

Department of
Mathematics



היחידה
למתמטיקה

פרויקט מסכם לתואר בוגר במדעים (B.Sc) במתמטיקה שימושית

השפעת טכנולוגיית התקשורת והמידע על הצמיחה

הדר דמרי

**Information and communication technology's
impact on economic growth**

Hadar Demri

**פרויקט מסכם לתואר בוגר במדעים (B.Sc)
במתמטיקה שימושית**

השפעת טכנולוגיית התקשורת והמידע על הצמיחה

הדר דמרי

**Information and communication technology's
impact on economic growth**

Hadar Demri

Advisor:
Mr. Levi Nir

מנחה:
מר לוי ניר

Karmiel

2013

כרמיאל

תקציר

תעשיית טכנולוגיית התקשורת והמידע – ICT תפסה תאוצה רבה בעולם בשני העשורים האחרונים, דבר המתאפיין בתשואות גבוהות במדינות ה-OECD¹ כתוצאה מהשקעה בטכנולוגיה זו. במדינות אלה, כל יחידת השקעה בטכנולוגיית התקשורת והמידע מניבה תוספת צמיחה גבוהה יותר מאשר השקעה דומה בטכנולוגיה מסורתית. לכן, על מנת להביא לצמיחה כלכלית, נדרש להשקיע יותר בטכנולוגיית המידע והתקשורת החדשה.

עבודה זו עוסקת ב-19 מדינות החברות בארגון ה-OECD, במהלך השנים 1996-2007, כאשר אמדנו את תרומת ההשקעה בטכנולוגיית התקשורת והמידע – ICT על הצמיחה בתוצר. שיעור הצמיחה בתוצר מהווה מדד לרמת החיים במדינה, דבר המאפשר לנו לבצע השוואה בין המדינות השונות.

בחינת תרומת ההשקעה נעשתה תוך התגברות על בעיית ההטרוגניות בין המדינות, באמצעות שימוש עיקרי בשני מודלים אקונומטריים: Two-way Fixed Effects ו-Two-way Random Effects.

על מנת להסביר את הצמיחה בתוצר, בשלב ראשון, מחקר זה משתמש במשתנים: השקעה בטכנולוגיית המידע והתקשורת והשקעה בהון פיזי שאינו קשור ל-ICT. משתנים אלה מהווים את גורמי הייצור. בשלב שני, הוספנו משתנה נוסף לגורמי הייצור: נגישות לאינטרנט, מתוך מחשבה שככל שרמת הנגישות לאינטרנט במדינה גבוהה יותר, כך רמת החיים גבוהה יותר, דבר המתבטא בשיעור הצמיחה בתוצר לעובד במדינה.

¹ ה-OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) הוקם ב-1947, והחל את דרכו כחלק מתכנית מרשל של ארה"ב לשיקום אירופה. כיום חברות בו כ-30 מדינות והוא אחד מהארגונים המחקריים - סטטיסטיים החשובים בעולם, ומפרסם מגוון רחב של נתונים, מאמרים ודו"חות.

5	1. הקדמה.....
7	2. סקירת ספרות.....
9	3. סקירת נתונים.....
9	3.1 מקור הנתונים ומבנה המדגם.....
10	3.2 מאפיינים עיקריים של המדגם.....
14	4. מתודולוגיה.....
14	4.1 הצגת משוואות הרגרסיה.....
15	4.2 רקע לשיטות האמידה.....
19	4.3 שיטות האמידה.....
24	5. תוצאות ומסקנות.....
29	6. סימולציה.....
30	7. סיכום.....
31	8. המלצות למחקרי המשך.....
32	9. ביבליוגרפיה.....
33	נספחים.....

1. הקדמה

העולם עבר מהפכה טכנולוגית בעשורים האחרונים, אשר במהלכה התרחב השימוש בטכנולוגיות התקשורת והמידע (Information Communication Technology, להלן : "ICT") בכל תחומי החיים ובכל ענפי המשק.

ממצאי מחקרים מעידים כי במדינות מפותחות², כ-53% מהצמיחה השנתית בתוצר מקורה מהשקעה בטכנולוגיית התקשורת והמידע (ICT) ואילו רק כ-15% מהצמיחה השנתית ניתן לייחס להשקעות אחרות. למרות התשואה הגדולה שמשיגים כתוצאה מהשקעות ב-ICT, הרי שכלל השקעה זו עומדת רק על כ-5% מכלל ההשקעות במשק. בעוד שבמדינות מתפתחות³ 49% מהצמיחה השנתית בתוצר נובעת מהשקעות אחרות אשר אינן קשורות ל-ICT. התרומה של ה-ICT לא נמצאה מובהקת במדינות אלה (Dewan & Kraemer 2000).

מקובל לבצע הבחנה בספרות בין ההון הפיזי, אשר מייצג טכנולוגיה מסורתית, לבין טכנולוגיה חדשה כפי שהיא מגולמת ב-ICT. במדינות המפותחות, כל יחידת השקעה בטכנולוגיית המידע מניבה תוספת צמיחה גבוהה יותר ביחס להשקעה דומה בטכנולוגיה מסורתית, לכן דווקא כדי להביא לצמיחה במדינות המפותחות, אנו סבורים כי נדרש להשקיע יותר בטכנולוגיית המידע החדשה.

בשל החשיבות הגדולה שיש ל-ICT על ביקושים, ובהתאם לכך על התוצר עצמו, במדינות רבות קיימת נטייה של הרשויות לעודד השקעה בטכנולוגיות אלו באופן מכוון, נטייה זו באה לידי ביטוי במתן מימון ממשלתי נרחב לפרויקטים המקדמים שימוש ופיתוח ב-ICT. ההשקעה ב-ICT יכולה להוביל לצמיחה כלכלית במספר אופנים : כפי שניתן לראות בנספח א', המונח ICT מתייחס לשימושים בטכנולוגיה לשם קליטה, הצגה ושידור של מידע באופן אלקטרוני. על כן, השקעה בענף זה עשויה לתרום ליעילות הייצור - הקטנת עלויות ייצור ושיפור בקרת איכות, הגדלת נתח השוק ובסיס הלקוחות והקטנת עלויות שיווק והפצה.

מטרת המחקר הנוכחי היא לנסות ולהסיק לגבי הקשר בין צמיחה כלכלית להשקעה ב-ICT בכלל המדינות המפותחות וזאת בהתבסס על בדיקה אמפירית על מדגם שיכלול רק חלק ממדינות החברות בארגון ה-OECD.

² מדינות מפותחות מאופיינות באורח חיים מודרני, ברמת חיים גבוהה (ציבורית ופרטית). רב התושבים חיים בערים ועוסקים בשירותים ותעשייה. רמת ההשכלה גבוהה, הרמה הטכנולוגית – מדעית גבוהה, המצב הכלכלי טוב ומרבית התושבים במדינות מפותחות חיים ברווחה.

³ מדינות מתפתחות מאופיינות באורח חיים מסורתי, ברמת חיים נמוכה (ציבורית ופרטית). רב התושבים חיים בכפר ועוסקים בחקלאות מסורתית. רמת ההשכלה נמוכה, הרמה הטכנולוגית – מדעית נמוכה, המצב הכלכלי לא טוב ורבים מהתושבים סובלים מאבטלה, ממצוקת דיור, עוני ומחסור.

האמידה תיעשה באמצעות שני מודלים אקונומטרים :

❖ Two-way Fixed Effects המניח אפקטים קבועים

❖ Two-way Random Effects המניח אפקטים רנדומליים.

מודלים אלה יעשו שימוש בנתוני "פאנל", סדרות נתונים עתיות אשר עוקבות אחר התפתחות התוצר במדינות שונות באירופה ויבחנו את ההשפעה האפשרית שיש להשקעה ב- ICT על קצב הגידול בתוצר עצמו.

השלב הראשון יכלול שחזור של המודל התיאורטי כפי שמופיע במאמרם של Dewan & Kraemer (2000). בשלב השני נוסיף את המשתנה נגישות לאינטרנט, תוך כדי בחינה של התרומה היחסית של השקעה ב- ICT על קצב הגידול בתוצר.

המשך העבודה מסודר באופן הבא: פרק 2 יעסוק בסקירה מתומצתת של ספרות בנושא טכנולוגיית התקשורת והמידע, וההשפעות של השקעה בה על התוצר. בפרק 3 תבוצע סקירה על נתוני המדגם ובפרק 4 אציג את המודלים ואופן האמידה. לבסוף, בפרק 5 יוצג סיכום של תוצאות האמידה והמסקנות. פרק הנספחים מכיל פירוט של הגדרות, טבלת נתוני המדגם ותוכניות ה- MATLAB בהן עשינו שימוש עבור האמידה.

2. סקירת ספרות

טכנולוגיית התקשורת והמידע (ICT) מתייחסת לשימוש בטכנולוגיה ממוחשבת ובתקשורת וזאת לשם אגירה ומיון של מידע. באופן ספציפי הכוונה למערכת מורכבת שיש בה אמצעים הכוללים יכולת לאגור מידע למטרות שונות (למשל באמצעות עזרים פיזיים כמו מחשבים, טלפונים חכמים וכדומה), כמו גם להיות מסוגלים לחפש מידע ספציפי ומאוחר יותר לנהל אותו (למשל באמצעות ניהול מקוון של חשבוניות בנק וכדומה).

כיום השימוש ב- ICT הוא נרחב ביותר ומתפתח במהירות, וחשוב לא פחות, חודר כמעט לכל תחום. בהתאם לכך ניתן לראות מגמה הולכת וגוברת של השקעה ב- ICT בתחומים שונים (Castells, 1996). הגידול הנרחב בתחום זה בא לידי ביטוי למשל גם בעליה משמעותית בפדיון של כלל המוצרים והשירותים אשר נכללים בקטגוריה של ICT ; מ-162 מיליארדי דולרים בשנת 1985, ועד ל- 630 מיליארדי דולרים בשנת 1997, כאשר הצפי שניתן בזמנו עבור שנת 2000 עמד על 937 מיליארדי דולרים. בנוסף, יש לזכור כי הביקושים לכלל שירותי ומוצרי ה-ICT הינם פועל יוצא של התרומה היחסית שלהם לשיפור ביצועים ולייעול תהליכים, הן במגזר העסקי והן במגזר הפרטי (Dewan & Kraemer 2000).

בדומה למהפכות טכנולוגיות משמעותיות מהעבר (כגון : התפשטות השימוש במנוע הקיטור במאה ה- 19 או בחשמל בתחילת המאה ה- 20), יש המאפיינים את ה- ICT בשורה אחת עם ההמצאות הגדולות של ההיסטוריה. לפיכך, מחקרים רבים בעת האחרונה, ניסו לבחון האם השימוש ב- ICT אכן הביא בפועל לשינויים מהותיים בכלכלה, והאם אכן מהפכת המידע הנוכחית עומדת בקו אחד עם המהפכות התעשייתיות הגדולות מהעבר.

זרם אחד של מחקרים ניתח נתונים של ארה"ב ברמת החברה, ומצא עדויות לתשואות חיוביות ומשמעותיות להשקעות ב-ICT. טכנולוגיות מידע משנה את התחרותיות של החברות. החדרתה לחברה מאפשרת ייעול תהליכים, הוזלת מחירים, תורמת לחדשנות ויוצרת יתרון תחרותי לחברה. עם התפתחות הטכנולוגיה, החברות הבינו שהחזר על השקעה ב- ICT הוא לא רק משתלם מבחינה כלכלית אלא גם תורם ליתרון התחרותי של החברה (Dewan & Min 1997, Lichtenberg 1995, Brynjolfsson & Hitt 1996).

