



Robot Adoption

1. הקדמה

במיומנויות נמוכות. לעומת זאת, הון פיזי שאינו רובוטים – מכונות המתופעלות במלואן על ידי בני אדם – וכוח עבודה נוטים להשלים זה את זה (למשל, Fallon & Duffy (2004), Laylard (1975) ו-Griliches (1969)).

כדי לבחון אמפירית את ההשפעות של אימוץ רובוטים על מימון חברות, השתמשנו בנתוני פאנל ברמת הפירמה על פריסת הרובוטים. נתונים אלו מבוססים על הסקר הכללי של החברות הסיניות, המתקבל באמצעות דגימה של חברות ייצור במגוון תעשיות בחמישה מחוזות מייצגים. הנתונים מכסים קרוב ל-2,000 חברות ייצור בשנים 2015–2017, תקופה שבה הייתה התפשטות מהירה של הרובוטים, בין היתר בשל השימוש בשנת 2015 באסטרטגיה "תוצרת סין 2025", שעודדה אימוץ טכנולוגיות ייצור חכמות. הנתונים הם ייחודיים בכך שהם מספקים מידע על פריסת רובוטים ועל מועסקים ברמת החברה, בניגוד לרוב המחקרים הקיימים שבהם הנתונים הם ברמת התעשייה, ברמת האזור הגיאוגרפי או ברמת המדינה.

מצאנו כי לאימוץ רובוטים יש השפעה עמוקה על מבנה ההון של חברות ועל עלויות החוב. לחברות המאמצות יש יחסי מינוף גבוהים יותר בממוצע ב-8 נקודות אחוז, והן משלמות ריביות

רובוטים תעשייתיים הפכו לכלי מרכזי בייצור ברחבי העולם. מספר הרובוטים התעשייתיים בארה"ב ובמערב אירופה גדל פי ארבעה בין השנים 1993–2007 (למשל, Acemoglu & Restrepo (2020)). מאז הואץ עוד יותר קצב אימוץ הרובוטים, בסין כמעט הוכפל מלאי הרובוטים ב-15 השנים האחרונות, והיום סין מחזיקה בכל רובוט שלישי בעולם (למשל, Cheng, Jia, Li, & Li).

במאמר זה אנו בוחנים את ההשפעות של אימוץ רובוטים תעשייתיים על מימון חברות. ניתוח זה הוא חשוב לאור הבדל מכריע בין הרובוטים התעשייתיים המוגדרים רשמית כמכונות "נשלטות אוטומטית, ניתנות לתכנות מחדש ורב תכליתיות", לבין סוגים אחרים של הון פיזי. הרובוטים יכולים לעיתים קרובות להחליף כוח עבודה בתהליך הייצור, והתוצר השולי של כוח העבודה הולך ופוחת במלאי הרובוטים הפרוטים. Acemoglu & Restrepo (2020), Autor & Salomons (2018), Brynjolfson & McAfee (2020), Dauth, Findelsen, Suedekum & Woessner (2019), Frey & Osborne (2020) ו-Graetz & Michaels (2018) ואחרים, מצאו כי אימוץ רובוטים תעשייתיים מפחית את שיעור התעסוקה של עובדים בתעשיות של ייצור, ובפרט של כוח עבודה

נמוכות ב-3 נקודות אחוז, כשכל יתר התנאים שווים. בנוסף, עלייה בסטיית תקן אחת ביחס הון רבובטים להון פיזי מעלה את המינוף ב-0.4 סטיות תקן ומורידה ריבית ב-0.2 סטיות תקן.

כדי לבחון קשר סיבתי בין אימוץ רבובטים לבין תוצאות המימון של החברות, השתמשנו בנייתוחי הבדל בהפרשים אינסטרומנטליים. בנייתוחי הבדל בהפרשים השתמשנו בניסוי בתנאים טבעיים, שבו אימוץ הטרוגני של מדיניות ידידותית לרבובטים במחוזות ובתעשיות משמש מקור לשונות אקסוגנית. יישום האסטרטגיה של "תוצרת סין 2025" ברמה הלאומית הביא את המחוזות לאכוף תוכניות פעולה מקומיות ליישום סלקטיבי של האסטרטגיה. יש לציין כי ההטרונגניות בין מחוזות ותעשיות באימוץ מדיניות מסוימת היא גדולה. בנייתוח המשתנים האינסטרומנטליים, אנו הולכים בעקבות Acemoglu & Restrepo (2020) ומשתמשים בהתפתחויות גלובליות באוטומציה תעשייתית ובמדיניות תעשייתית מקומית כאינסטרומנטים לפריסת רבובטים שהיא משתנה אנדוגני. ממצאי הניתוחים שערכנו מצביעים על סיבתיות – אימוץ רבובטים משפיע על מימון חברות. בדיקות נוספות שבחנו את תגובת מחירי המניות של חברות בורסאיות להכרזה על מדיניות מסוימת, שוללות את האפשרות להסבר אלטרנטיבי של צמיחה כגורם לקשר בין רבובטים למימון.

אנו משערים כי המנגנון העומד מאחורי השפעת אימוץ רבובטים על מימון חברות הוא יכולת הגידור של הרבובטים מפני תנודות בעלויות השכר. "מנגנון גידור" זה מתבסס על שתי עובדות: ראשית, רבובטים וכוח עבודה הם תשומות שאפשר להחליף ביניהן בפונקציית הייצור של החברה. שנית, אי הוודאות בפחת או בעלויות התחזוקה של ההון הפיזי, כולל רבובטים, היא נמוכה מאי הוודאות הכרוכה בעלויות שכר (למשל, Berg et al. (2018), Guerreiro, Rebelo, & Teles (2022), Leduc and Liu (2020)). בעקבות זאת יש לרבובטים פוטנציאל להפחית את חשיפת החברות לתנודות של מחיר כוח העבודה, ולהוריד את השונות בתזרים המזומנים של החברות.

