس المال البشري أمراً بالغ الأهمية لاستيعاب هذه الثورة ونجاحها، فتطوير البشر أساس التطور التكنولوجي، لأنه يضمن حصول الأفراد على المعارف والمهارات اللازمة للتكيف مع التغييرات المستجدة محلياً وعالميا والتعامل مع التقنيات المتقدمة التي تقود الثورة والاستفادة منها (علام و عبدالعال، 2012). ومع انتشار الأتمتة والذكاء الاصطناعي، سيكون هناك طلب متزايد على العمال ذوي المهارات في مجالات البرمجة وتحليل البيانات وحل المشكلات. ويمكن للاستثمار الناجح في برامج التعليم وإنشاء بيئات عمل تدعم التعلم المستمر والتدريب على الترميز وتحليل البيانات والمهارات الرقمية الأخرى؛ المُساعدة في التخفيف من الآثار السلبية والتحديات المحتملة للصناعة 4.0، مثل نزوح الوظائف الناجم عن الأتمتة، والبقاء قادرين على المنافسة في سوق العمل واستيعاب تأثيرات الثورة الصناعية الرابعة بشكل أفضل، مما يؤدي في النهاية إلى زيادة النمو الاقتصادي والازدهار للمجتمع ككل. وتوافر المعارف والمهارات اللازمة للنجاح في سوق العمل المتغير والتكيف مع التطورات الجديدة. ويمكن القول إن نقل التقنيات الحديثة إلى المجتمعات النامية دون خلق الأُطر الملائمة من الناحية الاقتصادية والاجتماعية، وخاصة تطوير المورد البشري الذي يُعد أهم هذه الأُطر، يؤدي إلى بطء الاستيعاب والتكلفة المرتفعة ومزيد من التبعية التكنولوجية والمالية تجاه البلدان الصناعية المتقدمة. وهو ما حدث بالفعل في معظم المجتمعات النامية التي استعجلت نقل التكنولوجيا الحديثة دون الاستعداد الكافي لذلك.

منظومة الاستثمار في رأس المال البشري في مصر ووضعها في مؤشرات استيعاب 4IR:

وضع مصر في مؤشرات رأس المال البشري:

تشير بعض المؤشرات العالمية إلى تواضع مستوى مصر في مؤشرات رأس المال البشري. في مؤشر التنمية البشرية الصادر عن برنامج الأمم المتحدة الإنمائي لعام 2022/2021مصر احتلت مصر المركز 97 من بين 191 دولة بقيمة 0.731، متقدمة بهذا الترتيب على بعض الدول ذات الدخل المتوسط مثل الأردن وليبيا وجنوب أفريقيا ولبنان وإندونيسيا (UNDP, 2021-22). وفي مؤشر رأس المال البشري الصادر عن البنك الدولي، احتلت مصر المرتبة 115 من بين 174 دولة في عام 2020، وتقدمت على

بعض الدول ذات الدخل المتوسط مثل بنجلاديش وجنوب أفريقيا وباكستان والهند (World Bank , 2020)، بينما جاء ترتيب مصر في مؤشر رأس المال البشري الصادر عن المنتدى الاقتصادي العالمي في تقرير عام 2017 في المركز 97 من بين 130 دولة يشملهم التقرير عند مستوى 55.99 درجة، لتتقدم مصر في الترتيب على بعض الدول المناظرة مثل: تونس والمغرب والسنغال واليمن، بينما سبقتها في الترتيب عدة دول مثل: البرازيل والأردن وجنوب أفريقيا (World Economic Forum, 2017).

التحديات التي تواجه منظومة الاستثمار في رأس المال البشري في مصر:

هناك العديد من التحديات التي تواجه منظومة الاستثمار في رأس المال البشري في مصر. تتعلق هذه التحديات بعدة عوامل مثل التمويل غير الكافي لقطاعات التعليم والتدريب والبحث العلمي والصحة، نقص الكفاءات والمهارات، عدم التوافق بين المؤهلات العلمية واحتياجات سوق العمل، ضعف البنية التحتية التعليمية والتدريبية، وتحديات في توفير الرعاية الصحية والصحة العامة. ووفقاً للتقرير المرحلي الثاني من مشروع رأس المال البشري (HCP) للبنك الدولي 2020 فقد **اتبعت مصر عدة اصلاحات في سياسات رأس المال البشري**، منها: أ. البرنامج الوطني للتحويلات النقدية في مصر (تكافل وكرامة)، حيث يُعد البرنامج من بين الاستثمارات المهمة التي تشجع تراكم رأس المال البشري في البلاد. ب. إصلاح منظومة التعليم في مصر ليركز على بناء المهارات المطلوبة في القرن 21 بدلاً من نظام الحفظ والتلقين. ولتحقيق هذه الأهداف، توسعت مصر في استخدام التكنولوجيا ومصادر التعلم الرقمي في العملية التعليمية . جـ. مجال الرعاية الصحية، يجري تنفيذ نظام شامل للتأمين الصحي لتحقيق التغطية الصحية الشاملة للجميع وتحسين النواتج الصحية. كما تقدم حماية مالية للفئات الأولى بالرعاية لتغطية النفقات الفعلية المرتفعة الناجمة عن تفشي جائحة COVID-19، وتركز الحكومة أيضاً على توسيع نطاق برنامج الرائدات الريفيات لتحسين الحالة الصحية ومستوى التغذية وتعزيز جهود تنظيم الأسرة، واختبارات الدم السنوية للتأكد من خلوه من الأمراض المُعدية المختلفة التي تنتقل عبر الدم (البنك الدولي، 2020).

وضع مصر في مؤشرات استيعاب الثورة الصناعية الرابعة:

يمكن تقييم وضع مصر في مؤشرات استيعاب الثورة الصناعية الرابعة. من خلال مؤشرين رئيسيين وهما مؤشر الجاهزية الشبكية (NRI)، ومؤشر التعقيد الاقتصادي (ECI). وفقًا لتقرير مؤشر الجاهزية

الشبكية[3] لعام 2022، حصلت مصر على المرتبة 73 عالميًا من بين 131 دولة تم تقييمها بدرجة 47.76 من 100، متقدمة بهذا الترتيب 4 مراكز عن ترتيب العام السابق (The Network Readiness Index, 2022)، وعلى الرغم من أن مصر قد شهدت تحسنًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة في مجال الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات، إلا أنها لا تزال تعاني من التحديات الهيكلية والتنظيمية والتمويلية في هذا المجال، مما يعرقل تحسين مركزها في مؤشر الجاهزية الشبكية، مما يشير إلى الحاجة إلى تعزيز الوعي بأهمية استخدام التكنولوجيا لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية في مصر. أما على مستوى مؤشر التعقيد الاقتصادي[4] (ECI): احتلت مصر المرتبة 67 عام 2021م[5] كأكثر الدول تعقيدًا في مؤشر التعقيد الاقتصادي من بين 133 دولة تقييمها. بالمقارنة مع عقد مضى كما يتضح من الشكل (2)، أصبح اقتصاد مصر أكثر تعقيدًا، حيث تحسن مركزه بـ 4 مراكز في تصنيف ECI. ونمو صادرات مصر في الخمس سنوات الأخيرة قد تم بفضل القطاعات الخدمية. ونمو الخدمات في مصر لم يكن نتيجة للحظ السعيد أو التركيز المجرد في قطاع عالمي متنامٍ. بل كان نمو الصادرات في القطاع الخدمي في مصر ناتجًا عن توسيع حصتها في السوق العالمية. وقد ارتفعت صادرات مصر بمعدل سنوي متوسط قدره 10.7% خلال السنوات الخمس الماضية، فقد صدرت منتجات بقيمة 62.6 مليار دولار أمريكي في عام 2021. نمت الصادرات غير النفطية بمعدل سنوي قدره 9.0% خلال السنوات الخمس الماضية، متفوقةً على معدل النمو العالمي. إلا أن الواردات بلغت مبلغ 108 مليار دولاراً أمريكياً في عام 2021، مما ترك مصر بعجز تجاري في السلع والخدمات. وبالرغم من ان هناك بعض الدول التي بدأت في مركز متأخر عن مصر أو قريب منها في ECI (انظر الشكل 2) إلا أنها تفوقت على مصر في الترتيب مثل فيتنام والإمارات، ويرجع ذلك إلى أن الدول التي تكون صادراتها أكثر تعقيدًا من المتوقع لمستوى دخلها تنمو بسرعة أكبر. إلا أن صادرات مصر تتمثل في المنتجات ذات التعقيد المنخفض ومتوسط التعقيد (مثل المنتجات المعدنية والزراعية)، وما زالت صناعة الالكترونيات والماكينات تواجه صعوبة الانطلاق في مصر، مما يقيد نمو دخلها (Harvard Growth Lab, 2023). ووفقاً لما جاء في تقرير هارفارد للتنمية الدولية: تعتبر مصر

---

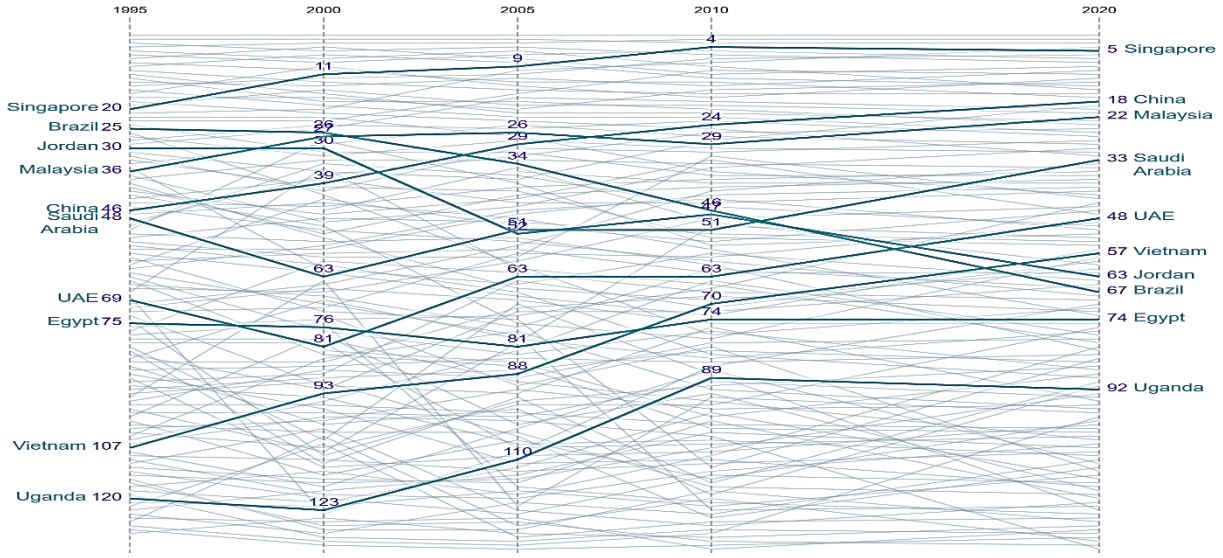
[3] هو مؤشر يعكس إمكانات 139 دولة لاستيعاب التقنيات الرقمية وجني ثمار الانتقال إلى أنظمة الثورة الصناعية الرابعة، كما يُساعد المؤشر في تحديد السياسات التي تعمل والتي لا تعمل، وأي الدول تقود الطريق وأيها تحتاج إلى بذل المزيد من الجهد للاستفادة من تكنولوجيا المعلومات والاتصالات.

[4] هو مؤشر يعكس مخرجات استيعاب الثورة الصناعية الرابعة، فبما أن الثورة الصناعية الرابعة تؤدى إلى تشابك العلوم وإنتاج منتجات أكثر تعقيداً وتطوراً، فسوف ينعكس ذلك في درجة تشابك وتعقيد مستوى صادرات الدولة، وهو ما يعكسه هذا المؤشر.

[5] أحدث البيانات المتوفرة على https://atlas.cid.harvard.edu/.

أكثر تعقيدًا بقليل مما كان متوقعًا بالنسبة لمستوى دخلها. ونتيجة لذلك، من المتوقع أن ينمو اقتصادها بوتيرة أسرع. فمن المتوقع أن يحقق الاقتصاد المصري معدل نمو يصل إلى 5.55٪ سنويًا خلال العقد الحالي، ليحقق معدلات نمو تعتبر ضمن الأسرع عالمياً كما هو متوقع بالنسبة للصين والهند وفيتنام وأوغندا، ويلاحظ أن العامل المشترك بين هذه الاقتصادات يعزى إلى المعرفة الضمنية[6] التي تملكها هذه الدول أكثر مما هو متوقع مقارنةً بمستويات دخلهم، مما يعزز النمو والتنوع الاقتصادي. حيث أكد التقرير أن مصر تمتلك القدرة على الاستفادة من فرص متعددة في المستقبل لتنويع إنتاجها وتعزيز نموها الاقتصادي باستخدام معرفتها الحالية (Harvard Growth Lab , 2022).