היתרון בצורה זו של ניתוח ברמת החברה הוא שהיא מאפשרת מדידה טובה יותר של תרומת ה- ICT למגוון תחומים שלא בטוח היה אפשר למדוד ברמות גבוהות יותר מרמת החברה. עם זאת, תוקפו החיצוני של מחקר זה שנוי במחלוקת והשאלה האם הממצאים שהתקבלו ייחודיים לתאגידים הגדולים בארה"ב, או שניתן להסיק מהם גם לגבי תרומה ברמה העולמית, נותרה בגדר שאלה פתוחה.

זרם אחר של מחקרים בחן נתוני סדרות זמן של השקעה ב-ICT של מדינה אחת כגון : ארה"ב

או סינגפור (Lau & Tokutsu 1992, Oliner & Sichel 1994, Wong 1994, Sichel 1997), במחקרים אלה נמצאו ממצאים מעורבים על תרומת ה-ICT; בחלקם ניכרה תרומה מובהקת ובאחרים לא ניתן היה להצביע על תרומה משמעותית או על תרומה כלל. הבעייתיות בגישה זו היא שסדרה ארוכה של נתונים נדרשת למובהקות סטטיסטית אשר ברוב המקרים לא מתאפשרת עבור טכנולוגיה חדשה יחסית. בנוסף, עלול להיות מתאם בין נתונים שונים של מדינה, דבר שמקשה על קבלת תוצאות מוצקות.

מחקר נוסף שנעשה, התבסס על חתך נתונים של מספר מדינות לאורך זמן – נתוני פאנל (Dewan & Kraemer 2000). כפי שנכתב לעיל⁴, ממצאי מחקר זה מעידים כי במדינות מפותחות ניתן לייחס את מרבית הצמיחה בתוצר בהשקעות מבוססות על ICT, בעוד שאפקט זה כלל לא מתקיים עבור מדינות מתפתחות. תופעה זו מקורה ככל הנראה בעובדה שמדינות מפותחות הן בעלות תשתית מתקדמת אשר יכולה להפיק תועלת מפיתוח טכנולוגיות אלו, וזאת בניגוד למדינות מתפתחות אשר חסרות תשתיות אלו.

בעבודה זו אבחן את התרומה היחסית של השקעה ב-ICT על התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג)⁵ במדינות מפותחות, אשר ידגמו כולן ממדינות ה-OECD, זאת במטרה לחזק תוצאות מחקרים קודמים שמעידות על קשר חיובי בין השניים. במהלך המחקר ננסה להתגבר על בעיית ההטרוגניות של הנתונים ועל מתאם סדרתי בעזרת שיטות אמידה מתאימות שיסקרו בהמשך.

החלק הבא של העבודה יכלול סקירה של נתוני המדגם.

⁴ ראה פרק 1. הקדמה

⁵ תוצר מקומי גולמי (תמ"ג), או באנגלית, GDP (Gross Domestic Product) מייצג הערך הכספי של כל המוצרים הסופיים שנוצרו במשק במשך שנה.

3. סקירת נתונים

3.1 מקור הנתונים ומבנה המדגם

נתוני המדגם בהם עשינו שימוש במחקר זה נלקחו מתוך נתוני ה-OECD בשנים 1996-2007, מתוך מאגר הנתונים "STAN Indicators" והקובץ "OECD commoutlook-2011". נתונים אלה נגישים בצורה חופשית לציבור הרחב.

במדגם נכללו 19 מדינות החברות בארגון ה-OECD. להלן רשימת המדינות: אוסטרליה, אוסטריה, בלגיה, קנדה, דנמרק, פינלנד, צרפת, גרמניה, אירלנד, איטליה, יפן, הולנד, ניו-זילנד, פורטוגל, ספרד, שוודיה, שווייץ, אנגליה וארה"ב.

מדובר על מדגם חלקי של כלל המדינות המשתייכות לארגון ה-OECD, וזאת עקב מחסור בנתונים הרלוונטיים עבור שאר המדינות - אם חסרו נתונים לגבי מדינה מסויימת באחת מן השנים, הוצאתי מדינה זו מן המדגם הסופי. תקופת הזמן נבחרה גם כן מאותם השיקולים - נלקחו השנים עבורן הנתונים היו המלאים ביותר.

צורת דגימה זו נקראת "פאנל" - נתוני פאנל מכילים תצפיות רבות שנדגמו במספר תקופות זמן. כלומר, כל מדינה נצפתה בכמה נקודות זמן=שנים. נתוני פאנל מאפשרים לחוקרים לענות על שאלות שלא ניתן לחקור על ידי שימוש בסדרות רוחב או סדרות עיתיות בלבד.

הנתונים, מתוך מאגר המידע, בהם נעשה שימוש בעבודה זו: מספר עובדים המועסקים במדינה, סך השקעות בטכנולוגיית התקשורת והמידע-ICT, סך השקעות תשתית אחרות (שאינן לצורך ICT), מספר כולל של דרכי גישה לאינטרנט, תמ"ג כולל ושווי כח קניה של מטבע⁶.

בכדי להשוות בין תמ"ג והשקעות של מדינות שונות בצורה מדוייקת, חילקנו תמ"ג והשקעות של כל מדינה, שניתנו במונחי המטבע המקומי, בשווי כח הקניה של המטבע במדינה. בצורה

⁶ שווי כח הקניה של מטבע, או באנגלית, Purchasing Power Parity (PPP), הינו מדד אלטרנטיבי למדד של שער החליפין של המטבע. שווי כוח הקניה מאפשר השוואה מדוייקת יותר בין מטבעות ולכן משמש בהשוואות בינלאומיות הנערכות בעת מדידת תוצר, צמיחה וכדומה. יחידת המטבע המקובלת בעולם שבה נמדד מחיר המחושב לפי שווי כוח הקניה - נקראת: "דולר בינלאומי". ערכו של הדולר הבינלאומי מוגדר בשוק המקומי בתור כמות יחידות המטבע המקומי המשולמות בשוק המקומי עבור "סל מוצרים" בינלאומי שעבורו משולם בשוק האמריקני דולר אמריקני אחד. שווי של הדולר הבינלאומי בשוק האמריקני - זהה תמיד לדולר האמריקני.

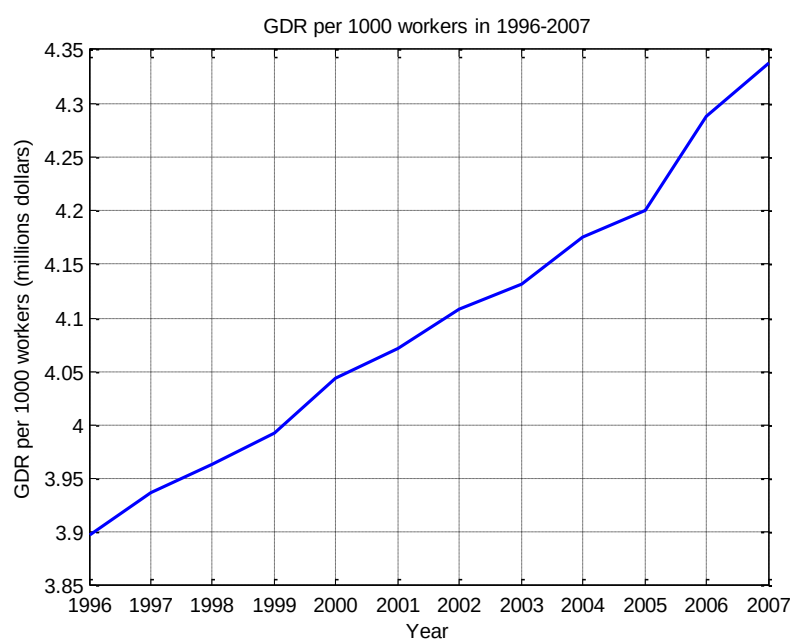
זו קיבלנו עבור כל מדינה תמ"ג והשקעות במונחי "דולר בינלאומי". כמו כן, במחקר זה בחרנו לקחת את התמ"ג פר 1000 עובדים, וזאת מכיוון שנתונים ממוצעים עשויים לתת תמונה מדויקת יותר לגבי כושר הפיריון של העובדים.

3.2 מאפיינים עיקריים של המדגם

טבלה 1: סטטיסטיקה תיאורית

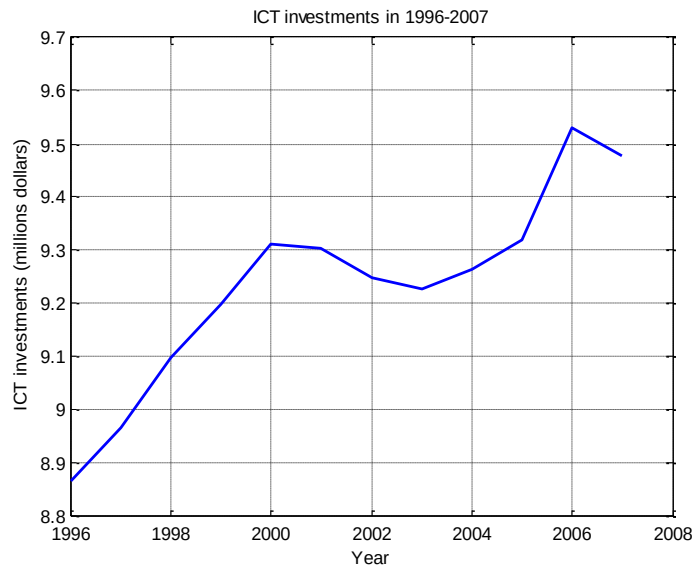
משתנה	ממוצע (סטיית תקן)	
תמ"ג ל-1000 עובדים (מליוני דולרים)	4.08	(0.18)
השקעות במידע ותקשורת (מליוני דולרים)	9.22	(1.73)
השקעות תשתית אחרות (מליוני דולרים)	10.75	(1.59)
נגישות לאינטרנט (אלפים)	10.04	(1.28)

גרף 1: תמ"ג ל-1000 עובדים בין השנים 1996-2007



מגרף זה ניתן ללמוד כי התמ"ג ל-1000 עובדים, במדינות המדגם שלנו (מדינות ה-OECD), היה במגמת עלייה מתמדת בין השנים 1996-2007.