כדי לבדוק את ההשערה, בנינו מודל שבו חברה בוחרת את התשומות לפונקציית הייצור שלה – הון פיזי שאינו רבובטים, כוח עבודה ורבובטים תעשייתיים, ואת מבנה ההון שלה. כדי להדגיש את ההבחנה בין רבובטים תעשייתיים וסוגים אחרים של הון פיזי, אנו הולכים בעקבות Berg et al. (2018) ומאפשרים

הן לרבובטים והן לכוח העבודה להיות חלק של אותה פונקציית ייצור. בעוד שאנו מתייחסים לאי הוודאות הקשורה לעבודה כאי-וודאות בעלויות השכר, אפשר לפרש את תוצאות המודל שלנו גם לאור אי-וודאות אחרת הקשורה לעבודה, כמו למשל אי-וודאות בפריז. קל יותר לבחור רבובטים על סמך המפרט הטכני שלהם ולנטר את הביצועים שלהם מאשר לבחור עובדים על סמך המאפיינים הנצפים שלהם ולנטר את התפוקה שלהם. בעקבות זאת סביר להניח שתפוקת כוח העבודה נטה להיות פחות ודאית מאשר תפוקת הרבובטים. לכן התמקדנו באי הוודאות של עלויות השכר כדי להתאים את המודל לניתוח האמפירי, מכיוון שזהו הסוג היחיד של אי-וודאות הקשורה לעבודה שאפשר למדוד באמצעות הנתונים שלנו.

כדי לבחון את מנגנון הגידור המוצע, אנו בוחנים כמה גורמים המשפיעים על עוצמת ההשפעה של פריסת הרבובטים על המימון של חברות. אנו מראים כי השפעת רבובטים על מימון חברות היא חזקה יותר עבור: א) חברות שבהן תרומת כוח העבודה היא גבוהה ביחס לתרומת ההון, שכן בחברות אלו לגידור הסיכון של מחיר כוח העבודה יש השפעה חזקה יותר על השונות של תזרים המזומנים. ב) חברות שבפונקציית הייצור שלהן אפשר להחליף בקלות בין רבובטים לכוח עבודה, מפני שבחברות אלו הגידור באמצעות רבובטים יעיל יותר. ג) חברות שבהן עלויות ההתאמה הקשורות לפריסת הרבובטים הן נמוכות, ויישום הגידור התפעולי אינו יקר באופן שמונע אותו. יחסים אלו באים לידי ביטוי בתחזיות אמפיריות ברורות שבאמצעותן אפשר לבחון את תקפות המנגנון שאנו מציעים להשפעת אימוץ הרבובטים התעשייתיים על מימון חברות.

בהתאם לתחזיות הממוקדות יותר של המודל, מצאנו כי השפעת פריסת הרבובטים היא חזקה מאוד בתוך תת-מדגם של חברות המשתייכות לתעשיות שבהן תרומת כוח העבודה המשוערת היא גבוהה. בתת-מדגם זה, לחברות המאמצות רבובטים יש יחסי מינוף גבוהים יותר ב-21 נקודות אחוז, והן משלמות ריביות נמוכות ב-5 נקודות אחוז בהשוואה לאלו שאינן מאמצות רבובטים, כאשר יתר התנאים שווים. לעומת זאת, בתת-המדגם שבו תרומת כוח העבודה היא נמוכה לא נמצא קשר מובהק. בנוסף, היחס בין פריסת רבובטים מחד לבין מינוף ושיעורי ריבית מאידך הוא מובהק ביותר סטטיסטית וגדול מבחינה כלכלית רק בתת-מדגם של חברות בעלות תחלופה גבוהה בין רבובטים לכוח עבודה. בתת-מדגם זה לחברות המאמצות רבובטים יש יחסי מינוף גבוהים ב-19 נקודות אחוז והן מחויבות בריבית נמוכה יותר ב-4.5 נקודות אחוז. נוסף על כך, לחברות

הריבית, ואילו המאמרים האחרים מתמקדים בהשפעות של התחליפיות הצפויה בתעשייה בין כוח עבודה להון אוטומטי על מבנה ההון.

באופן כללי, הממצאים שלנו בנוגע להשפעות פריסת הרבובטים על קיבולת החוב ועל שיעורי הריבית מצביעים על כך שבנוסף על היתרונות הטכנולוגיים המתועדים היטב של הרבובטים התעשייתיים, המובילים לעלייה בפרייון ולהשפעה הפוטנציאלית השלילית על תעסוקה ושכר בתעשיות הייצור, יש גם יתרונות של הרבובטים הקשורים במימון: פריסת רבובטים נוטה להגדיל בצורה משמעותית את קיבולת החוב של החברה ולהוריד את שיעור הריבית על החוב. כדאי שרגולטורים המעצבים מדיניות של עידוד אימוץ רבובטים ייקחו בחשבון את היתרונות הללו.

2. נתונים ומסגרת אמפירית

מקור הנתונים שלנו הוא הסקר הכללי של החברות הסיניות (CEGS), הידוע בעבר כסקר של סין למעסיקים ומועסקים – (CEES). סקר זה הוא יוזמה משותפת של אוניברסיטת ווהאן, אוניברסיטת סטנפורד, האקדמיה הסינית למדעי החברה ואוניברסיטת הונג קונג למדע וטכנולוגיה. זהו מחקר אורך חדש של חברות ייצור בחמישה מחוזות תעשייתיים מייצגים בדרום, במרכז, במערב, במזרח ובאזורי הצפון. ה-CEGS החל ב-2015 בסקר של חברות ועובדים במחוז גואנגדונג, בהמשך התרחב ב-2016 למחוז הוביי, וב-2018 למחוזות סצ'ואן, ג'יאנגסו וג'ילין. מסד נתונים זה שימש במחקרים קודמים, כמו Bloom et al. (2018), Cheng et al. (2019), Cheng et al. (2017) Li et al. (2019).

המשתנים התלויים העיקריים שלנו הם יחס מינוף ושיעור ריבית, ולכן אנו כוללים במדגם חברות המדווחות על חוב שאינו אפס ואינו נתון חסר בשנים 2015–2017. הפאנל שהתקבל מורכב מ-1,523 חברות ו-4,569 תצפיות שנתיות.