شكل رقم (2) ترتيب مصر وبعض الدول في مؤشر التعقيد الاقتصادي من 1995 وحتى 2020



Source: (Harvard Growth Lab, The Atlas Of Economic Complexity, 2023)**,** Available at: https://atlas.cid.harvard.edu/

جهود مصر تجاه التحول الرقمي واستيعاب الثورة الصناعية الرابعة:

من الشائع في دراسات التنمية الاقتصادية أن الدول النامية تعاني من نقص الفرص المتاحة للانتقال إلى العصر الرقمي، وهو ما يطلق عليه غالباً "الفجوة الرقمية". وتعوق هذه الفجوة التحول الرقمي في

[6] الكفاءة العملية التي يمتلكها الأفراد أو المجتمعات لإنجاز الأشياء.

الدول النامية وتؤثر سلباً في قدرتها على تطوير اقتصاداتها في عالم سريع التغير. ولكي تستطيع مصر مواجهة هذه التحديات، فقد سعت إلى تعزيز الاستثمار في مجال التحول الرقمي وتطوير البنية التحتية الرقمية لتحسين الخدمات ودفع النمو الاقتصادي. وتتضمن جهود مصر تجاه التحول الرقمي عدة مبادرات كما ذُكر في (وزارة الإتصالات وتكنولوجيا المعلومات، 2023)، (مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، 2020)، من بينها: **استراتيجية مصر للتحول الرقمي** في عام 2018، والتي هدفت إلى الاستفادة من التقنيات الناشئة مثل الذكاء الاصطناعي (AI) وسلسلة الكتل Blockchain وإنترنت الأشياء (IOT)؛ لتعزيز كفاءة الخدمات الحكومية وتحسين نوعية الحياة للمواطنين. **اعتماد الحكومة الإلكترونية:** لتحسين كفاءة وشفافية الخدمات الحكومية. **إطلاق برنامج مصر الرقمية،** بما يتوافق مع رؤية مصر 2030 واستراتيجية مصر للتحول الرقمي؛ وذلك لتحسين البنية التحتية الرقمية وتعزيز استخدام التكنولوجيا في القطاع الحكومي والقطاع الخاص. ويمثل هذا البرنامج نقطة محورية للتحول إلى المجتمع الرقمي. **التركيز على تنمية رأس المال البشري:** في مجال التعليم، أطلقت مصر مبادرة "مدرستي"، ومبادرة مبادرة "المهارات الدولية" لتعزيز تعليم العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات والتدريب على المهارات الرقمية. كما قامت بإنشاء مدارس تقنية متخصصة وتوسيع برامج التدريب المهني. وفي مجال الصحة، قامت مصر بإطلاق منصة "تلاقي" لتسهيل الحصول على الخدمات الصحية وتمكين المرضى من الوصول إلى الأطباء عن بعد. كما أطلقت الحكومة برنامج "حياة كريمة" لتحسين الرعاية الصحية في المناطق الريفية والفقيرة. **المجلس الوطني للذكاء الاصطناعي:** أنشأته مصر في نوفمبر 2019، ومن أهم اختصاصاته وضع "الإستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي. **إطلاق مشروع "المدن الذكية:** مثل العاصمة الإدارية الجديدة، وتميزت هذه المدن بتقنيات متقدمة مثل الشبكات الذكية وأنظمة النقل الآلي والاتصال بالإنترنت عالي السرعة. **تطوير قطاع التكنولوجيا المالية:** لتعزيز الشمول المالي ودعم نمو الاقتصاد الرقمي، وإطلاق خدمات الدفع الإلكتروني. **تعزيز ريادة الأعمال والابتكار:** مثل مركز الابتكار التكنولوجي وريادة الأعمال (TIEC) ومركز دعم التكنولوجيا والابتكار (TISC). **الأمن السيبراني:** اتخذت الحكومة المصرية عدة مبادرات بشأن الأمن السيبراني وحماية البيانات الحساسة، منها: مبادرة "مجتمع رقمي آمن" التي تم اطلاقها في يناير 2021. بالإضافة إلى إنشاء المركز المصري للأمن السيبراني، وإصدار قانون حماية البيانات الشخصية، وتنفيذ مبادرة "الأمن السيبراني" لحماية النظام المصرفي الإلكتروني في مصر.

بشكل عام، فإن جهود مصر تجاه التحول الرقمي واستيعاب الثورة الصناعية الرابعة تسير في الاتجاه الصحيح، وتشير الخطط والبرامج المعتمدة إلى رؤية واضحة لتحقيق التحول الرقمي وتعزيز الاستثمار في هذا المجال. ومن المتوقع أن تتحسن الخدمات الحكومية والقطاع الخاص في مصر وتزيد فرص النمو الاقتصادي والتنمية المستدامة بفضل هذه الجهود والمبادرات المُتخذة. إلا أنه بالرغم من هذه الجهود الكبيرة، مازالت مصر تواجه بعض التحديات في تحقيق التحول الرقمي، مثل قلة الوعي بين المواطنين حول الخدمات الرقمية ونقص المهارات التقنية في بعض المناطق. ومن المهم أن تُواصل مصر العمل على تحسين الوعي بين المواطنين حول الخدمات الرقمية وتوفير الدعم اللازم لتطوير المهارات التقنية، بالإضافة إلى تحسين البنية التحتية الرقمية وتبسيط الإجراءات الحكومية لجعل استخدام الخدمات الرقمية أسهل وأكثر فعالية.

4-منهجية الدراسة:

نظراً للتغيرات التكنولوجية الجديدة الممثلة للثورة الصناعية الرابعة التي يشهدها الاقتصاد العالمي حالياً تقتضي الضرورة قيام كافة الدول النامية ومنها مصر بتأهيل وتطوير ثروتها البشرية لاستيعاب ومواكبة مظاهر وتطبيقات هذه الثورة وإدماجها وتطويعها في العمليات الإنتاجية محلياً. ونظراً لان استيعاب الثورة الصناعية الرابعة يتطلب المزيد من تراكم رأس المال البشرى، **وبالتالي لقياس هدف الدراسة فقد تم ذلك على خطوتين أو مرحلتين:**

1) تحديد المستوى المطلوب لتراكم رأس المال البشرى لأي دولة نامية ليمكنها من استيعاب الثورة الصناعية الرابعة.

2) قياس حجم الاستثمار المطلوب للوصول إلى هذه المستوى من تراكم رأس المال البشرى في مصر.

<u>الخطوة الأولى</u>: تحديد المستوى المطلوب لتراكم رأس المال البشرى لاستيعاب ومواكبة 4IR:

هي خطوة منطقية فقبل الاستثمار في رأس المال البشرى ينبغي أولاً تحديد متطلبات تأهيل رأس المال البشرى في مصر لاستيعاب الثورة الرابعة (أي الحد الأدنى من تراكم رأس المال البشرى اللازم لاستيعاب التطورات على الساحة الدولية). ولتحقيق هدف هذه الخطوة اعتمدت الدراسة على انحدار العتبات (Thresholds Regression)، وتم الاعتماد على عينة من الدول النامية والمُثبت استيعابها واستخدامها

لتطبيقات الثورة الرابعة، وذلك لتحديد الحد الأدنى من مهارات رأس المال البشرى التي تبدأ فيها أي دولة نامية مرحلة استيعاب تطبيقات الثورة الرابعة. وتم الاعتماد في اختيار تلك العينة على مؤشرين هما:

1) **مؤشر جاهزية الصناعة الذكية (SIRI)**؛ الصادر عن المنتدى الاقتصادي العالمي ومجلس التنمية الاقتصادي السنغافوري (EDB). والذي يعمل كمعيار عالمي لتوحيد مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة، حيث يعتبر أداة شاملة ومثالية لتقييم مدي جاهزية الاقتصاد في تبني تكنولوجيا الصناعة 0.4.

2) **مؤشر الجاهزية الشبكية (NRI)**؛ الصادر عن المنتدى الاقتصادي العالمي، وهو يعكس مدى استعداد كل دولة لجني ثمار الانتقال إلى أنظمة الثورة الصناعية الرابعة باستخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والاستثمار فيها، سواء من الحكومات أو الأفراد.

وبناءً على تقرير المؤشرين لعام (2022) تم اختيار (21) دولة نامية كأكثر الدول النامية التي لديها جاهزية للصناعة الذكية أو لديها جاهزية شبكية، كما يتضح من الجدول (1) التالي. وبالطبع مستوي هذه الدول مرتفع نسبياً مقارنة بمصر.

جدول (1) عينة الدراسة (21 دولة)

Asia Pacific	*Europe*	*Middle East*	*Africa*	*Americas*
China, India, Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, Vietnam	Bulgaria, Russia, Ukraine	Jordan, Saudi Arabia, Turkey, United Arab Emirates	South Africa	Argentina, Brazil, Colombia, Costa Rica, Mexico
8 Countries	3 Countries	4 Countries	1 Country	5 Countries

وقد اعتمدت الخطوة الأولي على **بيانات طولية متوازنة (Balanced Panel data)** لعينة من (21) دولة نامية خلال الفترة من (2001-2020) بإجمالي 420 مشاهدة سنوية، والتي تم الحصول عليها من العديد من المنظمات الدولية كالبنك الدولي وصندوق النقد الدولي والمنتدي الاقتصادي العالمي، وغيرهم، وقد تم اختيار تلك الفترة الزمنية بناء على مدى توافر البيانات. وعلى أساس هدف الدراسة، تم الاعتماد بشكل مبدئي على النموذج العام التالي في الشكل الخطى لتسليط الضوء على الصلة بين تراكم راس المال البشري والثورة الصناعية الرابعة، كما هو موضح في الدالة (1) التالية:

$$Industry\ 4.0_{it} = C + hc_{it} + \sum_{k=1}^{K} \beta_k X_{it}^k + \epsilon_t \qquad (1)$$

حيث $(Industry\ 4.0_{it})$ تمثل مستوي استيعاب الثورة الصناعية الرابعة للدولة i في الزمن t، C تمثل ثابت الدالة، (hc_{it}) تمثل المتغير المستقل المستهدف لدينا وهو مستوى رأس المال البشري للدولة i في الزمن t، أما (X_{it}^{k}) تمثل متجه المتغيرات الضابطة، والتي تمثل محددات محتملة للصناعة 4.0 بخلاف مستوى رأس المال البشري، والتي سيتم اختيارها بما ينسجم مع الدراسات السابقة، وبالتالي سيتم إدخال متغيري الاستثمار الأجنبي المباشر، والانفتاح التجاري كـ Proxy لقنوات نقل التكنولوجيا بين الدول، بالإضافة إلي متغيري براءات الاختراع، والمقالات العلمية كـ Proxy لمستوي الابتكار التكنولوجي. وأخيراً (ϵ_t) تمثل حد الخطأ بصفاته المعتادة. وهنا إذا كانت الثورة الصناعية الرابعة تتطلب مستوي معين من رأس المال البشري ليتمكن الاقتصاد من استيعاب تطبيقاتها لتطويعها محلياً تمهيداً لتطويرها، فمن المتوقع ان يؤدي ارتفاع مستوي رأس المال البشري بالدول النامية إلى إحداث تغييرات بالبنية الخطية لعلاقة رأس المال البشري بالصناعة 4.0. وهذا يعني أن تكون العلاقة بين رأس المال البشري والثورة الصناعية الرابعة غير خطية، وهنا فأنسب أسلوب قياسي لاكتشاف هذه البنية غير الخطية هو انحدار العتبات (Threshold Regression) الذي اقترحه (Hansen, 2000). وعليه يمكن تطوير الدالة (1) إلى الشكل التالي:

$$\boldsymbol{Industry\ 4.0_{it} = C + \begin{cases} \beta_1 hc_{it} & if\ \ hc < \lambda \\ \beta_{\hat{2}} hc_{it} & if\ hc \geq \lambda \end{cases} + \gamma X_t + \epsilon_t} \quad \boldsymbol{(2)}$$

