



מודלים להערכות שווי ולאקטואריה פיננסית: מדדים של סיכונים פיננסיים / מאמר מס' 1 בסדרה

מאת: רועי פולניצר

1.1 מודל הערך הנתון בסיכון (VaR- Value at Risk)

לפני שנתחיל נזכיר כי המאמר האקדמי האמפירי הראשון שפורסם בישראל בנושא הוא של ה"ה ד"ר שילה ליפשיץ ז"ל ומר רועי פולניצר ומבוסס כולו על עבודת סמינריון בתואר השני שכתב מר פולניצר. לקריאת המאמר לחץ [כאן](#).

VaR, המכונה גם שווי הוגן בסיכון, מוגדר כהפסד מקסימלי שעלול להיגרם לתיק ברמת מובהקות שהוגדרה, כתוצאה משינויים בגורמי סיכון במשך פרק זמן מסוים. כך לדוגמה, אם Market VaR שחושב ברמת מובהקות של 95% עבור אופק זמן של יום אחד שווה ל- 1 מיליון ₪, אזי לפי המודל, בהסתברות של 95% התיק לא יספוג הפסדים הנובעים מסיכונים שוק (דהיינו, סיכונים הנובעים משינויים בלתי צפויים בשערי חליפין, שערי ריבית, מדדי מחירים, מחירי מניות ומחירי סחורות) השוק הגדול מ- 1 מיליון ₪ במהלך יום המסחר הבא או במילים אחרות, ההסתברות שהתיק יפסיד יותר מ- 1 מיליון ₪ כתוצאה מהתממשות סיכונים שוק במהלך יום המסחר הבא הינה נמוכה מ 5%.

קיימות שלוש גישות עיקריות לחישוב Market VaR, כמפורט להלן:

(I) סימולציית מונטה קרלו (Monte Carlo Simulation)

(II) סימולציה היסטורית (Historical Simulation)

(III) גישה אנליטית (VAR/COVAR)

מודל ה- Market VaR לוקח בחשבון גורמי סיכון שוק בלבד (דהיינו, שינויים בלתי צפויים בשערי חליפין, שערי ריבית, מדדי מחירים, מחירי מניות ומחירי סחורות).



תיאור המתודולוגיה לחישוב ה-Market VaR בגישה ההיסטורית

בגישה ההיסטורית יוצרים סימולציה של גורמי הסיכון אליהם חשופה הפוזיציה, על סמך שינויים שחלו בגורמי הסיכון בעבר. לאחר יצירת סימולציה של גורמי הסיכון, מבוצע שערך מחדש של התיק עבור מחירי גורמי הסיכון החדשים. הגישה ההיסטורית מתמודדת עם טיפול במכשירים לא ליניאריים ומתחשבת בקורלציות בין גורמי הסיכון השונים. להלן תיאור השלבים בחישוב ה-Market VaR בגישה ההיסטורית.

שלב א' – חישוב שווי הוגן

בשלב ראשון מבוצע חישוב שווי הוגן של המכשירים הפיננסיים המרכיבים את התיק לפי מודל (Marked to Model), כדלקמן:

- ✓ **מניות** – שינוי מחיר מניה בתרחיש, מורכב מהשינוי במטבע בו היא נקובה והשינוי במונחי המטבע. שינוי ערך המניה במונחי המטבע מחושב באמצעות ביתא כפול השינוי במדד המניות הרלוונטי.
- ✓ **תעודות סל ו-ETF** – מטופלים כמניות עם ביתא, יחסית למדד הרלוונטי, שווה ל-1.
- ✓ **אג"ח או מכשיר מסוג FIXED INCOME דמוי אג"ח** – השווי ההוגן של אג"ח מחושב באמצעות היוון התזרימים הצפויים למחזיק האג"ח (תשלומי ריבית + קרן) בשיעורי היוון הנגזרים מעקום הריבית הרלוונטי בתוספת מרווח האשראי הנכון למועד החישוב. מאחר וגורמי הסיכון מסוג ריבית ניתנים עבור מח"מים קבועים, ואילו התזרימים בעלי מח"מים אחרים (לדוגמה גורמי סיכון של ריבית לטווחים 4 ו-5 שנים ותזרים בעוד 4.3 שנים) יש צורך בביצוע אינטרפולציה על שיעורי ההיוון לצורך השערך בהווה וכן בתרחישים השונים.
- ✓ **אג"ח להמרה** – השווי ההוגן של אג"ח להמרה מחושב בדומה לאג"ח רגילה (סטרייט) בתוספת השווי ההוגן של אופציית Call על המניה הגלומה באג"ח להמרה. האופציה מחושבת באמצעות עץ בינומי שנפרס עד לתאריך הפירעון של האג"ח, בכל צומת מחושבים שינויים במחיר המניה (לפי החישוב לעיל), תזרימי האג"ח קבועים וזהים עד לפירעון ומתקבלת "החלטה" אם האג"ח תמשיך לשלם קופונים או תומר למניות. ההפרש בין הערך הנוכחי של העץ הבינומי לבין הערך הנוכחי של אג"ח חסרת סיכון הוא שווי האופציה.
- ✓ **אופציות** – השווי ההוגן של כל אופציה בתרחיש מחושב באמצעות נוסחת B&S. הערך של נכס הבסיס (המניה, המדד או מט"ח) מחושב בהתאם לעקרונות המתוארים לעיל. פרמטר התנודתיות של נכס הבסיס (Volatility) עבור אופציות מעו"ף מחושב כתנודתיות הגלומה במחיר השוק שלהן למועד החישוב.
- ✓ **Warrants** - השווי ההוגן של כל Warrant בתרחיש מחושב באמצעות נוסחת B&S. הערך של נכס הבסיס (המניה, המדד או מט"ח) מחושב בהתאם לעקרונות המתוארים לעיל. פרמטר התנודתיות של נכס הבסיס (Volatility) עבור Warrants מחושב כתנודתיות ההיסטורית למועד החישוב.



- ✓ **עסקאות אקדמה (Forwards) על מטבעות ומדדי מניות** – שווייה של כל פוזיציה בעסקאות אקדמה נמדדת בכל תרחיש ע"פ ההפרש בין השווי של שתי ה"רגליים" בעסקה בשקלים, כאשר רגל אחת היא מדד מניות (או אג"ח במקרה של חוזה על מטבעות) ורגל שנייה היא אג"ח.
- ✓ **עתידיות (Futures) למדדי מניות** – שוויין מוגדר כאפס, והסיכון שלהם נאמד לפי פוזיציה בשתי רגליים, לונג במדד המניות ושורט באג"ח.
- ✓ **במכשירים פיננסים מורכבים** – נבנה תיק תיאורטי לפי הרכב הנכסים כאשר כל רכיב בו מחושב בהתאם לעקרונות המתוארים לעיל.

שלב ב' – יצירת סימולציה של מחירי גורמי הסיכון

בשלב זה מבוצע חישוב של שינויים יומיים (במקרה של Market VaR יומי) בגורמי הסיכון הרלוונטיים ויצירת תרחישים באופן בו בכל תרחיש נוצר מחיר חדש של גורם הסיכון השווה למחיר ליום החישוב בתוספת השינוי היומי שחל באותו גורם סיכון.

שלב ג' – תמחור מחדש של התיק

בשלב זה מבוצע שערך של הנכסים וההתחייבויות עבור מחירי גורמי סיכון בכל אחד מהתרחישים שנוצרו בשלב הקודם. השערך מתבצע לפי המודלים המקובלים (היוון תזרימי מזומנים).

שלב ד' – יצירת וקטור שינויים ומציאת אחוזון

בשלב זה מחושבים שינויים בערך התיק על ידי הפחתה של תוצאות השלב הקודם מהשווי ההוגן המקורי ומחושב Market VaR המהווה אחוזון בהתאם לרמת המובהקות שנבחרה.

פרמטרים לחישוב ה-Market VaR

- ✓ **רמת מובהקות – 95%**
- ✓ **אופק החישוב – יום אחד**
- ✓ **חלון זמן היסטורי – שנתיים**



פרמטרים לחישוב תרחיש קיצון

תרחיש הקיצון מחושב ע"י שימוש במודל ה- Market VaR, ברמת בטחון של 100% ובחלון זמן היסטורי של שלוש שנים. תרחיש הקיצון מודד את ההפסד הפוטנציאלי המקסימלי הצפוי מתמהיל התיק הקיים.