אנו נעזרים בשלושה מדדים חלופיים לפריסת הרבובטים: (1) משתנה דמי לפריסת רבובט – אינדיקטור השווה לאחד אם החברה השתמשה ברבובטים בייצור שלה עד שנת התצפית. (2) רבובט הון/PPE – היחס בין הערך של הרבובטים בספרי הפירמה לבין סך ערך הנכסים הפיזיים בספרים. (3) רבובט הון/עובדים – היחס בין ערך הרבובטים בספרים לבין מספר העובדים.

הפועלות בתעשיות שבהן אומדן העלויות להתאמת האימוץ הוא נמוך, יש יחסי מינוף גבוהים יותר ב-6 נקודות אחוז והן משלמות ריביות נמוכות ב-3 נקודות אחוז מאשר חברות המשתייכות לענפים שבהם עלויות התאמת הרבובטים הן גבוהות. לבסוף, מצאנו כי ההשפעות משמעותיות יותר בתת-מדגם של חברות שבהן יש חלק גדול יחסית של כוח עבודה בעל מיומנויות נמוכות, וקל יותר להחליף אותו ברבובטים.

המאמר שלנו שייך לספרות הנרחבת על שוק העבודה ומימון. חלק חשוב בספרות זו בוחן מינוף תפעולי הנגרם על ידי כוח עבודה או "מינוף עבודה". אם ההתאמות לכוח העבודה הן יקרות, למשל בשל נייודות כוח העבודה (כמו ב-Donangelo (2014) או בשל שכר דביק יחסית שאינו נמיש להורדות שכר (כמו ב-Donangelo et al. (2019)), אז ההתחייבויות הקשורות לכוח העבודה אינן שונות מההתחייבויות החוב. בעקבות זאת למינוף העבודה יש השלכות על מבנה ההון: הוא דוחק את המינוף הפיננסי (למשל, Favilukis et al. (2015) & Simintzi et al. (2020)), מגדיל החזקות מזומנים (למשל, Ghaly et al. (2017)) ומגביר את סיכון האשראי (למשל, Favilukis et al. (2020)). אנו תורמים לספרות זו בחינה תיאורית ואמפירית של הקשר החיובי בין פריסת רבובטים לבין מינוף פיננסי, המונע באמצעות היכולת של רבובטים תעשייתיים לנדר את אי הוודאות הכרוכה בעלויות השכר, כלומר להפחית את מינוף העבודה.

חלק נוסף בספרות העבודה והמימון מנתח תמחור נכסים והשלכות של האפשרות להחליף כוח עבודה במכונות על מימון חברות. במודל של Zhang (2019), לחברות המעסיקות כוח אדם יש אפשרות תחלופה כזו, והיא מגדרת את הערך שלהן מפני אירועים שליליים ומפחיתה את התשואות הצפויות של החברות. השפעה זו משמעותית יותר בחברות שבהן היחס בין כוח העבודה להון הוא גדול יותר ואפשרות התחלופה של כוח עבודה ברבובטים היא רווחית יותר. Bates et al. (2021) and Qiu et al. (2020) מראים אמפירית שהיכולת של חברות להחליף כוח עבודה בהון אוטומטי מפחיתה את מינוף העבודה שלהן, ומובילה אותן לאמץ מדיניות פיננסית מסוכנת. לחברות שיכולות להחליף בקלות יחסית כוח עבודה ברבובטים יש החזקות מזומנים נמוכות יותר ומינוף גבוה יותר, והן משלמות דיבידנדים גדולים יותר. הבדל מכריע בין המחקר שלנו מצד אחד לבין Bates et al. (2020) and Qiu et al. (2021) מצד שני, הוא שאנו מתמקדים בהשפעות של מימוש פריסת רבובטים ברמת החברה על מבנה ההון ועל שיעורי

נמוכות ב-2.6–3 נקודות אחוז בממוצע מאשר חברות שאינן עושות זאת, כשיתר התנאים שווים. תוספת של סטיית תקן אחת במדדים הרציפים של פריסת רובוטים מפחיתה 0.21–0.34 סטיות תקן, או 1–2 נקודות אחוז משיעור הריבית הממוצע.

3.2 מבחני זיהוי

ייתכן שהתזמון של פריסת הרובוט הוא אנדוגני. למשל, חברה עשויה להחליט להחליף את כוח העבודה שלה ברובוטים תעשייתיים או לרכוש רובוטים נוספים, כאשר היא צופה הפחתה בעלויות המימון של רכישת הרובוטים. הכללה של השפעות קבועות של חברות ובחינה של מדגם מוגבל של חברות המשתמשות ברובוטים אינן פותרות את בעיית הסיביות ההפוכה הפוטנציאלית הקיימת בממצאים הבסיסיים שלנו. כדי להתמודד עם כך, אנו משתמשים הן בנייתוחי הבדל בהפרשים המבוססים על תנודות אקסוגניות סבירות של מדיניות מחוז-תעשייה והן על רגרסיות של משתנים אינסטרומנטליים המבוססים על מגמות גלובליות של אוטומציה תעשייתית.

3.2.1 ניתוחי הבדל בהפרשים

בעקבות האימוץ הכלל-ארצי ב-2015 של האסטרטגיה הידידותית לרובוטים "תוצרת סין 2025", הציגו מספר מחוזות סיניים מדיניות התומכת בפריסה של ייצור חכם בתעשיות שנבחרו על סמך היתרונות התחרותיים של המחוזות.

המדיניות הטיפוסית לתמיכה בפריסת רובוטים מתמקדת בהעדפות במיסוי ובסובסידיות חד-פעמיות. לבסוף, הוצגה מדיניות חדשה התומכת בייצור מקומי של רובוטים. לסיכום, למדיניות הייצור החכמה בשנים 2015–2017 היו שתי מטרות. האחת היא להויל ליצרנים את עלויות אימוץ הרובוטים באמצעות צעדים פסקאליים. השנייה היא ניסיון לשפר את הנגישות ואת האיכות של אספקת הרובוטים המקומית, וכך להויל עוד יותר את עלויות פריסת הרובוטים באמצעות חברות ייצור הפועלות בתעשיות מסוימות בכל מחוז.