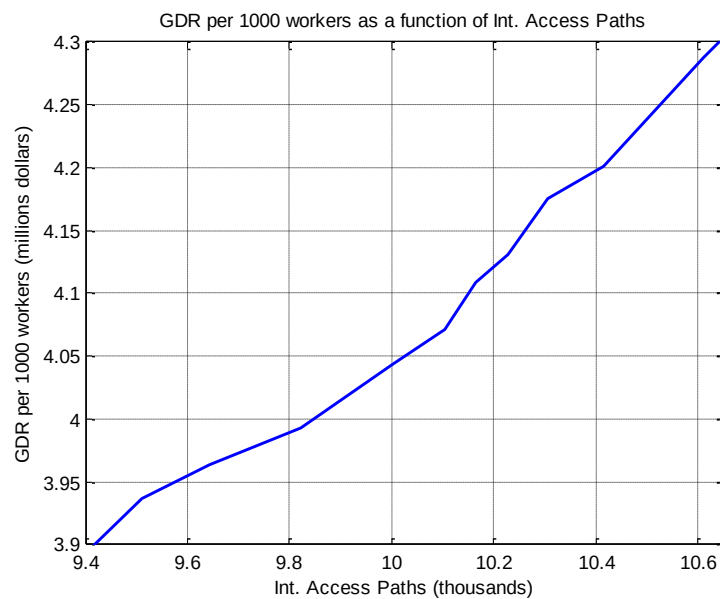
גרף 2: השקעות ב-ICT בין השנים 1996-2007



מגרף זה ניתן ללמוד כי השקעות ב-ICT, במדינות המדגם שלנו (מדינות ה-OECD), היו במגמת עלייה בין השנים 1996-2000 ו-2003-2005. בין השנים 2000-2003 וכן 2006-2007 אנו עדים למגמת ירידה בהשקעות ב-ICT. הסבר אפשרי למצב זה של ירידה בהשקעות כל מספר שנים, הינו שלאנשים לוקח זמן להשקיע בטכנולוגיה חדשה. מרביתנו נבחר להשקיע בטכנולוגיה חדשה רק לאחר שניווכח שהיא אכן מוצלחת.

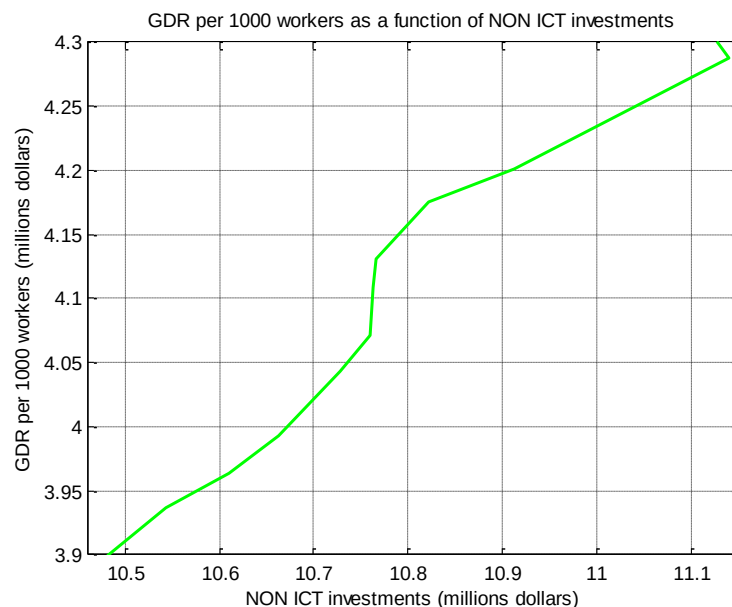
גרפים 3-5: השתנות התמ"ג ל-1000 עובדים כפונקציה של המשתנים המסבירים

גרף 3: הגרף הבא מציג את השתנות התמ"ג ל-1000 עובדים, בין השנים 1996-2007, כפונקציה של הגישה לאינטרנט:



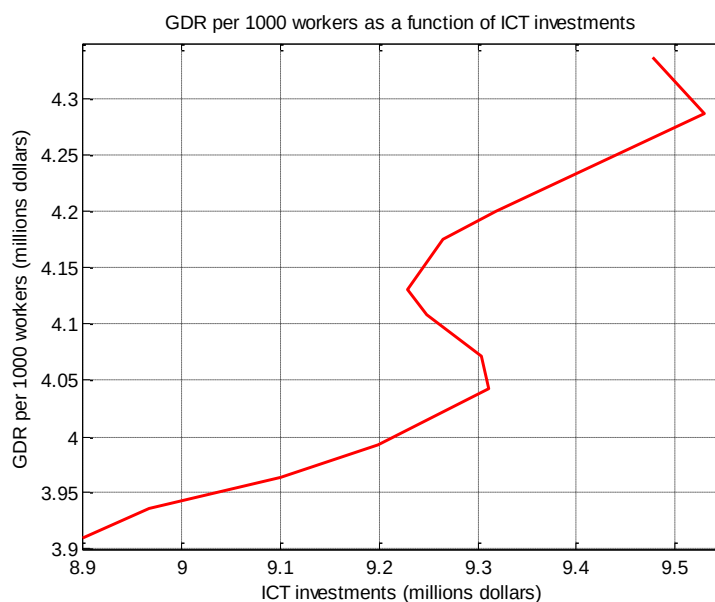
מגרף זה ניתן ללמוד כי ככל שדרכי הגישה לאינטרנט עולות, עולה גם התמ"ג. בין שני משתנים אלה קיים קשר לינארי כמעט.

גרף 4: הגרף הבא מציג את השתנות התמ"ג ל-1000 עובדים, בין השנים 1996-2007, כפונקציה של השקעות בהון פיזי שאינו ICT:



מגרף זה גם כן ניתן ללמוד על קשר חיובי בין השקעות בהון פיזי לתמ"ג. בשנת 2000 נראית קפיצה משמעותית בתמ"ג כפונקציה של השקעה בהון פיזי. בשנת 2007 התמ"ג ממשיך לעלות, למרות ירידה קטנה בהשקעות בהון הפיזי.

גרף 5: הגרף הבא מציג את השתנות התמ"ג ל-1000 עובדים, בין השנים 1996-2007, כפונקציה של השקעות ב-ICT:



בגרף 5 אנו רואים קשר חיובי, אך מתון, בין השקעות ב-ICT לשינוי בתמ"ג עד לשנת 2000, אז הקשר הופך שלילי עד 2003 - התמ"ג ממשיך לעלות, למרות הירידה בהשקעות ב-ICT. מ - 2003 הקשר חוזר להיות חיובי ופחות מתון מההתחלה. בין השנים 2006-2007 אנו עדים שוב לקשר שלילי בין השניים.

4. מתודולוגיה

4.1 הצגת משוואות הרגרסיה

מטרת המחקר הינה לאמוד את תרומת ההשקעה בטכנולוגיית התקשורת והמידע ICT על התמ"ג וכך לבדוק את קיומה של מגמת גידול בתמ"ג, כלומר צמיחה בתוצר. שיעור הצמיחה בתוצר מהווה מדד לרמת החיים במדינה, דבר המאפשר לנו לבצע השוואה בין המדינות השונות.

בנתונים ישנם שלושה מרכיבים אשר מהווים את המשתנים המסבירים-משתנה מסביר הוא המשתנה הבלתי תלוי אשר רוצים לבדוק את השפעתו על המשתנה המוסבר שהוא המשתנה התלוי. נעשה זאת בשני שלבים, עבור שני מודלים של רגרסיה;

בשלב הראשון ניקח רק שני משתנים מסבירים: השקעות ב-ICT (IT_{it}) והשקעות תשתית אחרות (K_{it}), לעומת המשתנה המוסבר- תמ"ג ל-1000 עובדים (GDP_{it}). שני משתנים מסבירים אלה מהווים את גורמי הייצור ונבחרו בכדי להשוות בין תרומתם לתמ"ג, כאשר השערתנו היא: כל יחידת השקעה בטכנולוגיית המידע מניבה תוספת צמיחה גבוהה יותר ביחס להשקעה דומה בטכנולוגיה מסורתית.

להלן המשוואה הנאמדת של שיעור התמ"ג ל-1000 עובדים:

$$\ln GDP_{it} = \alpha + \beta_{IT} \ln IT_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \lambda_t + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

כפי שצויין לעיל, נתוני המדגם שלנו הינם נתוני "פאנל", כלומר כל מדינה נצפתה במספר נקודות זמן. במשוואה: i - מציין מדינה; t - מציין שנה. השימוש ב"פאנל" מאפשר לנו לחלק את ההפרעה של משוואת הרגרסיה לשלושה חלקים:

$$\lambda_t - \text{הפרעה ספציפית לנקודת זמן=שנה.}$$

α_i - הפרעה ספציפית למדינה

ε_{it} - הפרעה אקראית לחלוטין

בשלב השני נוסיף את המשתנה המסביר השלישי: נגישות לאינטרנט ($AccessPeth_{it}$). הוספתי משתנה זה מתוך מחשבה שככל שרמת הנגישות לאינטרנט במדינה גבוהה יותר, כך רמת החיים גבוהה יותר, דבר המתבטא בשיעור הצמיחה בתוצר לעובד במדינה.

להלן המשוואה הנאמדת בשלב השני:

$$\ln GDP_{it} = \alpha + \beta_{IT} \ln IT_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \beta_{A_P} \ln AccessPeth_{it} + \lambda_t + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

מכיוון שהנחת המודל היא גידול אקספוננציאלי בתמ"ג ובמשתנים המסבירים, בוצעה טרנספורמציה לוגריתמית על המשתנים.

4.2 רקע לשיטות האמידה

לפני שאציג את שיטות האמידה בהן השתמשתי, אציג מספר הגדרות ושיטות אמידה בסיסיות, הנחוצות להבנה מעמיקה של שיטות האמידה המתקדמות בהן נעשה שימוש במחקר זה.

אומד חסר הטיה - אומד $\hat{\theta}$ הוא אומד חסר הטיה עבור פרמטר θ , אם מתקיים $E(\hat{\theta}) = \theta$. כלומר, אם ניקח מדגמים רבים ובכל אחד מהם נחשב את הערך של האומד, אזי התוחלת (הממוצע) של ערכים אלה שווה בקירוב לפרמטר הנאמד.

אומד יעיל (עדיף) - האומד בעל השונות המינימאלית מבין כל האומדים חסרי ההטיה $\min V(\hat{\theta})$. שונות קטנה יותר פירושה פיזור קטן יותר ולכן תוצאות יותר מדויקות.

אומד עקיב - אומד אשר ככל שגדל המדגם עליו הוא מבוסס, גדלה ההסתברות שהאומד ימצא בקרבת הפרמטר שאותו הוא אומד. כלומר צריך להתקיים:

1. $\text{P} \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{\theta} = \theta$ - האומד חסר הטיה אסימפטוטית.
2. $V(\hat{\theta})_{n \rightarrow \infty} \rightarrow 0$ - במדגמים גדולים, שונות האומד שואפת ל-0.

שיטת OLS - Ordinary least squares

שיטת OLS הינה שיטת אמידה אקונומטרית בסיסית, עבור מודלים לינאריים. שיטה זו מבטיחה אומדים בלתי מוטים, יעילים ועקיבים, בתנאי שמתקיימות 5 ההנחות הקלאסיות של מודל הרגרסיה.

להלן 5 ההנחות הקלאסיות:

1. נכונות המודל התיאורטי – השפעתם של המשתנים המסבירים על המשתנה התלוי היא ליניארית.
2. $E[\varepsilon_i] = 0$ - תוחלת ההפרעות האקראיות היא 0. מספיק לדרוש כי תוחלת ההפרעות האקראיות הינה קבועה, מניחים 0 מטעמי נוחות בלבד.
3. $V[\varepsilon_i] = \sigma^2$ - שונות ההפרעות האקראיות הינה קבועה.
4. $Cov[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0, i \neq j$ - חוסר מתאם סדרתי, ההפרעות האקראיות של שני גורמים שונים אינן מתואמות.
5. $Cov[x_i, \varepsilon_i] = 0$ - הנחת האקסוגניות של המשתנים המסבירים. המשתנים המסבירים לא מתואמים עם ההפרעה האקראית.

$$\hat{\beta}_{OLS} = (X'X)^{-1}X'Y \quad \text{OLS : נוסחא למציאת אומדי OLS}$$

נוסחא זו מתקבלת מפתרון בעיית מזעור סכום ריבועי השגיאות. השגיאות מבטאות את המרחק בין הערך האמיתי של המשתנה התלוי לבין ערכו החזוי.