حيث (hc) (أي مستوى رأس المال البشري) يمثل متغير العتبة المستخدم لتقسيم العينة إلى أنظمة أو مجموعات، وهو متغير داخلي، أي أنه متضمن في قائمة المتغيرات المفسرة. و $\boldsymbol{\lambda}$ هي القيمة غير المعروفة لمعلمة العتبة (والتي يتم تقديرها باستخدام منهج المربعات الصغرى)[7]. وبالتالي فإن المعامل β_1 سيعكس تأثير رأس المال البشري على الثورة الصناعية 4.0 عند المستوي المنخفض لرأس المال البشري، في المقابل سيعكس المعامل $\beta_{\hat{2}}$ نفس التأثير، ولكن عند المستوي المرتفع لرأس المال البشري. وهنا من الواضح أنه تحت الفرضية الصفرية $H_0; \beta_1 = \beta_2$ يصبح النموذج خطيًا ويقل إلى الشكل الدالي (1). وبالتالي يصبح الشكل النهائي لنموذج الدراسة هو:

[7] لاحظ في الدالة (1) معامل رأس المال البشري يمكن أن يكون إيجابي أو سلبي أو غير دال إحصائياً، أي أن الانحدار الخطى يعطى علاقة واحدة فقط ممكنة بين المتغيرات. ولكن انحدار العتبات يمكننا من استيعاب كل هذه الاحتمالات المتناقضة في انحدار (خاص).

$$Ind.4.0_{it} = \beta_0 + \beta_1 hc_{it} I(hc_{it} < \lambda) + \beta_2 hc_{it} I(hc_{it} \geq \lambda) + \beta_3 fdi_{it} + \beta_4 trade_{it} + \beta_5 Patent_{it} + \beta_6 article_{it} + \epsilon_t \quad (3)$$

حيث β_0 تمثل ثابت الدالة، (hc_{it}) تمثل مستوى رأس المال البشري، وهنا $I(.)$ هي دالة المؤشر، والتي تأخذ القيمة 1 إذا كانت التوسع في دالة المؤشر صالحة، و0 خلاف ذلك. يسمح هذا النوع من استراتيجية النمذجة باختلاف دور رأس المال البشري اعتماداً على ما إذا كان مستواه أقل أو أعلى من مستوى غير معروف من λ. أما المعاملات التالية فتعكس المتغيرات الضابطة وهي (fdi_{it}) تدفقات الاستثمار الأجنبي المباشر، $(trade_{it})$ مستوي الانفتاح التجاري، $(Patent_{it})$ براءات الاختراع، $(article_{it})$ المقالات العلمية.

أولا: متغيرات نموذج الخطوة الأولى للدراسة:

- المتغير التابع (الثورة الصناعية الرابعة): معبراً عنه بمؤشر الجاهزية الشبكية (NRI) والذي يعكس جانب المدخلات اللازمة لهذه الثورة. ومؤشر التعقيد الاقتصادي (ECI) والذي يعكس مخرجات استيعاب الثورة الرابعة.

- المتغير المستقل (مستوى رأس المال البشري): هو متغير العتبة، يتم التعبير عنه بمؤشر تراكم رأس المال البشري (hc) الصادر عن جداول Penn[8].

- المتغيرات الضابطة: استخدمت الدراسة مؤشرات تدفقات الاستثمار الأجنبي المباشر الوافدة كنسبة من الناتج، والتجارة كنسبة من إجمالي الناتج كمتغير وكيل Proxy لمستوى الانفتاح التجاري، ليعكسا مستوي تبادل المعارف والخبرات والتكنولوجيا بين الدول. بالإضافة لعدد طلبات التسجيل على براءات الاختراع للمقيمين وغير المقيمين، وعدد المقالات في المجلات العلمية والتقنية، ليعكسا مستوي الابتكار التكنولوجي بكل دولة. ويوضح الجدول رقم (2) التالي التوصيف الإحصائي للبيانات لمعرفة طبيعة وخصائص متغيرات نموذج الدراسة:

---

[8] جداول Penn أو Penn World Tables هي مجموعة من البيانات التي توفر معلومات حول الناتج المحلي الإجمالي والأسعار والمؤشرات الاقتصادية الأخرى للبلدان في فترة زمنية محددة. تم تطوير هذه الجداول بواسطة روبرت ف. بن والأطروحة التي أعدها في جامعة بنسلفانيا، وتم استخدامها على نطاق واسع في الأبحاث الاقتصادية والاستخدامات الأخرى المتعلقة بقياس النمو الاقتصادي والمقارنة بين البلدان، ويمكن الوصول إلى موقع جداول بن عبر الرابط التالي./https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt

جدول (2) التوصيف الإحصائي لمتغيرات الدراسة

	Unit	*Obs.*	*Mean*	*Median*	*Std. Dev.*	*Min*	*Max*	*Normality test*
Dependent Variables:								
Economic complexity	**(-3 to 3)**	**420**	**0.436**	**0.295**	**0.537**	**-0.870**	**2.010**	**[52.210] *****
Network Readiness	**(-10 to 10)**	**420**	**3.734**	**3.900**	**1.501**	**-0.680**	**8.210**	**[183.69] *****
Independent Variable:								
Human capital	**Scale**	**420**	**2.665**	**2.641**	**0.389**	**1.797**	**4.558**	**[111.54] *****
Control Variables:								
FDI, net inflow	**(% of GDP)**	**420**	**4.053**	**2.783**	**4.836**	**-1.856**	**31.23**	**[2822.9] *****
Trade openness	**(% of GDP)**	**420**	**91.90**	**64.99**	**73.96**	**21.85**	**437.3**	**[1305.6] *****
Patent applications	**No.**	**420**	**39824**	**5132**	**180612**	**133.0**	**1542002**	**[39497] *****
Scientific articles	**No.**	**420**	**28147**	**6499**	**76788**	**152.4**	**657694**	**[16880] *****

***Note*:** * indicates significance at 10%.

يتضح من التوصيف الإحصائي السابق لجميع المتغيرات المُدرجة أنها جاءت ذات دلالة إحصائية، وعليه سيتم رفض فرض العدم وقبول الفرض البديل بأن هذه المتغيرات لا تتبع التوزيع الطبيعي، أي أن قيمها الفعلية تقع في مدى واسع ولا تدور حول متوسطها. وعليه سيتم الاعتماد على إحصائية الوسيط نظراً لأنها لا تتأثر بالقيم الشاذة.[9]

- وُجد أن وسيط مستوي التعقيد الاقتصادي لعينة الدول النامية يعادل (0.295)، وهو أعلى نسبياً من منتصف قيمة المؤشر والذي يتراوح ما بين (3- إلى 3). مما يعني أن هذه الدول النامية قد وصلت لمستوي مرتفع نسبياً من المعرفة الإنتاجية والمترجمة في تنوّع وتطوّر سلة المنتجات الصناعيّة بها. وعلى مستوي كل دولة، فقد تراوح التعقيد الاقتصادي الفعلي ما بين دول حققت تعقيد اقتصادي منخفض (سلبي) في

[9] إن المتغيرات التي تتبع التوزيع الطبيعي، أي التي قيمها الفعلية تدور حول متوسطها مع عدم وجود قيم شاذة، نجد فيها أن قيمة المتوسط والوسيط قريبين جداً من بعضهما. في المقابل نجد ان المتغيرات التي لا تتبع التوزيع الطبيعي، أي التي قيمها الفعلية تقع في مدى واسع ولا تدور حول متوسطها، نجد هناك فروق كبيرة بين قيمة الوسط والوسيط بها.

بعض السنوات وصل أدناه السعودية (0.870-) عام 2008، ودول حققت تعقيد اقتصادي مرتفع (إيجابي) في معظم أو كل سنواتها وصل أقصاه بدولة سنغافورة (2.010) أعوام 2010، 2016، 2019.

- وُجد أن مستوي الجاهزية الشبكية لعينة الدول النامية تراوح ما بين دول انخفضت جاهزيتها الشبكية بشدة في بعض السنوات بلغت أدناها دولة الأرجنتين (0.680-) عام 2004، ودول وصلت لمستويات مرتفعة جداً من الجاهزية الشبكية وصلت أقصاها بدولة سنغافورة (8.210) عام 2019. وبالتالي على مستوي العينة ككل وُجد أن وسيط مستوي الجاهزية الشبكية يعادل (3.900) وهو مستوي مرتفع نسبياً، ويعكس زيادة استثمار هذه الدول في التقنيات الرقمية وتأهيل بنيتها الأساسية لذلك.

- اتضح أن مستوي تراكم رأس المال البشري بعينة الدول يتراوح ما بين (1.797 - 4.558) بوسيط عام يبلغ (2.665)، وهو مستوي تراكم مرتفع نسبياً، ويقترب من متوسط تراكم رأس المال البشري بالدول المتقدمة والذي يتجاوز (3.90). كذلك نجد أن أكثر الدول النامية بالعينة تراكماً لرأس المال البشري بها هي دولة سنغافورة والتي وصلت لـ (4.558) عام 2020، وهو ما يفسر نسبياً ارتفاع مستوي جاهزيتها الشبكية وتعقيد مستوي اقتصادها مقارنة بباقي دول العينة.

- اتضح من الجدول أن عينة الدول النامية المختارة تعتبر من الدول الجاذبة للاستثمارات الأجنبية، حيث يبلغ وسيط تدفقات الاستثمار الأجنبي المباشر الوافدة إليها 2.64% من إجمالي الناتج المحلي لهذه الدول، كما أن هذه الدول منفتحة تجارياً نسبياً، حيث يبلغ وسيط حجم تجارتها الخارجية 64.99% من إجمالي ناتجهم المحلي. كذلك وُجد أن الوافدين وغير الوافدين بهذه الدول يقومون بتقديم 5132 طلب براءة اختراع، 6499 مقالة علمية بالمجلات العلمية والتقنية في المتوسط سنوياً. مما يعكس أن هذه الدول تحاول تقليل الفجوة التكنولوجية بينها وبين الدول المتقدمة.

- **مصفوفة الارتباط:** بالانتقال إلى الجدول (3) الذي يوضح تحليل الارتباط من الدرجة الصفرية بين متغيرات نموذج الدراسة، وذلك باستخدام الارتباطات ثنائية المتغير (bivariate correlations).

جدول (3) مصفوفة الارتباط بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع

		(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*
ln Economic complexity	**(1)**	1						
Network Readiness	**(2)**	0.152[a]	1					
Human capital	**(3)**	0.172[a]	0.348[a]	1				
FDI, net inflow	**(4)**	0.178[a]	0.120[b]	0.382[a]	1			
Trade openness	**(5)**	0.288[a]	0.224[a]	0.387[a]	0.699[a]	1		
ln Patent applications	**(6)**	-0.107[b]	0.096[b]	-0.021	-0.131[a]	-0.139[a]	1	
Scientific articles	**(7)**	-0.043	0.117[b]	-0.101[b]	-0.188[a]	0.685[a]	0.814[a]	1

***Note*:** a, b, c indicate significance at 1%, 5% and 10% respectively.

يتضح من الجدول (3) النتائج التالية:

- وجود ارتباط طردي يعادل (15.2%) بين مستوي الجاهزية الشبكية والتعقيد الاقتصادي، وهذا الارتباط دال إحصائياً عند مستوي 1%. مما يعني أن استثمار الدول في تحسين وتهيئة جاهزيتها الشبكية يرتبط به بالضرورة زيادة مستوي التعقيد الاقتصادي لهذه الدول.
- وجود ارتباط طردي عند مستوي 1% بين مستوى تراكم رأس المال البشري والثورة الصناعية الرابعة، حيث بلغ معامل الارتباط (34.8%) مع مستوي الجاهزية الشبكية، (17.2%) مع مستوي التعقيد الاقتصادي. وبالتالي فزيادة استثمار الدول في تنمية رأس مالها البشري يرتبط به بشكل كبير زيادة مستوي الجاهزية الشبكية لهذه الدول (أي مدخلات الثورة)، ويرتبط به نوعاً ما زيادة مستوي التعقيد الاقتصادي (أي مخرجات الثورة). وهو ما يؤكد على أهمية رأس المال البشري كضرورة حتمية للدخول في الثورة الصناعية الرابعة.
- وُجد ان أكثر المتغيرات الضابطة ارتباطاً بالجاهزية الشبكية بخلاف رأس المال البشري كانت الانفتاح التجاري بمعامل ارتباط (22.4%)، يليها الاستثمار الأجنبي المباشر بمعامل (12%)، ثم عدد المقالات العلمية (11.7%)، وأخيراً لوغاريتم عدد براءات الاختراع بمعامل (9.6%). ولم يختلف الوضع كثيراً بالنسبة للتعقيد الاقتصادي، فكانت أكثر المتغيرات الضابطة ارتباطاً بها بخلاف رأس المال البشري هو الانفتاح التجاري بمعامل (28.8%)، يليها الاستثمار الأجنبي المباشر بمعامل (17.8%)، ثم لوغاريتم عدد براءات الاختراع بمعامل (10.7%-)، وأخيراً عدد المقالات العلمية (4.3%-).