במבחן הזיהוי הראשון שלנו אנו משתמשים ברגרסיות הבדל בהפרשים (difference-in-differences regression) כדי להעריך את ההשפעות של מימוש מדיניות פריסת הרובוטים על הלוואות ארגוניות. בפרט, החברות המטופלות מוגדרות כחברות בתעשיות-מחוז שהשתמשו ברובוטים ב-2016 או ב-2017, אך לא השתמשו ברובוטים ב-2015. כלומר, חברות

השונות של פריסת הרובוטים בתעשייה היא גדולה. למשל, בתעשיות הביגוד והעור יש פריסה מעטה של רובוטים תעשייתיים, ואילו בתעשיית הרכב יותר משליש מהחברות מעסיקות רובוטים. לא פחות חשוב מכך, בשל מדיניות הטרונגנית ברמת המחוז-תעשייה, השונות בתוך התעשייה של פריסת הרובוטים בין המחוזות היא משמעותית. בתעשיית הרכב למשל, שיעור החברות המשתמשות ברובוטים בגיאנגסו גבוה בהרבה משיעורן בארבעת המחוזות האחרים (69% לעומת 27%-36%).

פריסת הרובוטים נפוצה במדגם שלנו: 13% מהחברות בתצפיות השנתיות משתמשות ברובוטים תעשייתיים. היחס הממוצע של ערך הרובוטים בספרים לערך הנכסים הפיזיים בספרים (PP&E) הוא 0.9% בממוצע, אך יחס זה גדל ל-6% בקרב חברות הפורסות רובוטים. חברה ממוצעת משתמשת ברובוטים בשווי 1,800 יואן לעובד (\$280), ויחס זה גדל ל-12,500 יואן לעובד בקרב חברות המאמצות רובוטים בייצור (\$2,000).

3. ניתוח אמפירי

3.1 בדיקה בסיסית

כדי לבחון את היחסים בין אימוץ רובוטים לבין מימון חברות, אנו מתחילים באומדן רגרסיות קבוצתיות (pooled regressions). לאחר מכן אנו מפעילים שני מבחני זיהוי לבחינת טענות של סיביות. כל המקדמים של מדדי פריסת רובוטים הם חיוביים ומובהקים סטטיסטית ברמה של 5% (וברמה של 1% עבור שני המדדים הרציפים). גם סדר הגודל הכלכלי הוא משמעותי. לחברות המשתמשות ברובוטים יש יחס מינוף גבוה בכ-8 נקודות אחוז בממוצע מאלו שלא. עלייה בסטיית תקן אחת בממד פריסת רובוטים מעלה את יחס המינוף ב-0.24–0.39 סטיות תקן, כלומר, עלייה של 6–10 נקודות אחוז. נצפה מינוף גבוה יותר של חברות המשתמשות ברובוטים, אם כי חלק מעידוד מדיניות הרובוטים הוא בצורת שיעורי מס נמוכים יותר, שעל פי תיאוריית התחליפיות מונע מימון חובות.

אנו ממשיכים בבחינת הקשר בין פריסת רובוטים לשיעורי הריבית. כל המקדמים של מדדי פריסת רובוטים הם שליליים ומובהקים סטטיסטית לפחות ברמה של 10%. גם ההשפעה הכלכלית של פריסת רובוטים על שיעורי הריבית היא משמעותית. חברות שמאמצות רובוטים משלמות ריביות

אומדני רגרסיות הבסיס. עלייה של סטיית תקן אחת בעוצמת פריסת הרובוטים מביאה לעלייה של 0.07 סטיות תקן ביחס המינוף והפחתה של 0.07–0.08 סטיות תקן בשיעור הריבית.

התוצאות באופן כללי, הן של ניתוח ההבדל בהפרשים והן של ניתוח המשתנים האינסטרומנטליים, מצביעות על כך שהקשר בין אימוץ רובוטים מצד אחד לבין מינוף ושיעורי ריבית מצד שני הוא סיבתי. עם זאת, עדיין לא הגדרנו את המנגנון המסביר קשר זה. בסעיף הבא אנו בונים מודל המבוסס על הרעיון שרובוטים מספקים גידור לסיכון בעלויות עבודה. בהמשך אנו עורכים תחזיות אמפיריות ייחודיות למנגנון זה ובודקים את הנתונים.

4. אימוץ רובוטים ומימון חברות – מודל

4.1 מנגנון בסיס

כדי להציע מנגנון המסביר את ההשפעות של אימוץ רובוטים על מינוף ועל שיעורי ריבית כפי שנמצא בפרק קודם, אנו מפתחים מודל שבו החברה בוחרת בו-בזמן את התשומות לפונקציית הייצור שלה – מכונות שאינן רובוטיות, רובוטים תעשייתיים וכוח עבודה – ובנוסף את מבנה ההון שלה. חשוב לציין כי המודל מתייחס לכוח העבודה ולרובוטים כתחליפיים בייצור (למשל, Berg et al. (2018)). הדבר מוביל לכך שהרובוטים מהווים גידור חלקי של אי-ודאות במחיר העבודה. כאשר יש עלויות של לחץ פיננסי, לגידור כזה יש השלכות על מימון שיווי המשקל של הפירמה – הן תמהיל החוב וההון האופטימלי שלה והן שיעור הריבית שגובים המלווים של הפירמה.

כדי לספק נתונים סטטיסטיים השוואתיים לאימות אמפירי של המנגנון המוצע, אנו בוחנים את ההשפעות של הפרמטרים בפונקציית הייצור (התרומה של רובוטים וכוח עבודה לייצור, התחליפיות בין רובוטים וכוח עבודה ועלויות התאמת הייצור לרובוטים) על חוזק הקשר בין האומדנים לפריסת רובוטים מצד אחד, ועל מינוף ושיעורי הריבית של החברה מצד שני.