שיטה זו הינה פשוטה לאמידה, אך כפי שצויין לעיל, מבטיחה אומדים בלתי מוטים, יעילים ועקיבים רק בתנאי שמתקיימות 5 ההנחות הקלאסיות של מודל הרגרסיה. במודלים אותם נאמוד בעבודה זו לא מתקיימות כל 5 ההנחות ועל כן נשתמש בשיטות אמידה מתקדמות יותר. בכל אחת משיטות האמידה בהן נשתמש, מטפלים בבעיות שונות במודל על מנת להביא אותו למצב בו כל 5 ההנחות מתקיימות ואז מתבצעת אמידה ב-OLS.

שיטת FGLS - Feasible Generalized Least Squares

שיטה זו מטפלת במקרה בו הנחת השונות הקבועה של ההפרעות האקראיות אינה מתקיימת - $V[\varepsilon_i] \neq \sigma^2 I$. בעיה זו נקראת "הטרנסקדסטיות", שונות שונה: $V[\varepsilon_i] = \sigma^2 \Omega$. בשיטה זו נשתמש כאשר אנו יודעים מהי צורת מטריצת השונות השונה Ω , אך הפרמטרים שבמטריצה זו אינם ידועים ויש למצוא להם אומדים עקיבים.

להלן שלבי אמידת מודל הרגרסיה בשיטה זו:

שלב 1: נבצע טרנספורמציה לוגריתמית על השונות. נאמוד את המודל שהתקבל בשיטת OLS.

שלב 2: נשתמש באומדים שקיבלנו עבור הפרמטרים שאינם ידועים ונגדיר את האומד $\hat{\Omega}$ עבור מטריצת השונות השונה של ההפרעות האקראיות. נקבל: $\hat{V}[\varepsilon_i] = \sigma^2 \hat{\Omega}$.

שלב 3: נגדיר מטריצת טרנספורמציה $\hat{P}$ המקיימת $\hat{P}'\hat{P} = \hat{\Omega}^{-1} \Rightarrow \hat{P} = \hat{\Omega}^{-0.5}$.

שלב 4: נבצע טרנספורמציה למשוואת הרגרסיה ע"י הכפלתה במטריצה $\hat{P}$:

$$\begin{aligned} \hat{P}Y &= \hat{P}X\beta + \hat{P}\varepsilon \\ Y^* &= X^*\beta + \varepsilon^* \end{aligned} \quad X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{k,1} \\ x_{1,2} & \cdots & x_{k,2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1,n} & \cdots & x_{k,n} \end{bmatrix}$$

שלב 5: הטרנספורמציה שביצענו מביאה לשונות קבועה, $V[\varepsilon^*] = \sigma^2 I$. לכן ניתן לאמוד כעת את מודל הרגרסיה ב-OLS.

מתאם סדרתי בנתוני פאנל

כאשר מתקיים מתאם סדרתי, מופרת הנחת אי התלות בין ההפרעות האקראיות, כלומר

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{it} + u_{it}; \quad u_{it} = \rho u_{i,t-1} + \varepsilon_{it}, \quad 0 < \rho < 1$$

אזי: $\forall t \neq s, \text{Cov}[u_{it}, u_{is}] \neq 0$, גודל ההפרעה האקראית בתקופה הנוכחית קשור לגודלה בתקופה הקודמת.

נציין כי גורם הטעות ε_{it} מקיים את כל ההנחות הקלאסיות וכי ρ - הינו מקדם המתאם הסדרתי מסדר ראשון.

סיבות לקיום מתאם סדרתי :

1. קיימים משתנים מסבירים אשר גדלים או קטנים לאורך זמן.
2. טעויות מדידה שיטתיות.

מתאם סדרתי מסדר ראשון אינו פוגע בהנחה שתוחלת ההפרעה הינה אפס, לכן נקבל אומדים חסרי הטיה, וכן אינו גורם להטרוסקדסטיות. אולם, ככל שמקדם המתאם ρ גדול יותר, כך שונות ההפרעה u_{it} ושונויות האומדים גדלות, דבר המביא לאומדים לא יעילים בשיטת OLS.

זיהוי מתאם סדרתי:

בכדי לזהות קיום של מתאם סדרתי במודל, יש לאמוד את מקדם המתאם מסדר ראשון ρ . ככל ש- $\hat{\rho}$ גדול יותר, כלומר שואף לערך 1, זו עדות למתאם חזק יותר. בעבודה זו השתמשנו בשתי שיטות לאמידת מקדם המתאם:

1. מבחן Durbin-Watson -

- אומדים את ההפרעה האקראית u_{it} במודל הנאמד באמצעות OLS.
- מחשבים את המשתנה הסטטיסטי DW באמצעות הנוסחה:

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T (\hat{u}_{i,t} - \hat{u}_{i,t-1})^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2} = \frac{\overbrace{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2}^1}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2} + \frac{\overbrace{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t-1}^2}^{\approx 1}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2} - 2 \frac{\overbrace{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t} \hat{u}_{i,t-1}}^{\rho}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2}$$

❖ הערה: במחקר זה, מספר התקופות בהן נלקחו התצפיות של כל מדינה אינו זהה (עקב מחסור בנתונים), לכן ביצענו מיצוע של הפרשי ההפרעות האקראיות בריבוע/ ההפרעות האקראיות בריבוע. כלומר:

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (\hat{u}_{i,t} - \hat{u}_{i,t-1})^2}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T \hat{u}_{i,t}^2}$$

$$\hat{\rho} = 1 - \frac{DW}{2} \quad \text{מקבלים כי: } DW \approx 2(1 - \hat{\rho}) \quad \text{ומכאן:}$$

2. שיטת Cochrane-Orcutt –

בשיטה זו אומדים את מקדם המתאם ρ , מתוך המשוואה: $u_{it} = \rho u_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$,

$$\hat{\rho} = (u_{i,t-1}' u_{i,t-1})^{-1} u_{i,t-1}' u_{i,t} \quad \text{באמצעות שיטת OLS:}$$

תיקון מתאם סדרתי:

בעבודה זו נעשה שימוש בשיטת **Cochrane-Orcutt** לתיקון מתאם סדרתי. האמידה בשיטה זו נעשית באופן הבא:

- המודל הנאמד: $y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{it} + u_{it}; \quad u_{it} = \rho u_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$ (1)
- נגלגל את המודל תקופה אחת אחורה ונכפיל את המשוואה שמתקבלת ב- ρ :
- (2) $\rho y_{i,t-1} = \rho \alpha + \rho \beta_1 x_{i,t-1} + \rho u_{i,t-1}$
- נחסיר בין (1) ל- (2):

$$y_{it} - \rho y_{i,t-1} = \alpha(1 - \rho) + \beta_1(x_{it} - \rho x_{i,t-1}) + u_{it} - \rho u_{i,t-1}$$

$$y_{it}^* = \alpha^* + \beta_1 x_{it}^* + \varepsilon_{it}$$

מתקבלת משוואה שאינה ליניארית בפרמטרים (בגלל המכפלה $\rho \beta_1$) ולכן לא ניתן לאמוד אותה בשיטת OLS. לכן השיטה למציאת האומדים הינה ניסוי וטעייה; מבצעים איטרציות עד להתכנסות ערכי הפרמטרים הנאמדים, כלומר עד לקבלת אומדים המביאים למינימום את ריבועי הסטיות.

- שיטת הפתרון מתבצעת באופן הבא:

1. מריצים רגרסיה (בשיטת OLS) עם ערך התחלתי של האומד ל- ρ .

2. קבלה של ערכי $\hat{\alpha}$ ו- $\hat{\beta}_1$ מתוך הרגרסיה.
3. הצבת הערכים $\hat{\alpha}$ ו- $\hat{\beta}_1$ ברגרסיה ואמידת ρ .
4. חזרה על סעיפים 1-3 לעיל עם $\hat{\rho}$, עד שאין שינויים גדולים בפרמטרים.

4.3 שיטות האמידה

בעבודה זו נעשה שימוש בשתי שיטות אמידה אקונומטריות מתקדמות:

❖ Two-way Fixed Effects.

❖ Two-way Random Effects.

כל אחת מהשיטות מניחה הנחה אחרת בנוגע להפרעות הספציפיות של המדינה ונקודת הזמן, ועל כן פותרת את בעיית ההטרוגניות במודל בדרך שונה.

נציג את השיטות:

שיטת האפקטים הקבועים - Two-way Fixed Effects (2-way FE)

שיטה זו מניחה כי שתי ההפרעות הספציפיות של הנתונים- λ_t ו- α_i , שהתקבלו בעקבות השימוש בנתוני "פאנל", הינן קבועות. עקב הנחה זו, מודל זה משייך את ההפרעות הספציפיות לחותך (הקבוע במשוואה) ולא להפרעה האקראית ε_{it} .

מטרת האמידה בשיטה זו, הינה להיפטר מ- λ_t ו- α_i , כיוון שאנו חושדים שהם מתואמים עם אחד או יותר מהמשתנים המסבירים – מופרת הנחת האקסוגניות. כאשר ניפטר מהחלק ההטרוגני בחותך, נתגבר על בעיית האנדוגניות - המתאם בתוך הקבוצה ואז נוכל לאמוד את המשוואה בשיטת OLS.

להלן שלבי האמידה:

שלב 1: ניפטר משתי ההפרעות הקבועות של הנתונים, ע"י חיסור הממוצעים הבאים מהמשוואה הנאמדת:

$$\begin{aligned} \bar{y}_i &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it} & \bar{x}_i &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{it} & : \text{ממוצע על פני זמן} \\ \bar{y}_t &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{it} & \bar{x}_t &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{it} & : \text{ממוצע על פני מדינה} \end{aligned}$$

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t = \alpha(1 - \bar{x}_{0i} - \bar{x}_{0t}) + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t)\beta + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t = \alpha(1 - 1 - 1) + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t)\beta + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t = -\alpha + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t)\beta + \varepsilon_{it}$$

❖ הערה: $\bar{x}_{0t}, \bar{x}_{0i}$ = ממוצעי העמודה הראשונה במטריצת המשתנים המסבירים

X. עמודה זו הינה וקטור יחידה שהוספנו עבור החותך ולכן ערכי הממוצעים 1.

שלב 2: בכדי לחזור לחותך המקורי α של המשוואה הנאמדת, נוסיף פעמיים את הממוצע הכללי למשוואה:

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t + 2\bar{y} = \alpha(-1 + 2\bar{x}_0) + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t + 2\bar{x})\beta + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t + 2\bar{y} = \alpha + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t + 2\bar{x})\beta + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it}^* = \alpha + \beta x_{it}^* + \varepsilon_{it}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T y_{it} \quad \bar{x} = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T x_{it} \quad \text{כאשר:}$$

שלב 3: לאחר שנפטרו מבעיית ההטרוגניות, קיבלנו מודל שמקיים את כל 5 ההנחות הקלאסיות (לפי הנחותינו). לכן נאמוד את הפרמטרים בשיטת OLS.