• اتضح أن جميع معاملات هذه الارتباطات قد تراوحت ما بين ضعيفة ومتوسطة القوى. ووفقاً لـ (Anderson, 1990) فإن معاملات الارتباط الأكبر من 0.7 قد تُشير إلى احتمال تعرض النموذج لمشكلة الازدواج الخطى. وبالتالي وفقًا لذلك، لم يتم العثور على أي احتمال لمشكلة الازدواج الخطى (Multicollinearity) بين متغيرات نموذج الخطوة الأولي للدراسة. وبالتالي تعطي هذه الارتباطات إشارات مبدئية لإمكانية وجود تأثير إيجابي لتراكم رأس المال البشري على الثورة الصناعية الرابعة، ممثلاً في مستوي الجاهزية الشبكية والتعقيد الاقتصادي للدول.

ثالثا: تقدير العلاقة: ترتيباً على نتائج كافة الإجراءات السابقة يمكن اتخاذ قرار بصلاحية استخدام نموذج الخطوة الأولى المقترح في تحديد عتبة رأس المال البشري المناسبة للثورة الرابعة كما يتضح من الجدول (4). فبالنسبة للانحدارين (1)، (2) والذين يمثلا الصيغة الخطية من نموذج الدراسة (الشكل الدالي 1) (أي بدون أخذ العتبات في الانحدار)؛ فيتضح وجود تأثير إيجابي عند مستوي دلالة 1% لتراكم رأس المال البشري على مستوي التعقيد الاقتصادي بالدول النامية بالانحدار (1)، وعلى مستوي جاهزيتها الشبكية بالانحدار (2). وطبقاً لمعامل الانحدار يؤدي زيادة مستوي تراكم رأس المال البشري بدول العينة بمقدار درجة واحدة إلى ارتفاع مستوي تعقيد اقتصاداتها متضمناً بارتفاع مستوي المعرفة الإنتاجية المتراكمة لدي الشعوب بمقدار 0.0845 درجة في المتوسط. بالإضافة إلى ارتفاع مستوي الجاهزية الشبكية لهذه الدول بمقدار 3.394 درجة في المتوسط. وتتفق تلك النتيجة مع التوقع النظري، ومصفوفة الارتباط. مما يؤكد على ضرورة، بل حتمية قيام الدول النامية بالاستثمار في رأس مالها البشري لكي تتمكن من مواكبة التغييرات الدولية بالنسبة لمستقبل الصناعة. كذلك يتضح من المتغيرات الضابطة وجود تأثير إيجابي لمتغيرات الابتكار التكنولوجي (عدد براءات الاختراع، وعدد المقالات العلمية)، في مقابل وجود تأثير سلبي للاستثمار الأجنبي المباشر، بينما لم يكن للانفتاح التجاري أي تأثير سواء على التعقيد الاقتصادي أو الجاهزية الشبكية (وهو أمر غير متوقع).

جدول (4) رأس المال البشري والثورة الصناعية الرابعة: النتائج التجريبية

Dependent Variables: *ln Economic complexity & Network Readiness*

Threshold Variable: *Human capital (hc)*

	Reg (1)	***Reg (2)***	***Reg (3)***	***Reg (4)***
	ln Economic complexity	***Network Readiness***	***ln Economic complexity***	***Network Readiness***
	Linear model OLS without threshold		$\lambda = 3.19$	$\lambda = 3.22$
Human capital (without threshold)	0.0845 [3.436] ***	3.3940 [5.435] ***		
			Threshold Variables	
Human capital (when $hc < \lambda$)			0.2960 [4.104] ***	0.9148 [2.257] **
Human capital (when $hc \geq \lambda$)			0.4506 [3.639] ***	5.8212 [2.956] ***
			Non-Threshold Variables	
FDI, net inflow	-0.0043 [-3.127] ***	-0.0580 [-2.427] **	-0.0420 [-3.127] ***	-0.0468 [-2.427] **
Trade openness	0.0006 [1.418]	-0.0002 [-0.082]	0.0060 [1.418]	0.0004 [0.049]
ln Patent applications	0.1530 [6.361] ***	0.2584 [2.775] **	0.1346 [6.361] ***	0.3246 [2.775] **
ln Scientific articles	7.32e-7 [2.868] ***	2.84e-6 [2.041] *	7.12e-6 [2.868] ***	3.24e-7 [2.041] *
Constant	-0.5739 [-1.929] *	-7.3210 [-5.159] ***	-0.4296 [-1.929] *	-4.6291 [-5.159] ***
		Effects Specification		
Method	1-way FE	2-way FE	Threshold Reg.	Threshold Reg.
Obs.	420	420	420	420
Adjusted R^2	89.7%	48.5%	90.3%	53.2%
No. of threshold variable lags	-	-	(-3)	(-3)
Fisher test (F-stat.)	(100.07) ***	(11.943) ***	(100.07) ***	(11.943) ***
Weighted	yes	yes	Yes	Yes

***Note*: -** ***, **, * indicate significance at 1%, 5% and 10% respectively.

من أجل الإجابة على تساؤل ما هو الحد الأدنى من تراكم رأس المال البشري اللازم لاستيعاب تطبيقات ومظاهر الثورة الصناعية الرابعة؛ فقد تم الانتقال إلى انحدار العتبات (الشكل الدالي 3) كما يتضح في الانحدارين (3)، (4). وهنا بالرغم من استمرار التأثير الإيجابي لرأس المال البشري على التعقيد الاقتصادي والجاهزية الشبكية عند أي مستوي لرأس المال البشري، إلا أن النتائج تؤكد بشكل رسمي وجود بنية غير خطية في علاقة رأس المال البشري بالتعقيد الاقتصادي والجاهزية الشبكية.

فبالنسبة للتعقيد الاقتصادي بالانحدار (3)؛ نجد أن قيمة العتبة (λ) تبلغ 3.19، مما يتضمن أن تأثير رأس المال البشري عندما يكون أقل من حاجز 3.19 على مستوي التعقيد الاقتصادي يبلغ 0.296 درجة في المتوسط. ولكن مع ارتفاع مستوي رأس المال البشري ليتجاوز حاجز 3.19 يكون تأثيره على مستوي التعقيد الاقتصادي يعادل 0.451 درجة في المتوسط. أي أن تأثير رأس المال البشري هنا على التعقيد الاقتصادي يتضاعف تقريباً بسبب الوفورات البشرية الناتجة عن زيادة الاستثمار في عقول الشعوب. ويؤكد ذلك الانحدار (4) الخاص بمستوي الجاهزية الشبكية؛ ففيه نجد أن قيمة العتبة (λ) تبلغ 3.22، مما يتضمن أن تأثير رأس المال البشري عندما يكون أقل من حاجز 3.22 على مستوي الجاهزية الشبكية يبلغ 0.915 درجة في المتوسط. ولكن مع ارتفاع مستوي رأس المال البشري ليتجاوز حاجز 3.22 يكون تأثيره على مستوي الجاهزية الشبكية يعادل 5.821 درجة في المتوسط. أما بالنسبة للمتغيرات الضابطة في الانحدارين (3)، (4) فيتضح تطابقها مع نتائج الانحدارين (1)، (2) باستثناء تغيرات طفيفة، مما يؤكد ثبات واستقرار نتائج هذه المتغيرات بغض النظر عن تغير الأسلوب القياسي. وأخيراً تشير الإحصاءات العامة إلى ارتفاع قيمة معامل التحديد للنموذج، حيث تفسر الانحدارات المستخدمة من 89.7% إلى 90.3% من التغيرات التي تحدث في مستوي التعقيد الاقتصادي. و48.5% إلى 53.2% من التغيرات التي تحدث في مستوي الجاهزية الشبكية. كذلك يُشير اختبار فيشر إلى وجود دلالة إحصائية لنموذج الدراسة ككل وذلك في كل انحدارات الجدول.

وبالتالي يتضح هنا أن العتبة التي تؤدي إلى تغير في البنية الخطية لعلاقة رأس المال البشري بالثورة الصناعية الرابعة، بحيث يتعاظم عندها تأثير رأس المال البشري على استيعاب تطبيقات ومظاهر هذه الثورة، تتراوح ما بين (3.19 - 3.22)، وبمقارنة هذه العتبة مع مستوي رأس المال البشري في مصر المتراكم حتى عام 2020 والبالغ (2.707). يتضح أن الحد الأدنى اللازم لاستيعاب تطبيقات الثورة

الصناعية الرابعة أكبر قليلاً من مستوي تراكم رأس المال البشري بمصر. وهو ما يتطلب القيام بالخطوة الثانية لبحث كيفية تأهيل الموارد البشرية بمصر لكي تكون قادرة على استيعاب متطلبات الثورة الصناعية الرابعة، وذلك من خلال قياس حجم الاستثمار المطلوب للوصول إلى هذه المستوى من تراكم رأس المال البشرى بمصر، وهو ما سيتم القيام به في الخطوة الثانية.

الخطوة الثانية: دراسة محددات الاستثمار في رأس المال البشرى في مصر:

تم التعرف في الخطوة السابقة أن العتبة أو الحد الأدنى اللازم للاستيعاب يتراوح ما بين (3.19 - 3.22) بالنسبة لمؤشر تراكم رأس المال البشري (hc)، بينما المستوى الفعلي الحالي في مصر 2.707 بناءً على تقييم 2020. وبالتالي يلزم تطوير رأس المال البشرى في مصر وزيادة تراكمه بمقدار 0.5 درجة في المتوسط. مما يتطلب دراسة أبعاد الاستثمار في رأس المال البشري بمصر من أجل معرفة حجم الاستثمار المطلوب في التعليم والبحث العلمي والصحة وغيرها (على حسب معامل تأثير كل محدد على hc) من أجل الوصول لمستوي العتبة في تراكم رأس المال البشري. ولتحقيق هدف الخطوة الثانية للدراسة وهو قياس محددات تراكم رأس المال البشري في مصر، فقد اعتمدت الدراسة التطبيقية على **بيانات سلاسل زمنية** سنوية لمصر خلال الفترة من (2000-2020) بإجمالي 21 مشاهدة سنوية، والتي تم الحصول عليها من العديد من المنظمات الدولية المختلفة كالبنك الدولي ومعهد اليونسكو للإحصاء، والمنظمة العالمية للملكية الفكرية، وغيرها، وقد تم اختيار تلك الفترة لكي تتناسب أولاً مع الفترة المستخدمة في الخطوة الأولي. كما أنها الفترة التي بدأت فيها مصر في انشاء القرية الذكية، وإدخال تقنيات المعلومات والاتصالات والتكنولوجيا الذكية، لتعزيز جودة وأداء الخدمات الحضرية والمشاركة بشكل أكثر فاعلية ونشاط مع مواطنيها. وتم الاعتماد هنا على الانحدار الهرمي المتعدد (Hierarchical Multiple Regression)، حيث تم إنشاء ثلاث نماذج خطية تدريجية لتعكس التدرج في إدخال أبعاد الاستثمار في رأس المال البشري ما بين أبعاد التعليم، والبحث العلمي، والصحة على الترتيب. ومن ثم يتبين الاختلاف في التأثير مع توسيع نموذج الدراسة بأخذ الأبعاد الأخرى في الاعتبار. والنماذج الثلاث كما يلي:

$$hc_t = \beta_0 + \beta_1 gee_t + \beta_2 ses_t + \beta_3 eas_t + \beta_4 ptrs_t + \beta_5 ses, gpi_t + \beta_6 lr, gpi_t + \epsilon_t \quad (1)$$

$$hc_t = \beta_0 + \beta_1 gee_t + \beta_2 ses_t + \beta_3 eas_t + \beta_4 ptrs_t + \beta_5 ses, gpi_t + \beta_6 lr, gpi_t + \beta_7 r\&d_t + \beta_8 pa_t + \epsilon_t \quad (2)$$

$$hc_t = \beta_0 + \beta_1 gee_t + \beta_2 ses_t + \beta_3 eas_t + \beta_4 ptrs_t + \beta_5 ses, gpi_t + \beta_6 lr, gpi_t + \beta_7 r\&d_t + \beta_8 pa_t + \beta_9 ghe_t + \beta_{10} lep_t + \epsilon_t \quad (3)$$