הפיתוח והפתרון של המודל הם מחוץ לתחום של מאמר זה, אך אלו התוצאות העיקריות של המודל:

שסביר להניח שהחלו להשתמש ברובוטים בעקבות שינויי המדיניות. החברות המשמשות בקרה הן חברות הפועלות בתעשיות בקרה-מחוז מטופל או בתעשיות מטופלות-מחוז בקרה, ולא השתמשו ברובוטים בשנים 2015–2017.

התוצאות של ניתוח ההבדל בהפרשים תואמות את תוצאות הבסיס. בפרט נמצא כי עלייה של סטיית תקן אחת במדדים הרציפים של פריסת רובוטים מעלה 0.15–0.25 סטיות תקן ביחס המינוף ומפחיתה 0.11–0.21 סטיות תקן בריבית.

3.2.2 ניתוח משתנים אינסטרומנטליים

אנו משתמשים בניתוח משתנים אינסטרומנטליים כדי להפחית עוד את חשש האנדוגניות וכדי להערך את ההשפעה הממוצעת של הנטייה לפריסת רובוטים על הלוואות ארגוניות בעקבות Chen et al. (2022). לשם כך, אנו משתמשים בשני משתנים אינסטרומנטליים המודדים את הנטייה האקסוגנית של התעשייה לאימוץ רובוטים: פריסת רובוטים בתעשייה האמריקאית, והיעד לפריסה במדיניות של סין.

בעקבות Wang & Acemoglu & Restrepo (2020) ו-Dong (2020), מאחר שארה"ב מקדימה את סין באוטומציה תעשייתית, אנו מכשירים מדד לפריסת רובוטים של חברה עם פריסת רובוטים של התעשייה האמריקאית, המציינת מדד דומה של התעשייה המקבילה בארה"ב.

משתנה אינסטרומנטלי נוסף הוא יעד המדיניות של סין, המודד את הנטייה של חברה לפרוס רובוטים תעשייתיים המונעת על ידי המדיניות התעשייתית המקומית. משתנה אינסטרומנטלי זה מציין אם החברה ממוקמת באחד ממחוזות התעשייה המטופלים, כלומר המחוזות הצפויים לקבל תמיכה כספית רבה יותר באימוץ רובוטים.

בשלב הראשון של ניתוח המשתנים האינסטרומנטליים אנו אומדים רגרסיה של פריסת הרובוטים על שני המשתנים האינסטרומנטליים. בשלב השני הרגרסיה היא של יחס המינוף או של שיעור הריבית של החברה על הערך החזוי של פריסת הרובוטים מהרגרסיה שערכנו בשלב הראשון. אנו מוצאים שהמקדמים של פריסת הרובוט ברגרסיות יחס המינוף הם חיוביים ומובהקים סטטיסטית, ואילו המקדמים של פריסת הרובוט ברגרסיות הריבית הם שליליים באופן מובהק. הגודל הכלכלי של האומדנים עדיין ניכר, אף שהוא קטן מזה של

תוצאה 1:

- א. יש קשר חיובי בין אימוץ רובוטים של החברה לבין יחס המינוף שלה.
- ב. יש קשר שלילי בין אימוץ רובוטים של החברה לבין הריבית שגובים ממנה המלווים שלה.

ככל שחברה ממונפת יותר ויש לה יותר חוב, כך היא מגדילה את הטבת המס מחד, אך גם את העלות הצפויה של חדלות פירעון. בעוד שבעלי ההון נושאים בעלות של חדלות הפירעון בהתאם לתוצאות בפועל, מחזיקי ההון הפנימיים (בעלי המניות) נושאים בהם מראש באמצעות הערכות להשפעת העלות הצפויה של סיכון האשראי על שיעור הריבית. עלות נמוכה יותר של רובוטים מובילה לפריסת רובוטים בקנה מידה גבוה יותר. רובוטים וכוח עבודה הם תחליפיים באופן חלקי, ולכן התוצר השולי של כוח העבודה פוחת ככל שיש יותר רובוטים, הרמה האופטימלית של כוח עבודה יורדת, וחשיפת החברה לאי-ודאות בעלויות השכר פוחתת. בעקבות זאת, שונות הרווחים בשיווי משקל נמוכה יותר. התוצאה היא ירידה בסבירות של הפירמה לחדלות פירעון, ירידה בעלות הלחץ הפיננסי עבור רמת חוב נתונה, ועלייה במינוף האופטימלי של הפירמה. ישנן שתי השפעות של פריסת רובוטים על עלות החוב: ההשפעה הישירה (השלילית) באמצעות הפחתת שונות הרווח – פריסת רובוטים נרחבת יותר מפחיתה את רגישות החברה לסיכון עלויות השכר ובעקבות זאת את שונות הרווח, והדבר מוביל לעלות צפויה נמוכה יותר ללחצים פיננסיים ולריבית נמוכה יותר שדורשים המלווים בשיווי משקל. ההשפעה העקיפה (החיובית) היא דרך ההשפעה של פריסת רובוטים על המינוף – מינוף גבוה יותר מגדיל את העלות הצפויה של לחץ פיננסי ומגדיל את הפיצוי שדורשים המלווים. ההשפעה הישירה (מסדר ראשון) חזקה יותר מההשפעה העקיפה (מסדר שני), ומביאה לקשר של שיווי משקל שלילי כולל בין פריסת רובוטים של החברה לבין שיעור הריבית שהיא משלמת על החוב שלה.

תוצאה 1 מדגימה את יכולת מנגנון הגידור שאנו מציעים להסביר את היחסים האמפיריים בין אימוץ רובוטים לבין היבטים של מימון חברות. בהמשך סעיף זה אנו בוחנים את ההשפעות של פרמטרים נבחרים של המודל על חוזק הקשר בין (עלות) פריסת הרובוטים מצד אחד לבין המינוף והריבית מצד שני. מטרת הניתוח התיאורטי הנוסף היא ליצור סטטיסטיקה השוואתית ונתונים שאיתם אפשר יהיה לבדוק את תקפות המנגנון המוצע.