מגבלות המודל

- ✓ השימוש ברמת מובהקות של 95% אינו לוקח בחשבון הפסדים שעלולים להתממש מעבר לרמת מובהקות זו (זנב ההתפלגות), כך שבמקרים קיצוניים ההפסד בפועל ליום אחד יכול להיות גבוה מה- Market VaR שנמדד.
- ✓ השימוש במדידת ה- Market VaR בסיכון של יום אחד קדימה, אינו לוקח בחשבון הפסדים שיכולים להיצבר במשך כמה ימי מסחר רצופים ואינו משקף באופן מלא סיכון שוק של פוזיציה שלא ניתן באופן מעשי לממש אותה או לאון אותה בתוך יום אחד.
- ✓ מגבלה אינהרנטית בתוך מודל ה- Market VaR היא שההתפלגות ההיסטורית של השינויים בגורמי השוק, אינה משקפת בהכרח את ההתנהגות הסטטיסטית של גורמי הסיכון בעתיד.
- ✓ על אף שההנחות וההערכות שנעשה בהם שימוש במודל הינן סבירות, אין מתודולוגיה סטנדרטית להערכת Market VaR, ושימוש בהנחות והערכות שונות או פרמטרים שונים (למשל סימולציה היסטורית המבוססת על תקופה היסטורית שונה) יכולות ליצור מדידת Market VaR שהינה שונה מהותית, כלפי מטה או מעלה.

בדיקה חוזרת (Backtesting) לתוצאות מדידת ה- Market VaR

מקובל לבצע מספר בדיקות לביסוס נכונות מודל ה- Market VaR ואיכותו, לרבות בדיקה חוזרת לתוצאות מדידת Market VaR כמפורט להלן (Backtesting):

Backtesting הינו תהליך הבוחן את מהימנות מודל ה- Market VaR אשר במסגרתו מחושב מספר הפעמים בו ההפסד בפועל (כהגדרת המונח להלן) היה גדול מערך ה- Market VaR שחושב, ונערכה השוואה למספר ההפסדים שאמורים היו להיווצר לפי רמת המובהקות עבורה חושב ערך ה- Market VaR.

"הפסד בפועל" – בודק את הרווח וההפסד של התיק בהינתן לתמהיל ליום המדידה, על פי מחירי גורמי הסיכון כפי שהתממשו ביום המסחר הראשון שלאחר מדידת ה- Market VaR.



חריגה מוגדרת כהפרש בין הפסד בפועל (כהגדרת המונח לעיל) לבין ערך ה-Market VaR. במצב שההפסד בבדיקה החוזרת נמוך יותר מערך ה-Market VaR, לא קיימת חריגה.

לסיכום נציין כי ישנם מודלים של VaR לא רק לכימות וניהול סיכונים שוק כי אם גם למדידת סיכונים אשראי (הן לסיכון חדלות פירעון והן לסיכון הורדת דירוג אשראי), סיכונים נזילות, סיכונים השקעות (הן להשקעה שולית והן להשקעה תוספתית) וסיכונים מימון (עבור קרנות פנסיה וקופות גמל).

1.2 מדדי סיכון קוהרנטיים

בעת קביעת מדד סיכון ראוי להנחה בדבר לצורתה של התפלגות התשואות של נכס הבסיס משקל סגולי מכריע. ניתן ליישם את במסגרת "התוחלת-שוונות" תחת ההנחה של התפלגות אליפטית כמו למשל ההתפלגות הנורמלית. מדד הערך הנתון בסיכון (VaR) יכול לשמש לכימות הסיכון כאשר התפלגות התשואות אינה אליפטית, אך מדידה זו לא תהא מהימנה וגם לא תספק למעשה כל אומדן לסכום ההפסד. תוחלת הקריסה (ES) הינה מדד סיכון חזק יותר מהערך הנתון בסיכון אשר עונה על התכונות התכונות המאפיינות מדד סיכון קוהרנטי ובעל הכי פחות הנחות מגבילות.

מודל תוחלת-השוונות המסורתי אומד את כמות הסיכונים הפיננסיים עבור תיקים במונחי התשואה (התוחלת) והסיכון (סטיית התקן או השוונות) הצפויים של התיק. ההנחה ההכרחית לקיומו של המודל הינה כי התפלגות התשואות של התיק הינה התפלגות אליפטית.