حيث (β_0) تعبر عن الجزء الثابت، بينما (gee_t) تعبر عن الإنفاق العام على التعليم كأحد مدخلات العملية التعليمية، (ses_t) تشير لمعدل الالتحاق بالمدارس، لتعكس المستوي الحالي للعملية التعليمية، (eas_t) $(ptrs_t)$ تشير لمستوي التحصيل العلمي، ونسبة التلاميذ للمعلمين على الترتيب، لتعكس مستوي جودة العملية التعليمية، و (ses, gpi_t) (lr, gpi_t) تشير لمستوي التكافؤ بين الجنسين في معدل الالتحاق بالمدارس، والإلمام بالقراءة والكتابة على الترتيب. وفي النموذج (2) تعبر $(r\&d_t)$ عن الإنفاق العام على البحث والتطوير كأحد مدخلات عملية البحث والتطوير، و (pa_t) تشير لطلبات تسجيل براءات الاختراع، لتعكس مخرجات عملية البحث والتطوير. وفي النموذج (3) تعبر (ghe_t) عن الإنفاق العام على الصحة كأحد مدخلات القطاع الصحي، و (lep_t) تشير لتوقع الحياة عند الميلاد، لتعكس مخرجات القطاع الصحي بمصر. وقبل اعتماد هذه النماذج ينبغي أولاً التأكد من حسن توصيفها (أي ما إذا كانت هذه المحددات في علاقتها بتراكم رأس المال البشري تتبع الشكل الخطي أم غير خطي)؛ وعليه تم استخدام اختبار (Auxiliary regression for non-linearity test - squared terms) والخاص باختبار عدم الخطية وتوصيف النموذج. والذي أظهر أن كافة المتغيرات المستقلة (المحددات) تتبع الشكل الخطي في علاقتها برأس المال البشري، باستثناء متغير نسبة التلاميذ للمعلمين والذي يأخذ شكل غير خطي. وبالتالي تم التعبير عنه في نماذج الدراسة في الشكل التربيعي.

<u>أولاً: متغيرات نموذج الخطوة الثانية للدراسة التطبيقية:</u>

- **المتغير التابع (مستوى رأس المال البشري):** سيتم التعبير عنه بمؤشر تراكم رأس المال البشري (hc) الصادر عن جداول Penn العالمية. لأن هذا المؤشر يمثل متغير العتبة بالخطوة الأولي، وبالتالي يلزم هنا تحديد مستوي الاستثمار المطلوب لرفعه للوصول لمستوي العتبة المحددة بالخطوة السابقة.
- **المتغيرات المستقلة (محددات رأس المال البشري):** تم استخدام المؤشرات التالية؛

i) بُعد التعليم؛ استخدمت الدراسة مؤشرات إجمالي الإنفاق العام على التعليم كنسبة من الناتج للتعبير عن مدخلات العملية التعليمية، ونسبة الالتحاق بالمدارس للمرحلة الثانوية للتعبير عن المستوي الحالي، ونسبة السكان الذين حصلوا على التعليم الثانوي، ونسبة التلاميذ للمعلمين بالمرحلة الثانوية للتعبير عن كفاءة

العملية التعليمية، ومستوي التكافؤ بين الجنسين وذلك في الالتحاق بالمدارس الابتدائية والثانوية، والالمام بالقراءة والكتابة للتعبير عن مستوي التكافؤ بالعملية التعليمية.

ii) بُعد البحث والتطوير؛ استخدمت الدراسة مؤشر إجمالي الإنفاق العام على البحث والتطوير كنسبة من الناتج للتعبير عن مدخلات قطاع البحث والتطوير، ومؤشر عدد طلبات تسجيل براءات الاختراع، للمقيمين وغير المقيمين للتعبير عن مستوي الابتكارات التكنولوجية، أي المخرجات.

iii) بُعد الصحة؛ تم استخدم مؤشر إجمالي الإنفاق العام على الصحة كنسبة من الناتج للتعبير عن مدخلات قطاع الصحة، ومؤشر العمر المتوقع عند الميلاد للتعبير عن المخرجات.

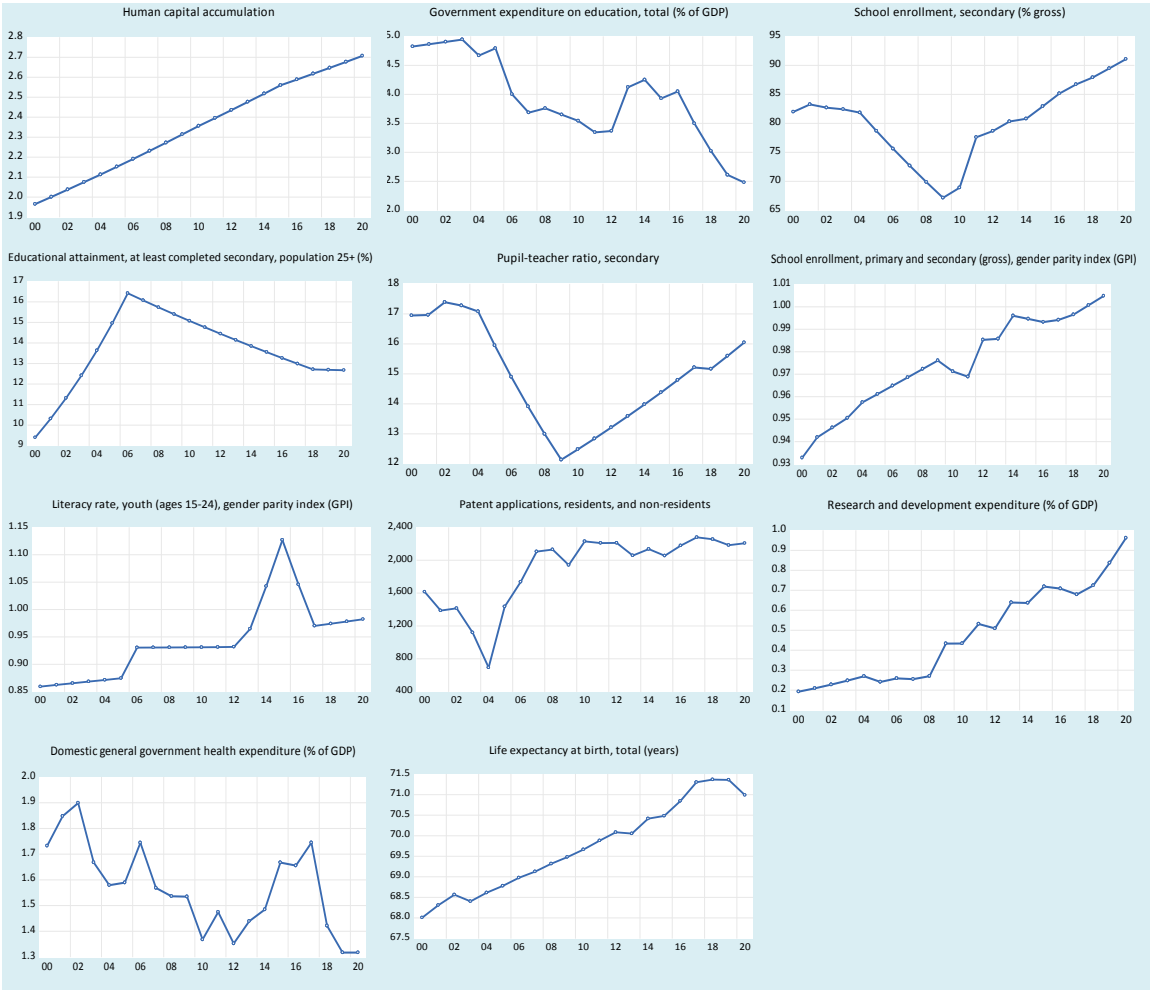
ويوضح الجدول (5) التوصيف الإحصائي لمتغيرات الدراسة:

جدول (5) التوصيف الإحصائي لمتغيرات الدراسة

	Unit	*Obs.*	*Mean*	*Median*	*Std. Dev.*	*Min*	*Max*	*Normality test*
Dependent Variable:								
Human capital	Scale	21	2.349	2.349	0.238	1.965	2.707	[1.4864]
Independent Variables:								
Education expenditure	(% of GDP)	21	3.920	3.920	0.739	2.480	4.946	[0.7159]
School enrollment, secondary	(% gross)	21	80.28	81.86	6.551	67.16	91.08	[0.9121]
Educational attainment	(%)	21	13.61	13.63	1.821	9.394	16.42	[1.1347]
Pupil-teacher ratio	(%)	21	14.89	14.89	1.676	12.13	17.39	[1.2863]
School enrollment, GPI	Scale	21	0.974	0.972	0.021	0.933	1.005	[1.1825]
Literacy rate, GPI	Scale	21	0.943	0.931	0.069	0.859	1.127	[3.1986]
Patent applications	No.	21	1884.7	2105	441.9	694	2279	[5.8759] *
R&D	(% of GDP)	21	0.476	0.433	0.239	0.192	0.962	[1.6606]
Health expenditure	(% of GDP)	21	1.569	1.569	0.169	1.317	1.899	[0.7798]
Life expectancy	(years)	21	69.72	69.66	1.080	68.01	71.37	[1.3844]

***Note*:** * indicates significance at 10%.

شكل (3) اتجاه المتغيرات خلال الفترة (2000-2020)



يتضح من إحصائية اختبار التوزيع الطبيعي بالجدول (5) والشكل (3)، أن:

جميع متغيرات نموذج الخطوة الثانية تتبع التوزيع الطبيعي، بمعني وجود تجانس في أداء الاقتصاد المصري بالنسبة لتطور رأس المال البشري، وأداء قطاع التعليم والصحة والبحث العلمي. وبالنسبة للمتغير التابع، يتضح من الشكل وجود اتجاه عام صاعد لمستوى تراكم رأس المال البشري خلال فترة الدراسة، حيث ارتفع رأس المال البشري بمصر من 1.965 عام 2000 إلى 2.707 عام 2020، أي انه خلال فترة 21 عاماً زاد تراكم رأس المال البشري بنسبة 37.8%، بمتوسط معدل زيادة سنوية تبلغ 1.6% سنوياً، وهو معدل زيادة متواضع نسبياً. وبهذا المعدل قد يتم الوصول لمستوي العتبة خلال 17 سنة تقريباً بداية من عام 2021.

محددات تراكم رأس المال البشري؛ يتضح أن مصر تحقق نتائج مرضية جداً في القطاع التعليمي مقارنة بقطاع البحث والتطوير والقطاع الصحي. بالنسبة للقطاع التعليمي وُجد أن مصر في المتوسط تنفق 3.92% من إجمالي ناتجها على التعليم، 80.3% من إجمالي طلابها تلتحق بالتعليم الثانوي، 13.6% من السكان الذين تتجاوز أعمارهم 25 عاماً حصلوا على تعليمهم الثانوي، وهناك 14.9 طالب لكل معلم بالمرحلة الثانوية، كما تحقق مصر نسبة تكافؤ بين الجنسين في العملية التعليمية شبه تامة تبلغ 97.4% في نسبة الالتحاق بالمدارس بالابتدائية والثانوية، 94.3% لمعدل الإلمام بالقراءة والكتابة بين الشباب.

قطاع البحث والتطوير، اتضح أن مصر تُنفق بالمتوسط أقل من نصف بالمئة من ناتجها على هذ القطاع، والتي غالباً ما تذهب في شكل أجور للعاملين بهذا القطاع، وهذه النسبة متواضعة جداً ولا تكفي لتحقيق طفرة تكنولوجية أو حتى مواكبة التطورات التكنولوجية العالمية، وهو ما انعكس في عدد طلبات براءات الاختراع المقدمة من المقيمين وغير المقيمين والتي تبلغ بالمتوسط 1885 براءة اختراع سنوياً، وهي عدد صغير إذا ما قورن بالعديد من الدول النامية الأخرى. وأخيراً بالنسبة لقطاع الصحة، فقد نجحت مصر خلال فترة الدراسة في رفع العمر المتوقع عند الميلاد للمواطنين من 68.01 سنة إلى 71.37 سنة، برغم المستوي المتدني جداً للإنفاق العام على الصحة والذي يبلغ بالمتوسط 1.6% من الناتج.