4.2 סטטיסטיקה השוואתית נוספות

כעת נעסוק בפרמטרים משתנים של המודל כדי להגיע לתחזיות ממוקדות יותר לגבי הגורמים הקובעים את עוצמת ההשפעה של אימוץ רובוטים על מימון חברות. נתחיל בשינוי של הפרמטר המגדיר את תרומת הרובוט/העבודה לפונקציית הייצור של החברה, ונמשיך בשינוי פרמטר התחליפיות בין העבודה לרובוטים והפרמטר של עלות אימוץ הרובוטים. אנו מקבלים את התוצאות הבאות:

תוצאה 2:

- א. הקשר השלילי בין עלות פריסת הרובוטים לבין יחס המינוף של החברה בשיווי משקל חזק יותר כאשר תרומת הרובוט/העבודה לייצור גבוהה יותר.
- ב. הקשר החיובי בין עלות פריסת הרובוטים לבין שיעור הריבית שגובים המלווים של החברה חזק יותר כאשר תרומת הרובוט/העבודה לייצור גבוהה יותר.

תוצאה 3:

- א. הקשר השלילי בין עלות פריסת הרובוטים לבין יחס המינוף של החברה בשיווי משקל חזק יותר כאשר תחליפיות רובוטים-עבודה גבוהה יותר.
- ב. הקשר החיובי בין עלות פריסת הרובוטים לבין שיעור הריבית שגובים המלווים של החברה חזק יותר כאשר תחליפיות רובוטים-עבודה גבוהה יותר.

תוצאה 4:

- א. הקשר השלילי בין עלות פריסת הרובוטים לבין יחס המינוף של החברה בשיווי משקל חזק יותר כאשר עלות ההתאמה של פריסת הרובוטים נמוכה יותר.
- ב. הקשר החיובי בין עלות פריסת הרובוטים לבין הריבית שגובים המלווים של החברה חזק יותר כאשר עלות ההתאמה של פריסת הרובוטים נמוכה יותר.

5. אימוץ רובוטים ומימון חברות: בדיקת המנגנון המוצע

המנגנון שאנו מציעים לקשר שבין יחסי מינוף ושיעורי ריבית מצד אחד לבין פריסת רובוטים מצד שני – מסתמך על רובוטים המספקים גידור מפני תנודות בעלויות השכר. כדי להעריך

אמפירית את המנגנון הפוטנציאלי, אנו בוחנים אם הקשר בין הרווחיות התפעולית של החברה לבין שכר העבודה חלש יותר עבור חברות המאמצות רובוטים. לאחר מכן אנו בוחנים אם התחזיות הנוספות הנובעות מליבת המנגנון של מודל זה תואמות את הנתונים.

5.1 רגישות הרווחים לעלויות השכר בהתניה של פריסת רובוטים

תחילה אנו מעריכים את גמישות הרווחיות התפעולית של החברה ביחס לעלויות השכר באמצעות רגרסיה (לוג של אחד פלוס) של יחס הרווחים התפעוליים על (לוג של אחד פלוס) שכר העבודה. נוסף על כך, אנו מעריכים אם גמישות הרווחיות התפעולית של החברה ביחס לשכר העבודה עולה או יורדת בתנאי של פריסת רובוטים – זאת באמצעות האינטראקציה בין שכר העבודה למדד פריסת הרובוטים. את שכר העבודה אנו מודדים ברמת המחוז, מכיוון שבניגוד לשכר ברמת הפירמה, שכר העבודה ברמת המחוז לא אמור להיות מושפע מהרווחיות התפעולית של חברה נתונה או מפריסת רובוטים, וכך פוחת החשש לסיביות הפוכה.

הממצאים מראים כי עבור חברות שאינן מאמצות רובוטים, הקשר בין שכר העבודה לרווחיות התפעולית הוא שלילי מובהק: עלייה של 1% בשכר העבודה מביאה לירידה של 0.07%-0.08% ברווחיות התפעולית. לעומת זאת, עבור חברות המאמצות רובוטים, לעלויות השכר יש השפעה זניחה על הרווחיות התפעולית, כפי שנראה משילוב של המקדמים על שכר העבודה והאינטראקציה שלהם עם משתנה הדמי של פריסת רובוטים. תוצאות דומות מתקבלות בפאנלים B ו-C: בעוד שלעלויות השכר יש השפעה שלילית מובהקת על הרווחיות התפעולית בחברות שאינן מאמצות רובוטים, ההשפעה היא קטנה יותר עבור חברות המאמצות רובוטים. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם רובוטים המשמשים נידור מפני תנודות בשכר העבודה.

5.2 גורמים הקובעים את עוצמת ההשפעות של פריסת רובוטים על מימון חברות

מתוצאות 2-4 של המודל אנו למדים על שלושה גורמים המשפיעים על חוזק הקשר בין פריסת רובוטים לבין יחסי

המינוף של החברות ושיעורי הריבית שהן משלמות. הגורמים הם: תרומת כוח העבודה, תחליפיות רובוטים-עבודה ועלויות ההתאמה לפריסת רובוטים. תרומת כוח העבודה ותחליפיות רובוטים-עבודה מגדילות את ההשפעה של פריסת רובוטים על המינוף ועל שיעורי הריבית, בעוד שעלויות ההתאמה לפריסת רובוטים מפחיתות את ההשפעות האפשריות של פריסת הרובוטים. בתת סעיף זה אנו בוחנים השפעות אלו באופן אמפירי. מטרת הבדיקות היא להמשיך ולבחון את מנגנון הנידור המוצע, שלפיו פריסת הרובוטים משפיעה על מימון חברות. אנו מתחילים באומדן הפרמטרים של תרומת כוח העבודה, תחליפיות רובוטים-עבודה ועלויות התאמה.