מודל זה מתגבר על מתאם בתוך הקבוצה, לכן הוא נקרא גם בשם "within variation". אך הוא לא מפקח על שינויים בין קבוצות. כיוון שכך, לאחר השימוש בו תישאר שונות הפרעה בין מדינות - $\hat{\sigma}_{Between(\varepsilon)}^2$.

אומדי המודל נקראים: "fixed effects estimator" או "within estimator". אומדים אלה הם אומדי OLS ולכן הם יעילים ועקיבים.

סדרות הנתונים שלנו הן סדרות עתיות, כלומר נדגמו על פני תקופות זמן שונות, לכן סביר להניח שקיים מתאם סדרתי במודל. השיטה הבאה מתארת כיצד לאמוד מודל בשיטת האפקטים הקבועים כשחושדים לקיומו של מתאם סדרתי.

שיטת האפקטים הקבועים עם הנחת מתאם סדרתי

במקרה בו אנו חושדים לקיומו של מתאם סדרתי, נבצע תחילה את שני השלבים הראשונים במודל 2-way FE, בכדי להיפטר מההטרוגניות במודל הנאמד. את השלב השלישי לא נוכל לבצע, לפני שנבדוק האם הנחת אי קיום מתאם סדרתי מתקיימת.

נבדוק קיום מתאם סדרתי במודל החדש שקיבלנו בשלב 2:

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t + 2\bar{y} = \alpha + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t + 2\bar{x})\beta + \varepsilon_{it}$$

$$y_{it}^* = \alpha + \beta x_{it}^* + \varepsilon_{it}$$

נשתמש בשתי שיטות: מבחן Durbin-Watson ו- שיטת Cochrane-Orcutt לאמידת מקדם המתאם ρ .

במידה ויש עדות למתאם סדרתי, נאמוד את המודל, שקיבלנו בשלב 2, בשיטת Cochrane-Orcutt לתיקון מתאם סדרתי. במידה ואין עדות למתאם, נבצע את שלב 3 כפי שתואר לעיל.

שיטת האפקטים הרנדומליים - Two-way Random Effects (2-way RE)

שיטה זו, בשונה משיטת האפקטים הקבועים, מניחה כי שתי ההפרעות הספציפיות של הנתונים - λ_t ו- α_i , הן משתנים מקריים, בעלי התפלגות ועל כן הן חלק מההפרעה האקראית במודל ולא חלק מהחותך.

נגדיר את ההפרעה האקראית במודל הנאמד:

$$U_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

על פי הנחת שיטה זו, בעיית ההטרוגניות נמצאת כעת בהפרעה האקראית. דבר זה מביא לבעיית "הטרוסקדסטיות", שונות שונה במודל: $V[U_{it}] = \sigma^2 \Omega$. נשתמש בשיטת FGLS לפתרון הבעיה ואמידת המודל, כיוון שהפרמטרים שבמטריצת השונות השונה Ω אינם ידועים ולכן יש למצוא להם אומדים עקיבים.

להלן שלבי האמידה בשיטת האפקטים הרנדומליים:

שלב 1: לצורך אמידת מטריצת Ω , יש לאמוד את שונויות ההפרעות האקראיות של המדינה והזמן במודל 2-way RE.

נעשה זאת במספר שלבים:

1. נריץ מודל 2-way FE, בכדי לקבל אומד לשונות ההפרעה בין מדינות –

$$\hat{\sigma}_{Between(\varepsilon)}^2$$

במודל 2-way FE הוסרה ההטרוגניות בשני רבדים – בתוך המדינות ובתוך השנים, לכן כל הזעזועים הבלתי צפויים הם ברמת בין מדינות ובין תקופות.

2. נאמוד את שונות ההפרעה הכוללת הבדלים בין ובתוך המדינות. שונות זו תתקבל כתוצאה משימוש במודל ה- "Between". במודל זה אנו אומדים משוואת רגרסיה של הממוצעים, בשיטת OLS:

משוואה 1: $\bar{y}_i = \alpha + \beta \bar{x}_i$. מאמידתה נקבל אומד לשונות ההפרעה של המדינה –

$$\hat{\sigma}_{Between+Within(i)}^2$$

משוואה 2: $\bar{y}_t = \alpha + \beta \bar{x}_t$. מאמידתה נקבל אומד לשונות ההפרעה של הזמן –

$$\hat{\sigma}_{Between+Within(t)}^2$$

נציין שבמודל זה מתקבלת שונות הכוללת גם את הפרעות ה- "בתוך" וגם ה- "בין" כיוון שלא הסרנו את ההטרוגניות (ההפרעה היא משתנה מקרי).

3. נחסר את השונות מסעיף 1 מהשונות שקיבלנו בסעיף 2, כך יתקבלו שונות ההפרעה עבור המודל 2-way RE, כלומר שונות ההפרעה בתוך המדינה. הפרעה אקראית של מדינה:

$$\hat{\sigma}_{Within(\alpha)}^2 = \hat{\sigma}_{Between+Within(i)}^2 - \hat{\sigma}_{Between(\varepsilon)}^2$$

הפרעה אקראית של זמן:

$$\hat{\sigma}_{Within(\lambda)}^2 = \hat{\sigma}_{Between+Within(t)}^2 - \hat{\sigma}_{Between(\varepsilon)}^2$$

שלב 2:

בהנחה שההפרעות האקראיות לא מתואמות –

$$E(\alpha_i \lambda_t) = E(\alpha_i \varepsilon_{it}) = E(\lambda_t \varepsilon_{it}) = 0$$

וכן שמתקיימת הנחת האקסוגניות, מטריצת השונות של ההפרעה האקראית נבנית עפ"י הפונקציה הבאה:

$$V(U) = E(u_{it} u_{js}) = \begin{cases} \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_{\varepsilon}^2 & \text{if } i = j, t = s, \\ \sigma_{\alpha}^2 & \text{if } i = j, t \neq s, \\ \sigma_{\lambda}^2 & \text{if } i \neq j, t = s \end{cases}$$

נסביר:

❖ הפרעה של אותה מדינה באותה תקופה כוללת גם את הפרעות ה- 'within' וגם את

הפרעת ה- 'between'

❖ הפרעה של מדינה אחת בתקופות שונות, כוללת רק את הפרעת ה- 'within' של המדינה.

❖ הפרעה של מדינות שונות באותה תקופה, כוללת רק את הפרעת ה- 'within' של הזמן.

❖ כאשר מדובר גם במדינות שונות וגם בתקופות שונות, ההפרעה הינה 0.

בכדי להתגבר על בעיית ה"הטרוסקדסטיות" יש למצוא מטריצת טרנספורמציה $\hat{P} \hat{P}' = \hat{\Omega}^{-1}$. כלומר, כשנכפול אותה במשוואת המודל הנאמד, נקבל שונות קבועה.

במקרה של שיטת 2-way RE, לאחר הכפלת המשוואה הנאמדת במטריצת הטרנספורמציה, מתקבל המודל הבא:

$$y_{it} - \theta_1 \bar{y}_i - \theta_2 \bar{y}_t + \theta_3 \bar{y} = \beta(x_{it} - \theta_1 \bar{x}_i - \theta_2 \bar{x}_t + \theta_3 \bar{x}) + \varepsilon^*$$

$$Y^* = X^* \beta + \varepsilon^*$$

$$\theta_1 = 1 - \frac{\sigma_\varepsilon}{\sqrt{T\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2}} ; \quad \theta_2 = 1 - \frac{\sigma_\varepsilon}{\sqrt{N\sigma_\lambda^2 + \sigma_\varepsilon^2}} \quad \text{כאשר:}$$

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 + \frac{\sigma_\varepsilon}{\sqrt{T\sigma_\alpha^2 + N\sigma_\lambda^2 + \sigma_\varepsilon^2}} - 1$$

=N מספר מדינות. =T מספר תקופות, שנים.

ניתן להבחין כי משוואת המודל שקיבלנו לאחר טרנספורמצית FGLS, מזכירה מאוד את המשוואה המתקבלת בשיטת 2-way FE לאחר שנפטרים מההטרוגניות:

$$y_{it} - \bar{y}_i - \bar{y}_t + 2\bar{y} = \alpha + (x_{it} - \bar{x}_i - \bar{x}_t + 2\bar{x})\beta + \varepsilon_{it}$$

מדמיון זה ניתן להסיק לגבי משמעותה של θ במודל RE:

- $\theta = 1$: מודל $RE = FE$. כלומר, אנחנו מבצעים 'full demeaning' - $FE = \text{זורקים}$ את כל ההטרוגניות.
- ככל ש- θ גדולה יותר, $\theta \rightarrow 1$: מודל $FE \rightarrow RE$, זורקים את מרבית ההטרוגניות.
- θ קטנה: אנחנו מבצעים 'Quasi demeaning' - $RE = \text{זורקים חלק מההטרוגניות}$.

שלב 3: נאמוד את המשוואה שקיבלנו לאחר הטרנספורמציה באמצעות שיטת OLS.

האומדים שנקבל הם אומדי OLS לאחר טרנספורמצית FGLS, לכן הם עקיבים אך יעילים אסימפטוטית בלבד (יעילים רק במדגם גדול מאוד).

מודל האפקטים הקבועים (FE) מול מודל האפקטים הרנדומליים (RE)

אחד היתרונות הבולטים במודל FE, הינו תוקפו תחת הנחות כלליות מאוד. המודל מאפשר קיום מתאם בין המשתנים המסבירים לבין ההפרעות הספציפיות – אינדוגניות. יתרון זה הינו חסרון במידה ואין מתאם כלל- כאשר אנחנו נפטרים מכל ההפרעות הספציפיות, אנו מאבדים הרבה דרגות חופש ולכן האומד שמתקבל אינו יעיל.

במודל RE האומד יעיל יותר מאומד FE, אך רק תחת הנחת האקסוגניות. במידה וההנחה לא מתקיימת נקבל אומדים לא עקיבים.

במודל RE ניתן לבנות ערכים חזויים לתצפיות שלא נכללו במדגם, בעוד שב-FE הדבר אינו אפשרי כיוון שמתייחסים להפרעות הספציפיות כאל קבועים הניתנים לאמידה – האומדים תלויים בבחירת המדגם.

מבחינה מעשית, עקב הקושי להוכיח חוסר מתאם בין ההפרעות הספציפיות למשתנים המסבירים, שיטת FE יכולה להוות בחירה מועדפת.

5. תוצאות ומסקנות

אמידת המודל הראשון – תמ"ג כפונקציה של השקעות בהון פיזי והשקעות ב-ICT

$$\ln GDP_{it} = \alpha + \beta_{IT} \ln IT_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \lambda_t + u_i + \varepsilon_{it}$$

שלב ראשון: לאחר הרצת המודל בשיטת Two-way Fixed Effects, התקבלו התוצאות הבאות:

	Coefficient	Std. Error	p-value
const	2.9045	0.3141	P<0.05
ln_IT	0.0212	0.0278	P>0.05
ln_K	0.0914	0.0247	P<0.05

מעיון בתוצאות נראה כי ההשפעה של השקעות ב- ICT על שיעור הצמיחה אינה מובהקת. ההשפעה של שאר ההשקעות מובהקת ובאופן ספציפי נראה כי אחוז אחד של גידול בשאר ההשקעות מוביל לעלייה של כ- 9.14% בתמ"ג בעוד שאחוז אחד של גידול בהשקעות ICT מוביל לעלייה של 2.12% בתמ"ג.