- **مصفوفة الارتباط:** لاستكمال التحليل الوصفي يتم اللجوء إلى تحليل الارتباط من الدرجة الصفرية بين متغيرات نماذج الدراسة بالخطوة الثانية، والظاهر بالجدول (6) التالي.

جدول (6) مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

		(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*	*(8)*	*(9)*	*(10)*	*(11)*
Human capital	**(1)**	**1**										
Education expenditure	**(2)**	**-0.813[a]**	**1**									
School enrollment, sec.	**(3)**	**0.389[c]**	**-0.147**	**1**								
Educational attainment	**(4)**	**0.191**	**-0.308**	**-0.658[a]**	**1**							
Pupil-teacher ratio	**(5)**	**-0.402[c]**	**0.486[b]**	**0.648[a]**	**-0.725[a]**	**1**						
School enrollment, GPI	**(6)**	**0.978[a]**	**-0.777[a]**	**0.310**	**0.304**	**-0.437[b]**	**1**					
Literacy rate, GPI	**(7)**	**0.802[a]**	**-0.474[b]**	**0.230**	**0.204**	**-0.405[c]**	**0.823[a]**	**1**				
Patent applications	**(8)**	**0.772[a]**	**-0.774[a]**	**-0.033**	**0.306**	**-0.696[a]**	**0.732[a]**	**0.642[a]**	**1**			
R&D	**(9)**	**0.961[a]**	**-0.753[a]**	**0.542[b]**	**-0.017**	**-0.237**	**0.917[a]**	**0.768[a]**	**0.667[a]**	**1**		
Health expenditure	**(10)**	**-0.624[a]**	**0.739[a]**	**0.026**	**-0.375[c]**	**0.521[b]**	**-0.629[a]**	**-0.297**	**-0.524[b]**	**-0.581[a]**	**1**	
Life expectancy	**(11)**	**0.987[a]**	**-0.799[a]**	**0.433[c]**	**0.130**	**-0.351**	**0.954[a]**	**0.766[a]**	**0.765[a]**	**0.940[a]**	**-0.556[a]**	**1**

***Note*:** a, b, c indicate significance at 1%, 5% and 10% respectively.

من الجدول (6) يتضح أن كافة المحددات ترتبط بشكل إيجابي مع تراكم رأس المال البشري بمصر، باستثناء محددات الانفاق العام على التعليم، ونسبة الطلاب للمعلمين، والانفاق العام الصحي. حيث على عكس المتوقع هذه المحددات الثلاثة ترتبط سلبياً بتراكم رأس المال البشري، ويرجع ذلك لاتجاه السياسة المصرية نحو تخفيض نسبة الأنفاق على التعليم والصحة من الناتج، والذي يظهر جلياً في الشكل (2-4). أما بالنسبة لنسبة الطلاب للمعلمين فيرجع إلى العلاقة غير الخطية. كذلك يُلاحظ أن أكثر المحددات ارتباطاً إيجابياً بتراكم رأس المال البشري بمصر كانت توقع الحياة عند الميلاد بمعامل ارتباط شبه تام (98.7%)، يليه التكافؤ بين الجنسين في نسبة الالتحاق بالمدارس بالابتدائية والثانوية بمعامل (97.8%)، ثم الانفاق على البحث والتطوير (96.1%)، التكافؤ بين الجنسين في معدل الإلمام بالقراءة والكتابة (80.2%)، طلبات براءات الاختراع (77.2%)، نسبة الالتحاق بالمدارس بالمرحلة الثانوية (38.9%)، وأخيراً السكان الذين تتجاوز أعمارهم 25 عاماً وأكملوا تعليمهم الثانوي (19.1%). وبالتالي تعطي هذه الارتباطات إشارات مبدئية لإمكانية وجود تأثير إيجابي لكافة المحددات على تراكم رأس المال البشري بمصر، مع بعض الاستثناءات البسيطة بسبب العلاقات غير الخطية أو تدني المستوي.

الأسلوب القياسي والنتائج: اعتمدت المرحلة الثانية في تحليل السلاسل الزمنية واستقصاء الأثر الديناميكي طويل الأجل للمحددات التعليمية والصحية والتكنولوجية وذلك على مستوي تراكم رأس المال البشري في مصر على تقنية التكامل المشترك باستخدام منهج اختبار الحدود The Bounds Testing Approach والمبنى على استخدام الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة The Autoregressive Distributed Lag (ARDL) استطاعت المحددات التعليمية والصحية والبحثية المستخدمة مجتمعة تفسير 96.9% من التغيرات التي تحدث في مستوي تراكم رأس المال البشري بمصر، أما باقي النسبة فترجع إلى الخطأ العشوائي، الذي يرجع إلى أخطاء القياس ومتغيرات أخري لم يتم إدراجها بالنموذج. كذلك جاءت قيمة اختبار دربن-واطسون (DW-stat) المحسوبة أكبر من قيمة (DW) الجدولية وهي 2.676 وهو ما يؤكد عدم وجود ارتباط تسلسلي بين البواقي من الدرجة الأولي. كما يشير اختبار فيشر (Fisher) إلى رفض الفرض العدمي وقبول الفرض البديل بوجود دلالة إحصائية للنموذج المستخدم ككل عند مستوى 1%. وترتيباً على نتائج هذه الاختبارات يمكن اتخاذ قرار بصلاحية استخدام هذا النماذج الهرمية في تقدير العلاقة طويلة الأجل وقصيرة الأجل، كما بالجدول (7) التالي:

جدول (7) محددات تراكم رأس المال البشري؛ العلاقة طويلة الأجل ونموذج تصحيح الخطأ

Dependent Variable: *Human capital*
Method: *ARDL with HAC standard errors*
Model selection method: *Schwarz criterion (SIC)*

Variable	*Model (1)*		*Model (2)*		*Model (3)*	
	Coefficient	*t - stat.*	*Coefficient*	*t - stat.*	*Coefficient*	*t - stat.*
Long-run coefficients						
Education expenditure	0.0761	4.153***	0.0643	5.094***	0.0766	3.721***
School enrollment, secondary	0.3722	11.10***	0.3176	9.739***	0.2476	7.402***
Educational attainment	0.2332	7.602***	0.2161	9.314***	0.1880	9.123***
Pupil-teacher ratio	2.0403	6.679***	2.0317	6.887***	2.2812	8.353***
Pupil-teacher ratio squared	-2.3466	-5.997***	-2.2492	-6.296***	-2.2812	-7.656***
School enrollment, GPI	0.1730	6.335***	0.1659	8.280***	0.1169	2.363*
Literacy rate, GPI	0.1308	6.045***	0.1142	6.886***	0.1219	6.636***
Patent applications			0.0385	3.333***	0.0609	3.087**
R&D			0.0384	1.254	0.0480	1.275
Health expenditure					-0.0393	-2.676**
Life expectancy					0.0716	1.912*
Constant	0.8340	0.922	0.8110	1.299		
Error correction coefficient						
φ_i	-0.0900	-17.98***	-0.1097	-22.33***	-0.1245	-17.76***
Short-run coefficients						
Human capital (-1)	-0.0900	-6.895***	-0.1097	-8.048***	-0.1245	-6.832***
Education expenditure	0.0007	2.693**	0.0071	3.254**	0.0095	3.073**
School enrollment, secondary	0.0335	7.175***	0.0348	7.127***	0.0308	5.674***
Educational attainment	0.0209	5.794***	0.0237	6.299***	0.0234	4.914***
Pupil-teacher ratio	0.1837	-6.070***	0.2229	-5.609***	0.2669	-5.216***
Pupil-teacher ratio squared	-0.2112	5.606***	-0.2468	5.218***	-0.2839	4.904***
School enrollment, GPI	0.0156	3.318**	0.0182	4.428***	0.0145	2.637**
Literacy rate, GPI	0.0118	5.553***	0.0125	6.005***	0.0152	4.657***
Patent applications			0.0042	2.070*	0.0076	2.469**
R&D			0.0042	1.081	0.0059	1.177
Health expenditure					-0.0049	-2.368**
Life expectancy					0.0089	1.678
Constant	0.0751	0.708	0.0890	0.915		

***Note*:** ***, **, * indicate significance at 1%, 5% and 10% respectively.

جدول (8) "اختبار Sasabuchi–Lind–Mehlum للعلاقة ذات شكل حرف U المقلوب

		Pupil-teacher ratio
X_i	$\widehat{\beta} =$	**0.6637 [8.353] *** **
X_i^2	$\widehat{\gamma} =$	**-0.0209 [-7.656] *** **
Interval	$X_{l\,(min)} =$	**12.13**
	$X_{h\,(max)} =$	**17.39**
Slope at X_l	$\widehat{\beta} + 2\widehat{\gamma}X_l =$	**-0.1999 [-2.993] *** **
Slope at X_h	$\widehat{\beta} + 2\widehat{\gamma}X_h =$	**0.0094 [3.269] *** **
Sasabuchi test (t-value)		**[1.093]**
Extremum Point	$-\widehat{\beta}/(2\widehat{\gamma}) =$	**15.878**
		Extremum inside interval

Note: - *, indicate significance at 1%.

اتضح من نتائج الأجل الطويل بالجدول (7) العديد من النتائج المثيرة للاهتمام، والتي يمكن تفسيرها كما يلي:

بالنسبة للنموذج الأول والذي يعكس المحددات التعليمية فقط، اتضح أن كافة متغيرات النموذج تمثل محددات رئيسية لتراكم رأس المال البشري في مصر، كما جاءت إشاراتها متفقة مع النظرية الاقتصادية وواقع الاقتصاد المصري. كذلك اتضح أن تأثير كافة المحددات التعليمية إيجابية خطية على تراكم رأس المال البشري، باستثناء نسبة الطلاب للمعلمين بالمرحلة الثانوية والذي يأخذ تأثيره شكل غير خطي، حيث يأخذ شكل حرف U مقلوب، بمعني عند انخفاض نسبة الطلاب للمعلمين بالمرحلة الثانوية يكون تأثيرها إيجابي على تراكم رأس المال البشري، ولكن هذا التأثير يتحول إلى سلبي عند ارتفاع نسبة الطلاب للمعلمين بالمرحلة الثانوية. كما أن نقطة الانقلاب تعادل 15.9 طالب لكل معلم. وقد تم إجراء اختبار (Sasabuchi–Lind–Mehlum) للتأكد من مصداقية هذه العلاقة غير الخطية، كما يتضح من الجدول (8). حيث جاءت إحصائية الاختبار غير دالة احصائياً، مما يُشير إلى قبول فرض العدم بوجود علاقة (Inverse U shape)، وبالتالي يكون تأثير نسبة الطلاب للمعلمين إيجابي على تراكم رأس المال البشري عندما يكون نسبة الطلاب للمعلمين أقل من 15.9 طالب لكل معلم، ولكنه يتحول إلى سلبي عندما يتجاوز نسبة الطلاب للمعلمين هذه القيمة. ونظراً لأن المحددات التعليمية والصحية والبحثية المستخدمة ذات

وحدات قياس مختلفة، مما يقلل من إمكانية المقارنة بين النتائج لاكتشاف أكثر المحددات أهمية وتأثيراً، والتي يمكن الاستثمار فيها لتسريع عملية تراكم رأس المال البشري في مصر. وللتغلب على ذلك تم تحويل معاملات الانحدار التقليدية إلى معاملات انحدار معيارية. فطبقاً لمعاملات الانحدار المعيارية، وُجد أن أكثر المحددات التعليمية تأثيراً على تراكم رأس المال البشري كانت نسبة الطلاب للمعلمين المنخفضة بالمرحلة الثانوية بمعامل تأثير ضخم يعادل (2.040)، يليها نسبة الالتحاق بالمدارس للمرحلة الثانوية بمعامل (0.372)، ثم السكان الذين تتجاوز أعمارهم 25 عاماً وأكملوا تعليمهم الثانوي (0.233)، التكافؤ بين الجنسين في الالتحاق بالمدارس الابتدائية والثانوية (0.173)، والتكافؤ بين الجنسين في معدل الالمام بالقراءة والكتابة بين الشباب (0.131)، وأخيراً الانفاق العام على التعليم بمعامل (0.076). وقد تبدو هذه النتائج مثيرة للاهتمام وصادمة نوعاً ما، فأقل المتغيرات أهمية وتأثيراً في تراكم رأس المال البشري بمصر هو الانفاق العام على التعليم، ولكن كانت أكثر المحددات التعليمية أهمية هي نسبة الطلاب للمعلمين، لما لهذا المتغير من دور قوي ورئيسي في جودة العملية التعليمية كلها.