ראשית, אנו בוחנים את הקשר בין מינוף לבין כל אחד משלושת מדדי פריסת הרובוטים עבור תת-דגימות של חברות המוערכות בתרומת כוח עבודה גבוהה (מעל החציון) ונמוכה (מתחת לחציון). התוצאות תואמות את התפיסה של פריסת רובוטים יש השפעה גדולה יותר בהפחתת השונות של תזרים המזומנים, עקב תנודות בעלויות השכר בחברות שבהן תרומת כוח העבודה גבוהה יותר. לדוגמה, בתת-המדגם של תרומה גבוהה של כוח העבודה, לחברות הפורסות רובוטים יש מינוף גבוה יותר ב-20 נקודות אחוז בממוצע מאשר לחברות שאינן פורסות רובוטים. בתת-המדגם של תרומה נמוכה של כוח העבודה, הקשר בין פריסת רובוטים למינוף הוא חסר משמעות סטטיסטית וכלכלית או חלש פי 4-5 מזה שבתת-המדגם בעל תרומה גבוהה של כוח העבודה.

גם התוצאות עבור תחליפיות רובוטים-עבודה תואמות את הטיעון של פריסת רובוטים יש השפעה גדולה יותר של הפחתת השונות בתזרים המזומנים לחברות שבהן אפשר להחליף את כוח העבודה בקלות רבה יותר. למשל, לחברות הפורסות רובוטים המוערכות בתחליפיות גבוהה יותר בין רובוטים לעבודה, יש יחסי מינוף גבוהים יותר ב-19 נקודות אחוז בממוצע מאשר חברות שאינן משתמשות ברובוטים. היחס הזה חסר בתת-המדגם שבו התחליפיות נמוכה בעת שימוש במדד שאינו רציף לפריסת רובוטים, והוא חלש פי 6-7 מאשר בתת-המדגם בעל התחליפיות הגבוהה כאשר נעשה שימוש במדדים רציפים של פריסת רובוטים.

לבסוף, אנו מחלקים את החברות על סמך הפרמטר המשוער שלהן לעלות ההתאמה לרובוטים – לשתי קבוצות של עלויות התאמה – גבוהות ונמוכות. בהתאם לכך שהרובוטים בעלי יעילות גבוהה יותר כאשר התקנתם עולה פחות, לפריסת רובוטים יש

לשם כך אנו משתמשים בנתוני פאנל ייחודיים ברמת החברה על פריסת רובוטים בחמישה מחוזות בסין במגוון תעשיות. אנו מוצאים שאימוץ רובוטים קשור לסיכון אשראי נמוך ולמינוף גבוה יותר. ניתוח הבדל בהפרשים ורגרסיות משתנים אינסטרומנטליים מצביעים על כך שיחסים אלו הם סיבתיים.

אנו משערים שהתחליפיות בין רובוטים וכוח עבודה בייצור מניעים את היחסים האלו, מה שגורם לרובוטים לשמש כנידור מפני תנודות בשכר העבודה. כדי לבדוק את ההסבר המוצע הזה, אנו בונים מודל בעל מנגנון גידור כזה, ומגיעים להשפעות נוספות שאפשר לבדוק. בפרט, היחסים בין אימוץ רובוטים מצד אחד לבין יחס מינוף ועלות החוב מצד שני, נמצאו כחזקים יותר עבור חברות בעלות כוח עבודה גבוה בייצור, תחליפיות גבוהה בין רובוטים לכוח עבודה ועלויות נמוכות של התאמה לרובוטים. ממצאים אמפיריים נוספים עולים בקנה אחד עם ההשלכות הממוקדות יותר של המודל. אנו מפרשים את כל הממצאים כתומכים במנגנון שאנו מציעים, שכן תיאוריות חלופיות בספרות של עבודה ומימון אינן יוצרות תחזיות אמפיריות דומות.

לממצאים שלנו יש השלכות רגולטוריות. היתרונות של תמיכה (יקרה) באימוץ רובוטים עשויים להיות שונים בין התעשיות. הניתוח שלנו מצביע על כך שהתעשיות בעלות הסבירות הגבוהה ביותר להפיק תועלת ממדיניות ידידותית לרובוטים – הן אלו בעלות תרומה גבוהה של כוח העבודה ותחליפיות רובוטים-עבודה, כמו גם אלו שמעסיקות עובדים בעלי מיומנויות נמוכות באופן מובהק. נראה כי חלק מהמדיניות של מחוז-תעשייה שאומצה במסגרת אסטרטגיית "תוצרת סין 2025" תואמת במידה רבה את הרעיונות האלו: רובוטים תעשייתיים אומצו לרוב בתעשיות מרכזיות, כולל כלי רכב, חומרי בניין וציוד מיוחד, שבהן יש תרומה גבוהה ביותר של כוח העבודה ו/או פרמטרים של תחליפיות רובוטים-כוח עבודה.

פרופ' יבגני ליאנדרס | lyandres@tauex.tau.ac.il

קשר מובהק מבחינה כלכלית וסטטיסטית למינוף רק בקבוצת עלויות ההתאמה הנמוכות, ואילו בתת-המדגם של חברות בעלות עלויות גבוהות להתאמת רובוטים – לא קיים קשר כזה.

כעת אנו חוזרים על אותו ניתוח, תוך שימוש בשיעורי הריבית שחברות משלמות על החוב שלהן כמשתנה התלוי. הקשר בין שיעורי הריבית לפריסת הרובוטים נמצא שלילי ומובהק בתת-המדגם של חברות בעלות תרומה גבוהה של העבודה. בתת-המדגם של תרומת עבודה גבוהה, חברות שפורסות רובוטים משלמות ריבית נמוכה יותר ב-5 נקודות אחוז בממוצע, בעוד שבתת-המדגם של תרומת עבודה נמוכה לא נמצא קשר מובהק של שולי הרווח הנרחבים והאינטנסיביים של פריסת הרובוטים עם שיעור הריבית.

בדומה לכך, הקשר בין פריסת רובוטים לבין שיעורי הריבית הוא מובהק מבחינה כלכלית וסטטיסטית בתת-המדגם של חברות בעלות פרמטר גבוה של תחליפיות רובוטים-כוח עבודה. בתת-המדגם של תחליפיות גבוהה – חברות הפורסות רובוטים משלמות ריבית נמוכה ב-4.6 נקודות אחוז בממוצע בהשוואה לחברות שאינן פורסות רובוטים. בתת-המדגם של תחליפיות נמוכה, הקשר בין פריסת רובוטים לשיעורי הריבית אינו מובהק עבור כל שלושת המדדים של פריסת רובוטים.