בנוסף קיבלנו כי השונות שנשארה במודל, כלומר הרעש בין הקבוצות הינו :

$$\hat{\sigma}^2_{Between} = 0.0321$$

שלב שני : לאחר האמידה באמצעות FE, נבחן קיומו של מתאם סדרתי באמצעות שתי שיטות שפורטו לעיל. אומדי מקדם המתאם שהתקבלו :

$$\hat{\rho}_{CO} = 0.8434 \quad \hat{\rho}_{DW} = 0.8453$$

ניתן לראות כי האמידה בשתי דרכים שונות הובילה לתוצאות דומות וגבוהות יחסית, דבר אשר מעיד על קיומו של מתאם סדרתי.

בעקבות המסקנה בדבר קיומו של מתאם סדרתי, אמדתי שוב את מודל FE באמצעות שיטת Cochrane-Orcutt. לאחר הרצת המודל, התקבלו התוצאות הבאות :

	Coefficient	Std. Error	p-value
const	3.47	1.9795	P<0.05
ln_IT	0.023	0.1674	P>0.05
ln_K	0.0554	0.1574	P>0.05

ניתן לראות שהמודל לאחר האמידה אינו מובהק (למעט החותך). בנוסף קיבלנו כי השונות שנשארה במודל, רעש בין קבוצות הינה : $\hat{\sigma}^2_{Between} = 0.0261$. שונות זו קטנה מהשונות שהתקבלה במודל עם מתאם, אך לא באופן משמעותי.

שלב שלישי : הרצת המודל בשיטת Two-way Random Effects, הניבה את התוצאות הבאות :

	Coefficient	Std. Error	p-value
Const	3.3525	0.2348	P<0.05
ln_IT	-0.0158	0.0278	P>0.05
ln_K	0.0814	0.0282	P<0.05

מעיון בתוצאות, נראה כי ההשפעה של השקעות ב- ICT על שיעור הצמיחה אינה מובהקת וזאת בדומה לתוצאות האמידה באמצעות מודל ה- FE. ההשפעה של שאר ההשקעות מובהקת ובאופן ספציפי נראה כי אחוז אחד של גידול בשאר ההשקעות מוביל לעלייה של כ- 8.14% בתוצר, בעוד שאחוז אחד של גידול בהשקעות ICT מוביל לירידה של כ- 1.58% בתוצר.

תוצאות ה- θ במודל RE :

$$\theta_1 = 0.9353; \quad \theta_2 = 0.7714; \quad \theta_3 = 0.756$$

ערכי ה- θ שהתקבלו גבוהים יחסית, לכן ניתן לומר שבמקרה זה מודל $FE \rightarrow RE$, אך לא מתבצע 'full demeaning'.

אמידת המודל השני – תמ"ג כפונקציה של השקעות בהון פיזי, השקעות ב- ICT וגישה לאינטרנט

$$\ln GDP_{it} = \alpha + \beta_{IT} \ln IT_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \beta_{A_P} \ln AccessPeth_{it} + \lambda_t + \nu_i + \varepsilon_{it}$$

שלב ראשון :

לאחר הרצת המודל בשיטת Two-way Fixed Effects, התקבלו התוצאות הבאות :

	Coefficient	Std. Error	p-value
Const	2.6383	0.3119	P<0.05
ln_IT	0.0156	0.0269	P>0.05
ln_K	0.0479	0.0266	P<0.05
ln_AccessPeth	0.0783	0.021	P<0.05

מעיון בתוצאות נראה כי ההשפעה של השקעות ב- ICT על שיעור הצמיחה אינה מובהקת. ההשפעה של שאר ההשקעות והגישה לאינטרנט מובהקת, ובאופן ספציפי נראה כי אחוז אחד של גידול בשאר ההשקעות מוביל לעלייה של כ- 4.79% בתמ"ג וכן גידול של אחוז אחד בגישה לאינטרנט מוביל לעלייה של כ- 7.83% בתמ"ג.

בנוסף קיבלנו כי השונות שנשארה במודל, כלומר הרעש בין הקבוצות הינו :

$$\hat{\sigma}_{Between}^2 = 0.031$$

שלב שני: מבדיקת קיום מתאם סדרתי במודל FE, אומדי מקדם המתאם שהתקבלו:

$$\hat{\rho}_{CO} = 0.9382 \quad \hat{\rho}_{DW} = 0.8369$$

ניתן לראות כי האמידה בשתי דרכים שונות הובילה לתוצאות קרובות יחסית וגבוהות, דבר אשר מעיד על קיומו של מתאם סדרתי.

בעקבות המסקנה בדבר קיומו של מתאם סדרתי, אמדתי שוב את מודל FE באמצעות שיטת Cochrane-Orcutt. לאחר הרצת המודל, התקבלו התוצאות הבאות:

	Coefficient	Std. Error	p-value
const	3.9348	5.1037	p>0.05
ln_IT	0.0264	0.4264	p>0.05
ln_K	0.0585	0.434	p>0.05
ln_AccessPeth	-0.0274	0.3504	p>0.05

ניתן לראות שהמודל לאחר האמידה אינו מובהק. בנוסף קיבלנו כי השונות שנשארה במודל, רעש בין קבוצות הינה: $\hat{\sigma}^2_{Between} = 0.1885$. שונות זו גדולה מהשונות שהתקבלה במודל עם מתאם.

שלב שלישי: הרצת המודל בשיטת Two-way Random Effects, הניבה את התוצאות הבאות:

	Coefficient	Std. Error	p-value
const	0.7769	0.2495	p<0.05
ln_IT	-0.017	0.0332	p>0.05
ln_K	0.0843	0.0365	p<0.05
ln_AccessPeth	0.2535	0.0192	p<0.05

מעיון בתוצאות, נראה כי ההשפעה של השקעות ב- ICT על שיעור הצמיחה אינה מובהקת וזאת בדומה לתוצאות האמידה באמצעות מודל ה- FE. ההשפעה של המשתנים האחרים מובהקת, ובאופן ספציפי ניתן לומר כי אחוז אחד של גידול בשאר ההשקעות מוביל לעלייה של כ- 8.43% בתוצר, אחוז אחד של גידול בגישה לאינטרנט מוביל לעלייה של כ- 25% בתוצר ואילו אחוז אחד של גידול בהשקעות ICT מוביל לירידה של כ- 1.7% בתוצר.

תוצאות ה- θ במודל RE :

$$\theta_1 = 0.9394; \quad \theta_2 = 0.3104; \quad \theta_3 = 0.2966$$

ערכי ה- θ שהתקבלו, מלבד הראשונה, נמוכים יחסית, לכן ניתן לומר שבמקרה זה מודל מתבצע 'Quazy demeaning' באופן מוחלט. במודל לאחר טרנספורמציה, θ_1 הוא מקדם של $\bar{y}_i$, מכאן ניתן להסיק שמודל RE נפטר כמעט מכל ההטרוגניות בתוך המדינה.

לסיכום, נראה לאורך כל שיטות האמידה כי להשקעה ב- ICT לא נמצאה השפעה על שיעור הגידול בתוצר.

ההשפעה של שאר ההשקעות (השקעה בהון פיזי) על התוצר הינה חיובית ומובהקת, כלומר ככל שההשקעה שאינה ב- ICT גדלה, כך גדל שיעור הצמיחה בתוצר. יחד עם זאת, כאשר נאמד המודל בשיטת FE, לאחר תיקון המתאם הסדרתי, השפעה זו התבטלה והפכה ללא מובהקת.

הכנסת המשתנה של גישה לאינטרנט לא שינתה באופן מהותי את תוצאותיו של המודל, עדיין נצפה היעדר קשר בין השקעות ב- ICT לבין גידול בתוצר, וקשר חיובי בין שאר השקעות לבין גידול בתוצר כפי שמפורט לעיל.

למשתנה של גישה לאינטרנט יש השפעה מובהקת וחיובית על התמ"ג, דבר אשר מעיד על כך שככל שהגישה לאינטרנט גדלה, התוצר גדל. השפעה זו עשויה להיות מיוחסת למשל, ליכולת לבצע שותפויות בינלאומיות.

גם כאן, בדומה להשפעה של השקעות שלא ב- ICT, כאשר נאמד המודל בשיטת FE, לאחר תיקון המתאם הסדרתי, השפעה זו התבטלה והפכה ללא מובהקת.

6. סימולציה

נבצע סימולציה עבור המודל Two-way Fixed Effects:

נבצע בחירה אקראית של 19 מדינות עם חזרה, כלומר המדגם שלנו עדיין יורכב מ-19 מדינות, אך לא בהכרח כולן יופיעו. אחרי כל בחירה אקראית כזו, נריץ את מודל Two-way Fixed Effects על המדגם שהתקבל. בצורה זו, נבצע מספר הרצות למודל. את האומדים וסטיות התקן שלהם שנקבל לאחר כל הרצה נשמור במערך, ובסוף נחשב ממוצע של האומדים שהתקבלו בכל ההרצות וממוצע של סטיות התקן שלהם.

את הסימולציה נבצע במטרה לבדוק את יציבות האומדים שקיבלנו עבור המדגם המקורי ולבחון האם הורדה של מדינה/מספר מדינות מהמדגם גורם לזעזוע בתוצאות. בנוסף, נרצה לבדוק האם לאחר מספר רב של הרצות, האומדים מתייצבים סביב ערך מסוים.

להלן תוצאות הסימולציה:

	1 iteration	10 iterations	100 iterations	1000 iterations	5000 iterations	10000 iterations
const	3.7722 (0.2671)	2.9100 (0.2775)	2.0732 (0.2340)	1.2658 (0.1470)	1.2268 (0.1248)	1.3691 (0.1349)
ln_IT	0.0727 (0.0271)	0.0359 (0.0238)	0.0430 (0.0265)	0.0791 (0.0275)	0.0690 (0.0281)	0.0530 (0.0280)
ln_K	-0.0506 (0.0252)	0.0142 (0.0250)	0.0521 (0.0276)	0.0671 (0.0282)	0.0698 (0.0296)	0.0681 (0.0299)
ln_AccessPeth	0.0205 (0.0212)	0.0667 (0.0211)	0.1072 (0.0223)	0.1405 (0.0217)	0.1504 (0.0233)	0.1523 (0.0236)

- בכל עמודה, מופיעים ממוצעי האומדים וסטיות התקן שלהם, שקיבלנו לאחר n איטרציות. כאשר, המספר העליון מציין את האומד והמספר התחתון – בסוגריים, את סטיית התקן.

מתוצאות הסימולציה ניתן לראות כי אין התייצבות של האומדים סביב ערך מסוים גם לאחר מספר רב של איטרציות.

בנוסף, האומדים שהתקבלו שונים מאוד מהאומדים שקיבלנו עבור המדגם המקורי. מכאן ניתן ללמוד שיש מדינות במדגם שהשפעתן על התוצאות גדולה משל אחרות ולכן הנוכחות/אי הנוכחות/הגברת נוכחותן מסיטות את תוצאות המדגם.

בעבודה זו נעשה ניסיון לבחון את ההשפעה של השקעה ב- ICT על שיעור הצמיחה בתמ"ג במדינות מפותחות.