وبالانتقال للنموذج الثاني والذي تم فيه توسيع النموذج الأول للسيطرة على محددات البحث والتطوير بجانب المحددات التعليمية، فلم تختلف الاستنتاجات الأساسية حول المحددات التعليمية، حيث مازال نسبة الطلاب للمعلمين المنخفضة بالمرحلة الثانوية أكثر المحددات أهمية وتأثيراً على تراكم رأس المال البشري، يليها نسبة الالتحاق بالمدارس للمرحلة الثانوية، وهكذا. أما بالنسبة لمحددات البحث والتطوير، فنكتشف أن الانفاق على البحث والتطوير ليس له أي تأثير يُذكر على تراكم رأس المال البشري، وهو أمر متوقع نظراً للتدني الشديد لهذا الانفاق نسبة للناتج، والتي غالباً ما تذهب كأجور ومرتبات للباحثين. أما مخرجات القطاع متمثلاً في عدد براءات الاختراع فكان يتذيل المحددات التعليمية بمعامل تأثير يبلغ (0.039).

وبالانتقال للنموذج الثالث والذي تم فيه توسيع النموذج الثاني للسيطرة على كافة المحددات التعليمية والبحثية والصحية. فنكتشف عدم اختلاف الاستنتاجات الأساسية حول المحددات التعليمية والبحثية مع النموذج الثاني والأول. مما يدل على مدي قوة وثبات واستقرار النتائج. أما بالنسبة للمحددات الصحية فنري تأثير إيجابي لتوقع الحياة عند الميلاد على تراكم رأس المال البشري، وبمعامل تأثير يعادل تقريباً معامل تأثير الانفاق العام على التعليم. بينما نجد تأثير سلبي للأنفاق العام على الصحة، والذي يرجع لعدم

التزام الحكومة المصرية بالنسب المنصوص عليها للأنفاق على الصحة كنسبة من الناتج في الدستور المصري، بل تتجه الدولة المصرية بتخفيض نسبة الانفاق العام الصحي من الناتج خلال الفترة.

بالنسبة لنتائج الأجل القصير؛ فلم تختلف عن نتائج الأجل الطويل، وإن كان تأثير الأجل القصير أقل بكثير، مما يعكس حقيقة أن الاستثمار في البشر هو استثمار طويل الأجل. وأخيراً يتضح أن معامل تصحيح الخطأ *ECM (-1)* جاء معنوياً وسالباً، مما يدل على أن ألية تصحيح الخطأ موجودة في النماذج، أي هناك استقرار في العلاقة في الأجل الطويل. ويتضح من الجدول (9) التالي أن كافة المحددات التعليمية والبحثية والصحية المستخدمة ذات أهمية عملية كبيرة في الواقع المصري الفعلي، سواء بالنسبة لمعامل الارتباط الجزئي (r) أو معامل (Cohen's d). وبالتالي يمكن استنتاج أن الاستثمار في المحددات التعليمية والبحثية والصحية الموضحة في الجزء السابق له أهمية عملية كبيرة في الاقتصاد المصري. ويستحق قيام الدولة المصرية ببذل المزيد من الجهود والاستثمارات لزيادة مستوي تراكم رأس المال البشري.

جدول (9) حجم التأثير لمحددات رأس المال البشري في النموذج 3

	Effect Size (Cohen's d)	*Effect Size (r)*	*Confidence interval (%95)*		*Interpretation*
			Lower	*Upper*	
Education expenditure	**2.6310**	**0.7961**	**0.2606**	**0.9497**	***Large Effect***
School enrollment, secondary	**5.2329**	**0.9341**	**0.8078**	**0.9846**	***Large Effect***
Educational attainment	**6.4549**	**0.9552**	**0.0411**	**0.9896**	***Large Effect***
Pupil-teacher ratio	**5.4120**	**0.9380**	**0.8428**	**0.9856**	***Large Effect***
Pupil-teacher ratio squared	**-5.9081**	**-0.9472**	**-0.6560**	**-0.7870**	***Large Effect***
School enrollment, GPI	**1.6707**	**0.6411**	**0.0141**	**0.9053**	***Large Effect***
Literacy rate, GPI	**4.6915**	**0.9199**	**0.7011**	**0.9812**	***Large Effect***
Patent applications	**2.1828**	**0.7373**	**0.1509**	**0.9335**	***Large Effect***
R&D	**0.9014**	**0.4109**	**-0.2270**	**0.8267**	***Large Effect***
Health expenditure	**-1.8919**	**-0.6872**	**-0.7170**	**-0.1020**	***Large Effect***
Life expectancy	**1.3522**	**0.5601**	**-0.0790**	**0.8796**	***Large Effect***

5-النتائج والتوصيات:

جاءت نتائج النموذج القياسي متفقة مع النظرية الاقتصادية، حيث تُظهر وجود تأثير إيجابي لتراكم رأس المال البشري (مستوى العتبة) على الثورة الصناعية الرابعة، مُمثلًا في مستوى الجاهزية الشبكية والتعقيد الاقتصادي للدول محل الدراسة. فقد اتضح أن العتبة (λ)التي تؤدي إلى تغير في البنية الخطية لعلاقة رأس المال البشري بالثورة الصناعية الرابعة، بحيث يتعاظم عندها تأثير رأس المال البشري على استيعاب تطبيقات ومظاهر هذه الثورة، تتراوح ما بين (3.19 - 3.22) للتعقيد الاقتصادي وللجاهزية الشبكية على الترتيب. مما يتضمن أن تأثير رأس المال البشري عندما يكون أقل من حاجز 3.19 على مستوي التعقيد الاقتصادي يبلغ 0.296 درجة في المتوسط. ولكن مع ارتفاع مستوي رأس المال البشري ليتجاوز حاجز 3.19 يكون تأثيره على مستوي التعقيد الاقتصادي يعادل 0.451 درجة في المتوسط. أي أن تأثير رأس المال البشري على التعقيد الاقتصادي يتضاعف تقريباً بسبب الوفورات البشرية الناتجة عن زيادة الاستثمار في رأس المال البشري للشعوب. أما بالنسبة لمستوى الجاهزية الشبكية فإن تأثير رأس المال البشري عندما يكون أقل من حاجز 3.22 على مستوي الجاهزية الشبكية يبلغ 0.915 درجة في المتوسط. ولكن مع ارتفاع مستوي رأس المال البشري ليتجاوز حاجز 3.22 يكون تأثيره على مستوي الجاهزية الشبكية يعادل 5.821 درجة في المتوسط. كما اتضح أن متغيرات الابتكار التكنولوجي (عدد براءات الاختراع والمقالات العلمية) لها تأثير إيجابي، بينما الاستثمار الأجنبي المباشر له تأثير سلبي، ولم يظهر للانفتاح التجاري أي تأثير على التعقيد الاقتصادي أو الجاهزية الشبكية. وبمقارنة هذه العتبة (3.19-3.22) مع مستوي رأس المال البشري في مصر المتراكم حتى عام 2020 والبالغ (2.707)؛ اتضح أن الحد الأدنى اللازم لاستيعاب تطبيقات الثورة الصناعية الرابعة أكبر قليلاً من مستوي تراكم رأس المال البشري بمصر. ويرجع ذلك لعدم التزام الحكومة المصرية -بناء على نتائج الخطوة الثانية- بالنسب المنصوص[10] عليها للأنفاق على التعليم والصحة كنسبة من الناتج في الدستور المصري بمعامل تأثير (0.076)، كذلك بالنسبة للإنفاق على البحث والتطوير الذي اتضح أنه ليس له أي تأثير يُذكر على تراكم رأس المال البشري، نظراً للتدني الشديد لهذا الانفاق نسبة للناتج، والتي غالباً ما تذهب كأجور ومرتبات للباحثين. أما مخرجات القطاع متمثلاً في عدد براءات الاختراع فكان يتذيل المحددات التعليمية بمعامل

[10] المواد أرقام 18 و19 و21 و23 من الدستور المصري، تُلزم الدولة بتخصيص نسب محددة من الإنفاق الحكومي لا تقل عن 3% من الناتج القومي الإجمالي لصالح قطاع الصحة، و4% للتعليم قبل الجامعي، و2% للتعليم العالي، و1% للبحث العلمي (الدستور المصري، 2014).

تأثير يبلغ (0.039). لذا تستدعي الضرورة جهودًا إضافية من الحكومة المصرية لزيادة مستوى تراكم رأس المال البشري لمواكبة التحولات التكنولوجية السريعة وتحقيق التنمية المستدامة والاقتصادية في عصر الثورة الصناعية الرابعة. زيادة الاستثمار في البنية التحتية التكنولوجية أيضاً لتضييق الفجوة الرقمية في مصر، وتعزيز استخدام التكنولوجيا في القطاعات الحيوية، مثل: التعليم، والصحة، والصناعة، والزراعة. تحفيز الريادة والابتكار ودعم الشركات الناشئة من خلال توفير الدعم والتمويل للشركات الناشئة والمبتكرة وتقديم الحوافز للمبتكرين، وتوفير الدعم والتسهيلات اللازمة للشركات الناشئة والمتوسطة والكبيرة، وتشجيع الابتكار والتنمية التقنية في جميع الصناعات. تعزيز التعاون بين الحكومة والقطاع الخاص في مصر وتشجيع الشراكات بين الجانبين في مجالات البحث والتطوير وتحديث البنية التحتية التكنولوجية وتوفير الفرص الاستثمارية للمستثمرين الخاصين. كذلك تعزيز التعاون الدولي الذي يُعد عاملاً مهمًا للاستفادة من الفرص المتاحة في الثورة الصناعية الرابعة، وينبغي على مصر العمل على توسيع شراكاتها الدولية في مجالات الابتكار والتكنولوجيا وتبادل المعرفة والخبرات مع الدول الأخرى. يمكن الاستفادة من تجربة سنغافورة في هذا الصدد. التركيز على الصناعات الواعدة والمستقبلية مثل الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا الحيوية والطاقة النظيفة والتصنيع الذكي وغيرها، ويمكن الاستفادة من تجربة الصين في هذا المجال.

بناءً على النتائج السابقة، من المتوقع وجود دراسات مستقبلية تركز على مجال الثورة الصناعية الرابعة وتأثيرها على التطور الاقتصادي والاجتماعي في مصر. تتناول هذه الدراسات مواضيع مختلفة مثل تأثير الثورة الصناعية الرابعة على سوق العمل ومتطلبات المهارات المستقبلية، ودور الاستثمارات في التعليم والتكنولوجيا في تعزيز تراكم رأس المال البشري والاستعداد للثورة الصناعية الرابعة. كما تركز على السياسات الحكومية لتشجيع الابتكار ودعم الشركات الناشئة والمبتكرة، وتحليل التأثيرات الاقتصادية والاجتماعية للتحول التكنولوجي في مصر. بالإضافة إلى ذلك، تستكشف هذه الدراسات أيضًا أثر الاستثمار في البنية التحتية التكنولوجية على تطور الصناعات والقطاعات المختلفة، وتتناول التحديات والفرص التي تواجهها مصر في مجال تحقيق التنمية المستدامة في عصر الثورة الصناعية الرابعة. يمكن لهذه الدراسات أن تكون ذات أهمية كبيرة لصانعي القرار والباحثين لتحديد السياسات الأكثر فعالية وتحقيق الاستفادة القصوى من الثورة التكنولوجية الحديثة في مصر.

المراجع

Becker. (1964). *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education.* Chicago: University of Chicago.

Bukenya, J. (2009). Do fluctuations in health expenditure affect economic growth? *The Open Economics Journal*, 31-38.

Dor´e, N., & Teixeira, A. (2023). The role of human capital, structural change, and institutional quality on Brazil's economic growth over the last two hundred years (1822–2019). *Structural Change and Economic Dynamics*, 1-12.

Gustafon, F. R. (2019, January 25). *Factors Affecting Human Capital*. Retrieved from bizfluent.com: https://bizfluent.com/info-8445338-factors-affecting-human-capital.html

Harvard Growth Lab . (2022). *New Harvard Growth Lab Projections.* The Atlas of Economic Complexity. Retrieved from https://atlas.cid.harvard.edu/growth-projections

Harvard Growth Lab. (2023, 11 15). *The Atlas Of Economic Complexity*. Retrieved from https://atlas.cid.harvard.edu/.