החזית היעילה או ספר היעילות הינה קבוצה התיקים השולטים על כל יתר התיקים האחרים, ביקום ההשקעות בנכסים מסוכנים, ביחס לסיכון ותשואה. בהינתן נייר ערך חסר-סיכון (הן חסר סיכון אשראי והן חסר סיכון שוק הואיל וסטיית התקן שלו היא אפס), הרי שקבוצת התיקים האופטימלית תורכב מקו ישר היוצא מתשואתו של נייר הערך חסר-הסיכון ושמשקל לחזית היעילה בנקודה שבה נמצא תיק השוק.

כאמור, מסגרת תוחלת-השוונות איננה מהימנה כאשר התפלגות התשואות של נכס הבסיס איננה נורמלית או אליפטית. סטיית התקן איננה מדד סיכון מדויק היות והיא אינה תופסת את ההסתברות לקבלת תשואות שאינן רצויות כאשר פונקציית הצפיפות של תשואות נכס הבסיס אינה סימטרית.



הערך הנתון בסיכון (VaR - Value-at-Risk) הינו מדד סיכון הקובע את ההסתברות "ליפול" בזנב השמאלי של התפלגות התשואות עבור רמת ביטחון נתונה. ה-VaR מוגדר כדלקמן: $[\mu - (z)(\sigma)]$. נציין כי קיימות מגבלות ביישום מודל ה-VaR כגון: בחירת התפלגות התשואות של נכס הבסיס, בחירה שרירותית של רמות ביטחון ותקופות אחזקה, וכן אי היכולת לחשב את עוצמת ההפסדים.

התכונות המאפיינות מדד סיכון קוהרנטי הינן:

- מונוטוניות: $Y \geq X \Rightarrow \rho(Y) + \rho(X)$
- סאב-אדיטיביות: $\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$
- הומוגניות חיובית: $\rho(hX) = h\rho(X), \forall h > 0$
- אינווריאנטיות לטרנספורמציות: $\rho(X + n) = \rho(X) - n$

סאב-אדיטיביות, שהינה התכונה החשובה ביותר עבור מדד סיכון קוהרנטי, מעידה על כך שהסיכון של תיק המורכב ממספר תתי-תיקים הינו נמוך יותר או לכל היותר שווה לזה של סך הצברם של הסיכונים של כל אחד מתתי התיקים המרכיבים את התיק. ה-VaR למעשה מפר את תכונת הסאב-אדיטיביות ועל כן הוא אינו מדד סיכון קוהרנטי.

תוחלת הקריסה (ES- Expected Shortfall) הינה מדד סיכון מדויק יותר מה-VaR מהסיבות הבאות:

- ה-ES מספק את כל התכונות המאפיינות מדד סיכון קוהרנטי לרבות תכונת סאב-אדיטיביות.
- שטח הפנים של סיכון התיק עבור ה-ES הינו קמור היות ותכונת הסאב-אדיטיביות מתקיימת. לפיכך, ה-ES מתאים יותר ממודל ה-VaR לפתרון בעיות אופטימיזציה של תיקים.
- ה-ES מספק אומדן לעוצמת ההפסדים עבור מאורעות שאינם רצויים, בעוד שה-VaR אינו מספק כל אומדן לרמה המקסימלית של ההפסד או יותר נכון לענות על השאלה כמה גבוהים יכולים להיות ההפסדים.
- ל-ES יש הרבה פחות הנחות מגבילות באשר לכללי החלטה של סיכון/תשואה.



ה-ES הינו מקרה פרטי של מדד מרחב סיכונים שבו פונקציית השיקלול שווה ל- (רמת הביטחון – 1/1), כאשר לכל הפסדי הזנב ישנו משקל זהה, ולכל יתר האחוזונים יש משקל אפס. ה-VaR הינו מקרה פרטי של מדד של ספקטרום סיכונים שבו רק אחוזון אחד נמדד, פונקציית השיקלול שווה לאחד, ה-p-value שווה לרמת המובהקות ולכל יתר האחוזונים יש משקל של אפס.

היות ותוחלת הקריסה הינה מדד סיכון קוהרנטי, הרי שתוצאות ניתוח תרחישים גם הן מדדי סיכון קוהרנטיים. ניתן לחשב את ה-ES של ההתפלגות גם על ידי מיצוע (קרי, חישוב הממוצע האריתמטי הפשוט) ההפסדים עבור תרחישי הפסד שונים.