כאמור, ממצאי מחקרים קודמים מעידים על קיומו של קשר חיובי במדינות מפותחות בין השקעה ב- ICT לבין צמיחת התוצר. השפעה חיובית זו אינה מתקיימת במדינות מתפתחות, לפיכך המסקנה היא: קשר חיובי זה מקורו בתשתית נרחבת הקיימת במדינות מפותחות אשר מאפשרת הפקת תועלת ושימוש יעיל בטכנולוגיה זו, בעוד שמדינות מתפתחות חסרות את התשתית הזאת ולכן עשויות להפיק יותר תועלת מהשקעה בתעשיות מסורתיות (Dewan & Kraemer, 2000).

לצורך בחינת הקשרים הללו, בנינו שתי משוואות רגרסיה, אותן אמדנו באמצעות שני מודלים אקונומטריים עיקריים: 2-way FE ו- 2-way RE.

בתחילה, אמדנו משוואה בה המשתנה הב"ת הינו תמ"ג ל- 1000 עובדים, והיא כוללת שני משתנים מסבירים: השקעות ב- ICT והשקעות בהון פיזי (שאינו ICT). ממצאי הניתוח שביצענו העידו כי קיימת השפעה מובהקת וחיובית של השקעות בהון פיזי (שאינו ICT), לעומת זאת להשקעה ב- ICT לא הייתה השפעה מובהקת כלל.

בהמשך, הוספנו למשוואה הנאמדת משתנה מסביר נוסף והוא גישה לאינטרנט. נמצא כי למשתנה זה יש השפעה חיובית על קצב הגידול בתוצר, אולם המודל לא שינה את ההשפעה של משתני ההשקעות, וגם לאחר הכנסת משתנה של גישה לאינטרנט התקבל כי לכלל ההשקעות (ללא ICT), ישנה השפעה חיובית ומובהקת, ואילו להשקעה ב- ICT לא הייתה השפעה מובהקת כלל.

את ההשפעה החיובית שיש להשקעות בהון הפיזי על צמיחת התוצר ניתן לייחס לחשיבות של השקעות כגורם מניע את הכלכלה כולה. השקעות ברמה המאקרו כלכלית מהוות מנוע צמיחה משמעותי ומסבירות היטב תנודות בתוצר ובמחזורי העסקים (Mankiw, 2007).

יחד עם זאת, ממצאי המחקר לפיהם להשקעות ב- ICT אין השפעות על התוצר, אינן עולות בקנה אחד עם שאר הממצאים המופעים בספרות ובייחוד אלה אשר מוצגים אצל Dewan & Kraemer (2000). סתירה זו עשויה לנבוע מעצם העובדה שהנתונים במחקר זה "סבלו" מבעיה של מתאם סדרתי ולכן האמדים יצאו מוטים, למרות שמאוחר יותר נעשה ניסיון לתקן מתאם סדרתי על ידי אמידה נוספת כפי שמתואר לעיל, אמידה אשר העידה על השפעות לא

מובהקות. עקב כך, ניתן לטעון כי מלכתחילה סדרות הנתונים שנבחרו היו צריכות להיות שונות.

כמו כן, ממצאים אלה עשויים בהחלט להעיד על כך שקשר זה לא בהכרח מתקיים במציאות, או לפחות לא עבור כל מדינה. ממצאי מחקרים נוספים צריכים לבחון עניין זה.

ההשפעה החיובית שיש לאינטרנט על הגידול בתוצר עשויה לנבוע לדעתי ממספר גורמים :

ראשית, הפתיחות לאינטרנט מהווה גורם אשר מקל על תקשורת בין חברות ובפרט בין חברות ברחבי העולם. לפיכך להאצת הטכנולוגיה, המתבטאת כאן כנגישות לאינטרנט, ישנו אפקט חיובי ומסייע בכל הנוגע להצלחה של מיזמים משותפים בינלאומיים אשר תורמים לגידול בהשקעות באופן כללי.

בנוסף, קיומה של נגישות הולכת וגוברת לאינטרנט עשויה להצביע על שיפורים טכנולוגיים באופן כללי אשר מהווים כולם יחד אינדיקציה לתהליכי גלובליזציה הולכים וגוברים, תהליכים אשר מסייעים להגדיל השקעות כתוצאה משיתופי פעולה בינלאומיים.

8. המלצות למחקרי המשך

- ❖ בחינה מעמיקה יותר של הקשרים בין השקעה ב- ICT לבין גידול בתוצר וזאת במטרה לגלות את הממצאים הסותרים בנושא, כפי שנמצא במחקר זה.
- ❖ בחינה של ההשפעות ההדדיות בהתייחס לתרבות המדינה ומאפיינים נוספים. יכול להיות שהקשר בין השקעה ב- ICT לבין התוצר עשוי להיות תלוי במשתנים מתווכים כגון מאפייני מדינה ותרבות, כל אלו עשויים להאיר את הקשרים הללו באופן ברור יותר.
- ❖ בחינת כלל המאפיינים העומדים בבסיס השקעה ב- ICT על מנת למפות את כלל הגורמים ולהבין קשר זה באופן מדויק יותר, כלומר לבחון אילו סוגי השקעות בתוך ICT תורמות לתוצר.

- 1) Castells, M. (1996). *The information age: Economy, society and culture. Volume I: The rise of the network society*. Cornwall: Blackwell publishers.
- 2) Dewan, S. & Kraemer, L.A. (2000). Information technology and productivity: evidence from country-level data. *Management Science*, 46(4), 548-562.
- 3) Dewan, S. & Minc, C. (1997). The substitution of IT for other factors of production: A firm level analysis. *Management Science*, 43(12), 1660-1675.
- 4) Analysis of Panel Data. Second edition. Chang Hsiao, University of southern California.
- 5) Advanced Econometrics. By Alban Thomas 2003-2004.
- 6) OECD Communications Outlook, 2011.
- 7) Econometric Analysis of cross section and Panel data. By Jeffrey M. Wooldridge.
- 8) Mankiw, N.G.,(2007). Macroeconomics, 6th edition, Worth Publishers.

ענפי טכנולוגיות המידע –

ICT- INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ענפי טכנולוגיות המידע הוגדרו על ידי ארגון ה-OECD בשנת 1998¹, על בסיס סיווג ענפי הכלכלה הבין-לאומי ISIC². ההגדרה מתייחסת לפעילויות בענפי התעשייה ובענפי השירותים המקדמות, בעזרת אמצעים אלקטרוניים - עיבוד, הכנה, העברה, שידור והצגת מידע. סיווג טכנולוגיות המידע אינו כולל ענפים המייצרים מידע.

הענפים הכלולים בהגדרה זו סווגו לקבוצות הבאות:

ענפי תעשיית ICT הכוללים את תעשיית מכונות למשרד, לחשבונאות ומחשבים, תעשיית רכיבים אלקטרוניים, תעשיית ציוד תקשורת אלקטרוני ותעשיית ציוד תעשייתי לבקרה ולפיקוח וללא תעשיית ציוד רפואי.

ענף שירותי תקשורת

ענפי שירותים אחרים הכוללים שירותי מחשוב, שירותי מחקר ופיתוח וחברות הזנק (START-UP).

יש להבחין בין הגדרה זו ובין הגדרת המונח "היי-טק" (טכנולוגיה עילית), שכן ההתייחסות המקובלת לענפי "היי-טק" מתמקדת בקריטריונים של אחוז גבוה של הוצאה למו"פ מכלל ההוצאה למו"פ במגזר העסקי ואחוז גבוה של עובדים בעלי משלח יד אקדמי מבין סך המועסקים.

ענפי התעשייה והמחשוב אכן מאופיינים באחוז גבוה של הוצאה למו"פ ובאחוז גבוה של עובדים בעלי משלח יד אקדמי, פרט לענף שירותי תקשורת. אחוז העובדים בעלי משלח יד אקדמי בענף זה אינו גבוה לענף שירותי תקשורת מאופיין על ידי אחוז גבוה של עובדי פקידות ובעיקר פקדי קבלת קהל ומפעילי ציוד משרדי.

ניתן לראות, אם כן, בענפי ה-ICT את התשתית לענפי ה"היי-טק", דהיינו ענפים המקדמים שימוש בטכנולוגיה עילית.

להלן הענפים השייכים ל-ICT:

סיווג הלמ"ס			סיווג ISIC	
הערה	פירוט	ענף מקביל בסיווג הישראלי	פירוט	ענף
ע נ פ י ת ע ש י ה				
אין ייצור מקומי אלא יבוא	תעשיית מכונות משרדיות	3000	ייצור מכונות למשרד, לחשבונאות ומחשבים	3000
	תעשיית מכונות לעיבוד נתונים אוטומטי	3010		
	תעשיית חוטים וכבלים מבודדים	3120	ייצור חוטים וכבלים מבודדים	3130
	תעשיית כבלים וסיבים אופטיים	3121		
	תעשיית רכיבים אלקטרוניים	3200	ייצור רכיבים אלקטרוניים	3210
	תעשיית סמיקונדוקטורים	3210		
	תעשיית ציוד טלקומוניקציה	3300	ייצור משדרי רדיו וטלוויזיה וציוד לקווי טלפון וטלגרף	3220
	תעשיית ציוד לתקשורת מחשבים	3310	ייצור מקלטי רדיו וטלוויזיה וציוד קול או הקלטות וידאו או הפקות קול וסחורות קרובות	3230
	תעשיית ציוד אלקטרוני לשימוש ביתי-צרכני	3320		
	תעשיית מכשירים למדידה, לבדיקה ולניווט	3420	ייצור ציוד לתהליכי מדידה, בדיקה, ניווט ומטרות אחרות	3312
	תעשיית ציוד תעשייתי לבקרה ולפיתוח	3400	ייצור ציוד לתהליכי בקרה ופיקוח	3313
ע נ פ י ש י ר ו ת י ס				
ראה הסבר להלן			מסחר סיטוני במכונות ובציוד ובחלקיהם	5150
	תקשורת	66	שירותי תקשורת	6420
ראה הסבר להלן			השכרת מכונות משרדיות וציוד (כולל מחשבים)	7123
	שירותי מחשוב	72	שירותי מחשוב	72
	ייעוץ בנושאי מחשוב	720	ייעוץ בנושאי חמרה	7210
	שירותי תכנות ותכנון מערכות	721	ייעוץ ואספקה בנושאי תכנה	7210
	שירותי תכנות ובניית אתרים באינטרנט	725		
	עיבוד נתונים	722	עיבוד נתונים	7230
	הכנת מאגרי מידע ואחזור מידע	723	פעילויות בנושא מאגרי מידע	7240
	תחזוקה ותיקון של ציוד עיבוד נתונים אוטומטי, מחשבים, מכונות משרד וחשבונאות	724	תחזוקה ותיקון של ציוד עיבוד נתונים אוטומטי, מחשבים, מכונות משרד וחשבונאות	7250
	פעילויות תפעול מחשבים בצ"נ	728	פעילויות אחרות בתפעול מחשבים	7290
מו"פ (למעט מלכ"ר), ראה הסבר להלן	מחקר ופיתוח	73	מחקר ופיתוח	73

```

1  function fe_ro_rel
2
3  format short
4
5  data = xlsread('c:\Users\USER\Desktop\SampleData.xls','Mat_Data');
6
7  Y = data(:,4);
8  X = data(:,1:2);
9  X = [ones(size(X,1),1) X];
10 id = flipplr(data(:,5:6));
11
12 [blank PER] = get_PER(id,1);
13 id = getid(PER);
14 data = [id Y X]; % keep the data
15
16 [beta_FE sigma_eFE SE_FE DW] = MultiEffects(Y,X,id)
17 ro_DW=1-DW/2
18
19 [ro_co betaFeRo sigma_eFeRo SE_FeRo] = FE_RO(Y, X, id)
20
21 [beta_RE SE_RE sigma_RE] = MultiWays_RE(Y,X,id)
22
23 end