לבסוף, הקשר בין פריסת רובוטים לשיעורי הריבית הוא שלילי ומובהק עבור חברות עם עלויות נמוכות יחסית להתאמת רובוטים – חברות המאמצות רובוטים משלמות ריבית נמוכה ב-3 נקודות אחוז בממוצע מאלו שאינן מאמצות. קשר זה אינו מובהק בתת-המדגם של החברות בעלות עלויות גבוהות להתאמה לרובוטים.

באופן כללי, התוצאות מצביעות על כך שלגורמים המשפיעים על חשיבות הרובוטים בנידור מפני תנודות בשכר העבודה – תרומת כוח העבודה, תחליפיות רובוטים-כוח עבודה ועלויות התאמה לרובוטים – יש השפעות משמעותיות על היחס בין שולי הרווח הנרחבים והאינטנסיביים של פריסת רובוטים מצד אחד, והכמות ומחיר החוב של החברות מצד שני.

6. סיכום ומסקנות

בעבודה זאת התחלנו בתיעוד אמפירי של השפעות אימוץ רובוטים תעשייתיים על הכמות ועל המחיר של מימון חברות.

- Acemoglu D., & Restrepo P. (2020). "Robots and jobs: Evidence from US labor markets." *Journal of Political Economy*, 128(6): 2188–2244.
- Autor David., & Salomons A. (2018). "Is automation labor-displacing? Productivity growth, employment, and the labor share." *Massachusetts University of Technology Working Paper*.
- Bates T., Du F., & Wang J. (2021). "Workplace automation and corporate financial policy." *Arizona State University Working Paper*.
- Berg A., Buffie E., & Zanna LP. (2018). "Should we fear the robot revolution?(The correct answer is yes)." *Journal of Monetary Economics*, 97: 117–148.
- Bloom N., & Van Reenen J. (2007). "Measuring and explaining management practices across firms and countries." *Quarterly Journal of Economics*, 122(4): 1351–1408.
- Bloom N., Brynjolfsson E., Foster L., Jarmin R., Patnaik M., Saporta-Eksten I., & Van Reenen J., (2019). "What drives differences in management practices?" *American Economic Review*, 109(5): 1648–83.
- Bloom N., Cheng H., Duggan M., Hongbin L., & Qian F. (2018). "Do CEOs know best? Evidence from China." *Stanford University Working Paper*.
- Brynjolfsson E., & McAfee A. (2014). "The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies." *Economics Letters*, 159: 157–160.
- Chen D., Ma Y., Martin X., & Michaely R. (2022). "On the fast track: Information acquisition costs and information production." *Journal of Financial Economics*, 143(2): 794–823.
- Cheng H., Fan H., Hoshi T., & Hu D. (2019a). "Do innovation subsidies make Chinese firms more innovative? Evidence from the China Employer Employee Survey." *Stanford University Working Paper*.
- Cheng H., Jia R., Li D., & Li H. (2019b). "The rise of robots in China." *Journal of Economic Perspectives*, 33(2): 71–88.
- Dauth W., Findeisen S., Suedekum J., & Woessner N. (2019). "Adjusting to robots: Worker-level evidence." *University of Mannheim Working Paper*.
- Donangelo, A. (2014). "Labor mobility: Implications for asset pricing." *Journal of Finance*, 69(3): 1321–1346.
- Donangelo A., Gourio F., Kerrig M., & Palacios M. (2019). "The cross-section of labor leverage and equity returns." *Journal of Financial Economics*, 132(2): 497–518.
- Duffy J., Papageorgiou C., & Perez-Sebastian F., (2004). "Capital-skill complementarity? Evidence from a panel of countries." *Review of Economics and Statistics*, 86(1): 327–344.
- Fallon P., & Layard R., (1975). "Capital-skill complementarity, income distribution, and output accounting." *Journal of Political Economy*, 83(2): 279–302.

- Favilukis, J., Lin X., & Zhao X. (2020). "The elephant in the room: the impact of labor obligations on credit markets." *American Economic Review*, 110(6): 1673–1712.
- Frey C., & Osborne M., (2017). "The future of employment: How susceptible are jobs to computerization?" *Technological Forecasting and Social Change*, 114: 254–280.
- Ghaly M., Dang VA., & Stathopoulos K. (2017). "Cash holdings and labor heterogeneity: The role of skilled labor." *Review of Financial Studies*, 30(10): 3636–3668.
- Graetz G., & Michaels G. (2018). "Robots at Work." *Review of Economics and Statistics*, 100(5): 753–768.
- Griliches Z., (1969). "Capital-skill complementarity." *Review of Economics and Statistics*, 51(4): 465–468.
- Guerreiro J., Rebelo S., & Teles P. (2022). "Should robots be taxed?" *Review of Economic Studies*, 89(1): 279–311.
- Leduc S, & Liu Z. (2020). "Can pandemic-induced job uncertainty stimulate automation?" *Federal Reserve Bank of San Francisco*.
- Li H., Ma Y., Meng L., Qiao X., & Shi X. (2017). "Skill complementarities and returns to higher education: Evidence from college enrollment expansion in China." *China Economic Review*, 46: 10–26.
- Qiu J., Wan C., & Wang Y. (2021). "Labor-capital substitution and capital structure: Evidence from automation." *McMaster University Working Paper*.
- Simintzi E, Vig V., & Volpin P. (2015). "Labor protection and leverage." *Review of Financial Studies*, 28(2): 561–591.
- Wang Y., & Dong W. (2020). "How the rise of robots has affected China's labor market: Evidence from China's listed manufacturing firms (translated)." *Economic Research Journal*, (10): 159–175.
- Zhang MB. (2019). "Labor-technology substitution: Implications for asset pricing." *Journal of Finance*, 74(4): 1793–1839.