פרטי משרד הערכות השווי : שווי פנימי

משרד הערכות השווי **שווי פנימי** מספק שירותי הערכות שווי של תאגידים, נכסים בלתי מוחשיים ומכשירים פיננסיים מורכבים למטרות מס, עסקאות, דוחות כספיים ולצרכים משפטיים ומתמחה בביצוע ניתוחים כמותיים במכשירים פיננסיים ובמדידת סיכונים לצורכי יישום הוראות רגולטוריות, תקינה חשבונאית, פיתוח, יישום ותיקוף מודלים בתחומי הניהול הסיכונים ובנושאים נוספים.





רועי פולניצר – בעלים של משרד "שווי פנימי" המתמחה בהערכות שווי בלתי תלויות

בעשור האחרון היה רועי אחראי על מאות עבודות להערכות שווי של חברות שונות, ייחוס עודף עלות, ייעוץ כלכלי ומידול פיננסי אשר בוצעו עבור חברות פרטיות וציבוריות, משרדי רואי חשבון ומשרדי ייעוץ כלכלי בישראל.

רועי הקים ועומד בראש לשכת מעריכי השווי והאקטוארים הפיננסיים בישראל (IAVFA), פיתח את 9 תוכניות ההסמכה של הלשכה וכתב את כללי האתיקה והסטנדרטים המקצועיים של הלשכה. בנוסף, רועי כיהן כיו"ר הוועדה לקביעת קווים מנחים עבור רשות המסים בישראל לביצוע, פיקוח וניהול הערכות שווי של תאגידים, נכסים בלתי מוחשיים ומכשירים פיננסיים, המוכרת יותר בשמה הלא רשמי – **וועדת פולניצר**.

לרועי ניסיון כמומחה בהליכים משפטיים ובעבודה מול רשות המסים, מול רשות ניירות ערך ומול גופים סטטוטוריים אחרים. כמו כן, הוא יו"ר פורום הפרקטיקנים של לשכת מעריכי השווי והאקטוארים הפיננסיים בישראל וכתב את 8 גילויי דעת של הלשכה.

רועי ייבא ארצה את המודל הטוב ביותר בעולם להערכת שווי ופיצול מכשירי חוב/הון היברידיים (כגון: אג"ח להמרה, הלוואה המירה ומסגרת מימון המירה) והתאמת אותה למאפיינים הייחודיים של שוק איגרות החוב להמרה הישראלי. פרסום עבודה, שביצע עבור חברה ציבורית בנושא זה, באתרי מגנ"א ומא"י הביא לשינוי המתודולוגיה המשמשת בארץ להערכת שווי ופיצול מכשירי חוב והון משולבים.

רועי פיתח מתודולוגיה ייחודית לבניית עקומי תשואות להיוון תזרימי המזומנים של מכשירים (נכסים והתחייבויות) פיננסיים בכלל ולהתחייבויות פנסיוניות בפרט ומתודולוגיה ייחודית לדירוג פנימי של חברות המבוססת על נתונים המשתמעים באופן ישיר או עקיף מנתוני שוק. בנוסף, רועי פיתח את **מודל פולניצר** להערכת שווי השוק ההוגן של חברה פרטית, **נוסחת פולניצר** לאמידת סטיית התקן של שיעורי התשואה על נכסי החברה, **פונקציית פולניצר** לאמידת שיעור הניכיון בגין היעדר הסחירות (DLOM) של נכס לא סחיר, **ציון פולניצר** לדירוג אשראי סינטטי/פנימי של חברה ישראלית ובימים אלו הוא שוקד על פיתוחים נוספים.

רועי הינו מרצה מבוקש להערכת שווי, ניהול סיכונים ואקטואריה, המופיע בפני חברי הנהלה ודירקטורים, ובפורומים מקצועיים של של לשכת מעריכי השווי והאקטוארים הפיננסיים בישראל. בעבר שימש כמרצה בקורסים מתקדמים בניתוח דוחות כספיים והערכת שווי חברות במכללה האקדמית אשקלון.



רועי הינו בעל תואר שני במנהל עסקים (התמחות במימון) ותואר ראשון בכלכלה ומימון, מאוניברסיטת בן-גוריון. כמו כן, רועי מוסמך הן כאקטואר והן כמעריך שווי מטעם לשכת מעריכי השווי והאקטוארים הפיננסיים בישראל, ומוסמך כמנהל סיכונים פיננסיים (FRM) מטעם GARP.