Hoosain , M. S., Paul , B., & Ramakrishna, S. (2020). The Impact of 4IR Digital Technologies and Circular Thinking on the United Nations Sustainable Development Goals. *Sustainability, 12*, 1-16.

Hussin , A. A. (2018). Education 4.0 Made Simple: Ideas For Teaching. *International Journal of Education & Literacy Studies, 6*(3), 92-98.

Kaba, A., & Said, R. (2020). Assessing Readiness for the Fourth Industrial Revolution: A Comparison of GCC and BRICS Countries . *International Journal of Innovation, Creativity and Change, 13*(7), 853-869.

”Industrie 4.0“ .(2017) .Wuest Thorsten و، Wiesner Stefan ،Thoben Klaus-Dieter and Smart Manufacturing - A Review of Research Issues and Application Examples. *International journal of automation technology* ،*11*(1)، 4-16.

Maitra, B. (2016). Investment in Human Capital and Economic Growth in Singapore. *Global Business Review, 17*(2).

Miculescu, A., & Oţil, M. (2020). The Investment on Human Capital, and Its Connection to the Fourth Industrial Revolution. The Case of Romania. *Economia & lavoro*, 45-66.

Miculescu, A., & Oţil, M. (2020). The Investment on Human Capital, and Its Connection to the Fourth Industrial Revolution. The Case of Romania. *Economia & lavoro, 54*(1), 45-66.

Mohapatra, S., & Mishra, P. (2011). Composition of Public Expenditure on Health and Economic Growth: A Cointegration Analysis and Causality Testing. *IUP Journal of Public Finance, 9*(2), 30-43.

Moore, J. P., Chandran, V., & Schubert, J. (2018). *The future of jobs in the Middle East* . World Government Summit in Collaboration with McKinsey & Company.

Mpofu, Q., & Nemashakwe, P. (2023). The Adequacy of Human Capital for the Fourth Industrial Revolution Era in the Mining Industry in Zimbabwe. *International Journal of Social Science Research and Review, 6*(8), 67-78.

Ozyilmaz, A., Bayraktar, Y., Isik, E., Toprak, M., Er, M., Besel, F., . . . Collins, S. (2022). The Relationship between Health Expenditures and Economic Growth in EU Countries: Empirical Evidence Using Panel Fourier Toda–Yamamoto Causality Test and Regression Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(22), 1-17.

Peters, M. (2019). Technological unemployment: Educating for the fourth industrial revolution. *The Chinese Dream: Educating the Future*, 99-107.

Peters, M., & Jandrić, P. (2019). Education and Technological Unemployment in the Fourth Industrial Revolution. *The Oxford Handbook of Higher Education Systems and University Management*, 394-413.

Portulans Institute. (2022). *The Network Readiness Index.* Portulans Institute.

Puhovichova, D., & Jankelova, N. (2021). Effects of industry 4.0 on human capital and future of jobs. (pp. 400-412). Bratislava: University of Economics in Bratislava Journal. Retrieved from https://doi.org/10.53465/EDAMBA.2021.9788022549301.400-41

PWC. (2017). *Sizing the prize: What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?* London: PWC. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf

Romer, P. M. (1986, Oct). Increasing Returns and Long-Run Growth. *The Journal of Political Economy*, 1002-1037.

Schultz. (1961). Investment in human capital. *American Economic Review, 51*, 1-17.

Schwab, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*.

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution.* Geneva: The World Economic Forum.

Sima, V., Gheorghe, I., Subic, J., & Nancu, D. (2020). Influences of the industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review. *Sustainability*, 1-28.

Technological change is coming: The fourth industrial revolution: .(2016) .TESDA .Taguig: TESDA . *labor market intelligence report*

UNDP. (2021-22). *Human development report: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World.* New York: United Nations Development Programme.

Vrchota, J., Maˇriková, M., Rehoˇr, P., Rolˇínek, L., & Toušek, R. (2019). Human Resources Readiness for Industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 1-20.

World Bank . (2020). *The Human Capital Index 2020 UPDATE: Human Capital in the Time of COVID-19.* World Bank Group.

World Bank. (2021). *Building Human Capital: Lessons from Country Experiences - Egypt.* Washington: World Bank. Retrieved from http://hdl.handle.net/10986/35533

World Economic Forum. (2017). *The Global Human Capital Report: Preparing people for the future of work.* Switzerland: World Economic Forum.

Yang, C. (2019). The Fourth Industrial Revolution, Aging Workers, Older Learners, and Lifelong Learning and Lifelong Learning. *Adult Education Research Conference* (pp. 1-7). Buffalo, New York: Kansas State University Libraries New Prairie Press.

Yang, C. (2019). The Fourth Industrial Revolution, Aging Workers, Older Learners, The Fourth Industrial Revolution, Aging Workers, Older Learners, and Lifelong Learning and Lifelong Learning. *Adult Education Research Conference.* Buffalo, New York): New Prairie Press New Prairie Pre. Retrieved from https://newprairiepress.org/aerc/2019/papers/35

Yunos, S., & Din, R. (2019). The Generation Z Readiness for Industrial Revolution 4.0. *Creative Education*, 2993-3002.

Yunos, S., & Din, R. (2019). The Generation Z Readiness for Industrial Revolution 4.0 . *Scientific Research Publishing Creative Education*, 2993-3002.

Yusuf, B., Walters , L., & Sailin , S. (2020). Restructuring Educational Institutions for Growth in the Fourth Industrial Revolution (4IR): A Systematic Review . *IJET, 15*(3), 93-109.

إسراء عادل الحسيني. (2023). الإستثمار في رأس المال البشري كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة في مصر: الواقع والتحديات والسياسات المستقبلية. *المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر*، 12-65.

أسماء مجدي علي حسين. (2023). تقنيات الذكاء الإصطناعي والإستثمار في رأس المال البشري: دراسة مقارنة بين جمهورية مصر العربية والمملكة العربية السعودية. *المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر*، 111-169.

البنك الدولي. (2020). *التقرير المرحلي الثاني من مشروع رأس المال البشري: حماية الناس والإستثمار فيهم*. مجموعة البنك الدولي. تم الاسترداد من https://www.albankaldawli.org/ar/publication/human-capital

السيد فراج السعيد محمد صقر، و مصطفى أحمد رضوان. (2022). أثر رأس المال البشري على النمو الاقتصادي في الاقتصاد المصري خلال الفترة (1980-2020). *المجلة العلمية للبحوث التجارية*، 551-591.

الهلالي الشربيني الهلالي. (2019). الثورة الصناعية الرابعة والتعليم الذكي. *المجلة الدولية للتعليم بالإنترنت*، 1-6.

إيمان محمد إبراهيم. (2019). إختبار سببية (Toda-Yamamoto) بين الإستثمار في رأس المال البشري والنمو الإقتصادي في مصر في الفترة 1991-2018. *مجلة كلية التجارة للبحوث العلمية*، 129-160.

إيمان محمد إبراهيم. (2021). دور رأس المال البشري في تحقيق النمو الاقتصادي: دراسة حالة بعض الدول العربية. *مجلة كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، 22*(1)، 33-62.

بكاري مختار. (2019). الاستثمار في رأس المال البشري كخيار إستراتيجي لتطوير الكفاءات الإستراتيجية في الجزائر. *مجلة التنظيم والعمل*، 28-46.

جمال علي الدهشان. (2019). برامج إعداد المعلم لمواكبة متطلبات الثورة الصناعية الرابعة. *المجلة التربوية، 68*، 3153-3199.

خليفي، عيسى & قوادرية، ربيحة. (2014). مساهمة الاستثمار في رأس المال البشري في تسيير المعرفة بالمؤسسة الاقتصادية الجزائرية.. *رؤي إقتصادية*، 47-48.

سعد ابراهيم احمد، و محمد محمد السيد راضي. (2020). أثر رأس المال البشري على النمو الاقتصادي في مصر. *مجلة الدراسات التجارية المعاصرة*، 302-322.

سعد طه علام، و فريد أحمد عبدالعال. (2012). *اقتصاديات التنمية البشرية*. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

سميرة عبدالصمد. (2020). الاستثمار في رأس المال البشري كأساس للأداء المتميّز في ظل اقتصاد المعرفة. *مجلة الدراسات القانونية والإقتصادية*، 44.

شهاب حمد شيحان. (2010). فرص و تحديات الاستثمار البشري و دوره في التنمية الاقتصادية لدول عربية مختارة. *مجلة جامعة الأنبار للعلوم الاقتصادية والإدارية*، 1-26.

محمد حنفي محمد حنفي. (2018). *دور رأس المال البشري في الإقتصاد القائم علي المعرفة : مع التطبيق علي جمهورية مصر العربية*. مدينة نصر، القاهرة: معهد التخطيط القومي.

محمود أحمد جودة الجزار. (2020). تأثير الثورة الصناعية الرابعة فى تغيير متطلبات الإنتاج (الإقتصادية - التقنية - البشرية). *مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية*، 1129-1142.

مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار. (2020). *الذكاء الإصطناعي: أهم عناصر الثورة الصناعية الرابعة*. القاهرة مصر: مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار.

ميادة رشاد شبلاق. (2018). دور رأس المال البشري في تحقيق التنمية الاقتصادية في فلسطين (1996-2017). *مجلة البحوث الاقتصادية والمالية*، 672-691.

نادية يوسف جمال الدين. (2018). الثورة الصناعية الرابعة والتعليم للحياة. *مجلة العلوم التربوية*، 47-61.

نجاح رحومة أحمد. (2020). تطوير الجامعات المصرية في ضوء تحقيق متطلبات الثورة الصناعية للجيل الرابع "رؤية مقترحة". *مجلة دراسات تربوية وإجتماعية، 26*(1)، 177-218.

نجلاء رزق، و أيمن إسماعيل. (2021). *الثورة الصناعية الرابعة والذكاء الإصطناعي ومستقبل العمل في مصر*. القاهرة: منظمة العمل الدولية.

نشوى محمد عبدربه. (2019). قياس أثر رأس المال البشري على النمو الإقتصادي: دراسة تطبيقية على مصر خلال الفترة (1995- 2018). *مجلة الدراسات التجارية المعاصرة*، 528-549.

نشوى محمد عبدربه. (2019). قياس أثر رأس المال البشري على النمو الإقتصادي: دراسة تطبيقية على مصر خلال الفترة 1995-2018م. *مجلة الدراسات التجارية المعاصرة*، 527-549.

وزارة الإتصالات وتكنولوجيا المعلومات. (2023). *استراتيجيات قطاع الإتصالات وتكنولوجيا المعلومات*. تم الاسترداد من وزارة الإتصالات وتكنولوجيا المعلومات.

Investment in Human Capital and Embracing the Fourth Industrial Revolution: Minimum Threshold Analysis

Abstract:

The continuous increase in technological advancement, utilization, and organization poses a challenging dilemma in the context of the Fourth Industrial Revolution (4IR). Concerns have been expressed regarding the sufficiency of human capital in this stage, especially in developing economies such as Egypt. This research employed an analytical and descriptive methodology to evaluate the readiness of human capital in the Fourth Industrial Revolution era. The study utilized a Threshold Regression analysis to determine the threshold or barrier that the level of accumulated human capital must surpass to significantly impact the Fourth Industrial Revolution. The methodology takes into consideration factors such as current levels of education and health, technological innovation variables, and anticipated changes in the job market.

The results revealed a positive impact of accumulated human capital on embracing 4IR, manifested in the levels of network readiness and economic complexity of the studied countries. However, the strength of this relationship varied based on the level of accumulated human capital (threshold level), ranging between 3.19 and 3.22 concerning economic complexity and network readiness, respectively. In comparison with the level of accumulated human capital in Egypt up to the year 2020, which stood at 2.707, it became evident that the minimum required threshold for accommodating Fourth Industrial Revolution applications slightly exceeds Egypt's level of accumulated human capital. Therefore, policymakers and stakeholders should prioritize investing in the development of human capital, including skills enhancement programs and healthcare initiatives, to ensure a strong readiness for leveraging the opportunities available within the framework of 4IR (Industry 4.0).

Keywords: Fourth Industrial Revolution, human capital, technological change, Network Readiness Index and Economic Complexity, threshold regression analysis.

Jel Classification: O31, O33, J24