```

```

25 function [Xf, vararginout] = demeanQ(X,ID,func)
26 nout = max(nargout,1)-1;
27 if nargin==3
28 [X ID]= func(X, ID);
29 end
30 Xf = X;
31 for h = 1: size(ID,2)
32     AVGX_I = zeros(max(ID(:,h)), size(X,2));
33     for i = 1:max(ID(:,h))
34         G = [1:size(ID,1)];
35         G(ID(:,h)~=i) = [];
36         AVGX_I(i,:) = mean(X(G,:));
37     end
38     Xf = Xf - AVGX_I(ID(:,h),:);
39
40     if h<=nout
41         vararginout(h) = {AVGX_I};
42         if size(ID,2)+h<=nout
43             vararginout(size(ID,2)+h) = {AVGX_I(ID(:,h),:)};
44         end
45     end
46
47 end

```

```

48 Xf = Xf + size(ID,2)*kron(ones(size(X,1),1), mean(X));
49 end

```

```

51 function [e_l e_y] = delag(X,PER)
52 i = 1;
53 while i<=size(X,1)
54     V = X(i:i+PER(i)-1,:);
55     e_l = V(1:size(V,1)-1,:);
56     e_y = V(2:size(V,1),:);
57     i = i + PER(i);
58 end
59 end

```

```

61 function [X2 ID2] = DropLast(X, ID)
62 if nargin < 2
63     X2 = X(1:size(X,1)-1,:);
64 else
65     [blank PER] = get_PER(ID,1);
66     X2 = []; ID2 = [];
67     i=1;
68     while i<=size(X,1)
69         X2 = [X2; X(i:i+PER(i)-1-1,:)];
70         ID2 = [ID2; ID(i:i+PER(i)-1-1,:)];
71         i = i + PER(i);

```

```

72 -     end
73 - end
74 -
75 -     ID2 = ID2 - kron(ones(size(ID2,1),1), min(ID2)) + 1;
76 - end
77 -
78 - function [X2 ID2] = DropFirst(X, ID)
79 -     if nargin < 2
80 -         X2 = X(2:size(X,1),:);
81 -     else
82 -         [blank PER] = get_PER(ID,1);
83 -         X2 = []; ID2 = [];
84 -         i=1;
85 -         while i<=size(X,1)
86 -             X2 = [X2; X(i+1:i+PER(i)-1,:)];
87 -             ID2 = [ID2; ID(i+1:i+PER(i)-1,:)];
88 -             i = i + PER(i);
89 -         end
90 -     end
91 -
92 -     ID2 = ID2 - kron(ones(size(ID2,1),1), min(ID2)) + 1;
93 - end
94 -
95 - function [id]= getid(PER)
96 -     i = 1; index = 1;
97 -     id = [];
98 -     while i<=size(PER,1)
99 -         id(i:i+PER(i)-1,1) = index;
100 -         id(i:i+PER(i)-1,2) = 1:PER(i);
101 -         i = i + PER(i); index = index + 1;
102 -     end
103 - end
104 -
105 - function [PER BigPER]= get_PER(ID,index)
106 -     if nargin < 2
107 -         index = 1;
108 -     end
109 -     PER = zeros(max(ID(:, index))-min(ID(:, index))+1, 1);
110 -     for i = 1 : size(ID, 1)
111 -         PER(ID(i,index)) = PER(ID(i,index)) + 1;
112 -     end
113 -     %-----
114 -     if nargin > 1
115 -         ID = sortrows(ID,index);
116 -         BigPER = PER(ID(:,index));
117 -     end
118 - end
119 -
120 - function [THETA med_theta sigma_ai]= GetTheta(ID, Y_AVG, X_AVG, sigma_e)
121 -     K = size(X_AVG,2);
122 -     groups = size(Y_AVG, 1);
123 -
124 -     PER = get_PER(ID);
125 -
126 -     % calculate Betta (Between + Within)
127 -     BP = inv(X_AVG*X_AVG)*X_AVG*Y_AVG;
128 -     % calculate Sigma (Between+Within);
129 -     SP = ((Y_AVG - X_AVG*BP)*(Y_AVG - X_AVG*BP) / (groups-K))^0.5;
130 -
131 -     Ti = groups / sum(1./PER); % harmonic mean
132 -     sigma_ai = (SP^2 - sigma_e^2/Ti)^0.5; % this the sigma Within
133 -
134 -     %calculate theta:
135 -     theta = zeros(groups, 1);
136 -     THETA = [];
137 -     for j = 1:groups
138 -         theta(j) = 1-(sigma_e^2 / ((PER(j)*(sigma_ai^2) + sigma_e^2))^0.5;
139 -     end
140 -     THETA = [THETA; theta(j)];
141 - end
142 - med_theta = median(THETA);
143 - end
144 -
145 - function [beta_RE SE_RE sigma_RE] = MultiWays_RE(Y,X,ID)
146 -     [beta sigma_e] = MultiEffects(Y,X,ID);
147 -     [Uf X_AVGI X_AVGT XX_AVGI XX_AVGT] = demeanQ(X,ID);
148 -     [Uf Y_AVGI Y_AVGT YY_AVGI YY_AVGT] = demeanQ(Y,ID);
149 -
150 -     N = size(X_AVGI,1);
151 -     T = size(X_AVGT,1);
152 -     K = size(X,2);
153 -
154 -     [blank PER] = get_PER(ID,1);
155 -     [blank TIME] = get_PER(ID,2);
156 -
157 -     [THETA1 med_theta1 sigma_ai] = GetTheta(ID(:,1), Y_AVGI, X_AVGI, sigma_e);
158 -     [THETA2 med_theta2 sigma_ti] = GetTheta(ID(:,2), Y_AVGT, X_AVGT, sigma_e);
159 -     THETA3 = THETA1 + THETA2 + sigma_e / (TIME*sigma_ai^2+PER*sigma_ti^2+sigma_e^2)^0.5 - 1;
160 -
161 -     % ----- duplicated rows
162 -     ID_ = sortrows(ID,2);
163 -     Y_AVG = kron(ones(size(Y,1),1), mean(Y));
164 -     X_AVG = kron(ones(size(X,1),1), mean(X));
165 -     % ----- end of duplication

```

```

169 - med_theta = [med_theta1 med_theta2 median(THETA3)]
170
171 - XTHETA1 = kron(ones(1,size(X,2)),THETA1);
172 - XTHETA2 = kron(ones(1,size(X,2)),THETA2);
173 - XTHETA3 = kron(ones(1,size(X,2)),THETA3);
174
175 - Y_RE = (Y - THETA1.*YY_AVGI - THETA2.*YY_AVGT+THETA3.*Y_AVG);
176 - X_RE = X - XTHETA1.*XX_AVGI - XTHETA2.*XX_AVGT+XTHETA3.*X_AVG);
177 - beta_RE = pinv(X_RE'*X_RE)*X_RE'*Y_RE;
178 - e = Y_RE - X_RE * beta_RE;
179
180 - sigma_RE = (e'*e / (size(Y_RE,1) - (N - 1+T+K))) ^ 0.5;
181 - SE_RE = sigma_RE * diag(pinv(X_RE'*X_RE))^0.5;
182
183 - end
184
185 - function [beta sigma_e SE DW] = MultiEffects(Y,X,ID)
186
187 - [Xf]= demeanQ(X,ID);
188 - [Yf]= demeanQ(Y,ID);
189
190 - beta = pinv(Xf'*Xf)*Xf'*Yf;
191
192 - e_it=Yf-Xf*beta;
193
194 - DW = DW_stat(e_it,ID(:,1));
195
196 - N = max(ID(:,1))-min(ID(:,1));
197 - T = max(ID(:,2))-min(ID(:,2));
198
199 - sigma_e = (sum((e_it).^2) / (size(Yf,1)-N-1-(T-1)-size(Xf,2)-2))^0.5;
200
201 - M = diag(pinv(Xf'*Xf))^0.5;
202 - SE = sigma_e*M(1:size(Xf,2));
203 - end
204
205 - function DW = DW_stat(e_it,ID)
206 - C=[]; D=[];
207 - for i = 1:max(ID)
208 - G = (1:size(ID,1));
209 - G(ID~=i) = [];
210 - ei=e_it(G); %errors in country i
211 - ei_lag=ei(1:size(ei,1)-1);
212 - ei_2=ei(2:size(ei,1));
213 - C(i)=sum((ei-ei_lag).^2)/size(ei,1);
214 - D(i)=sum(ei.^2)/size(ei,1);
215 - end
216 - DW=sum(C)/sum(D);
217 - end
218
219 - function [ro_co beta_new sig_e SE] = FE_RO(Y, X, ID) % fixed effect with autocorrelation (FE_AR1)
220 - N = max(ID(:,1));
221 - [blank PER] = get_PER(ID,1);
222 - beta = MultiEffects(Y,X,ID);
223
224 - [Xf_]= demeanQ(X,ID);
225 - [Yf_]= demeanQ(Y,ID);
226
227 - e = Yf_-Xf_*beta;
228 - [e_y_e_1]= delag(e,PER);
229 - ro_co=pinv(e_1'*e_1)*e_1'*e_y; %ro of Cocoren Ocourt
230
231 - [Xf]= demeanQ(X,ID,@DropFirst);
232 - [Yf]= demeanQ(Y,ID,@DropFirst);
233
234 - [LXf LX_AVGI LX_AVGT]= demeanQ(X,ID,@DropLast);
235 - [LYf LY_AVGI LY_AVGT]= demeanQ(Y,ID,@DropLast);
236
237 - ro_new = ro_co;
238 - beta_new = beta; %of FE
239 - gap = 10000;
240 - i = 1;
241 - while i < 100 & (gap > 0.001 | i < 2) % convergence is required (at least two iterations)
242 - last_ro = ro_new; last_beta = beta_new;
243 - beta_new = pinv((Xf-ro_new*LXf)*(Xf-ro_new*LXf))*(Xf-ro_new*LXf)*(Yf-ro_new*LYf);
244 - ro_new = pinv((LYf-LXf*beta_new)*(LYf-LXf*beta_new))*(LYf-LXf*beta_new)*(Yf-Xf*beta_new);
245 - gap = max(abs([last_beta; last_ro]-[beta_new; ro_new]));
246 - i = i+1;
247 - end
248
249 - ei = Yf-(1-ro_new)*LYf-(Xf-(1-ro_new)*LXf)*beta_new;
250 - sig_e = ei*ei / (size(ei,1)-size(LX_AVGI,1)+1-size(LX_AVGT,1)+1-size(Xf,2));
251
252 - X = Xf-(1-ro_new)*LXf;
253 - SE = sig_e^0.5*diag(pinv(X'*X))^0.5;
254 - end

```