



דו"ח סופי

מוגש למוסד לביטוח לאומי

מחקר זה מומן על ידי המוסד לביטוח לאומי

פיתוח מבחן קוגניטיבי להערכת רמת העייפות בקרב נהגים מקצועיים

ד"ר פארלי סתר וד"ר הדס מרציאנו

אוקטובר 2017

תקציר

מטרת העבודה הנוכחית הייתה לפתח מבחן קוגניטיבי פשוט וקצר שיאפשר לאבחן האם הנהג עייף מכדי לנהוג. עייפות כתוצאה מחוסר בשינה יכולה להביא לתוצאות שונות שנעות בין השפעה קלה בלבד על איכות ביצוע של מטלות שונות עד להשפעה משמעותית ביותר שעלולה לגרום לתאונות שונות, לרבות תאונות דרכים. אצל רוב האנשים, ירידה ברמת הדיוק ובזמן הביצוע של מבחנים שקשורים לעירנות פסיכומטרית מתרחשת כבר לאחר 16 שעות עירות רצופות. על מנת לפתח מבחן שכזה בוצעו תחילה סקרי ספרות בשני נושאים משלימים (ראה דו"ח שנה א', סתר ומרציאנו, 2016). הסקר הראשון עסק בהשפעת עייפות על תיפקודים קוגניטיביים ואילו הסקר השני עסק בהשפעת ירידה בתיפקודים קוגניטיביים שונים על הנהיגה. שילוב המידע משני סקרים אלו גם יחד היווה את הבסיס לפיתוח המבחן ששימש בניסוי סימולטור הנהיגה, המוצג בדו"ח הנוכחי. מבחן זה כונה על ידינו PAM-test, ובו הוספנו מורכבות שחסרה לדעתנו במבחן ה-PVT, המקובל לבחינת קשב מתמשך, משמש רבות להערכת עייפות במחקרים, ואשר שימש במחקר הנוכחי כמבחן להשוואה אל המבחן שפותח על ידנו. המבחן שפיתחנו - PAM-test - בוחן, מעבר להשפעת העייפות על תגובה פסיכומטרית פשוטה ועל קשב מתמשך, גם השפעות שקשורות לזיכרון עבודה.

הדו"ח הנוכחי הינו דו"ח סופי לפרוייקט כולו. מוצגים בו שני סקרי ספרות נרחבים בנושאים: 1. השפעת עייפות על תיפקודים קוגניטיביים שונים; ו-2. תיפקודים קוגניטיביים רלוונטיים לנהיגה שנפגעים מחוסר בשינה. לאחר מכן, מתואר תהליך פיתוח מבחן ה-PAM-test. בהמשך מתוארת שיטת המחקר של ניסוי סימולטור הנהיגה. הניסוי התבצע בשני מפגשים שונים, אחד המפגשים התקיים לאחר לילה ללא שינה ואילו המפגש השני לאחר לילה שבו הנבדק ישן היטב (כפי שנמדד באמצעות מכשיר אקטיגרף אותו ענד הנבדק למשך כל היממה שלפני הניסוי). בכל אחד מן המפגשים הנבדק נהג כשעתיים בתרחיש נהיגה מתמשך, משעמם וחד גוני. על מנת לבחון את יכולת הניבוי של מבחני העייפות לגבי ביצועי הנהיגה של הנבדק, לפני תחילת הניסוי ובמהלך הנהיגה לאחר כל חצי שעה, התבקש הנבדק לבצע את שני מבחני העייפות, כל אחד במשך 3 דקות (סדר המבחנים אוזן בין הרצה אחת לשנייה וכן בין הנבדקים). מעבר לכל פגישה בוצע כל אחד מן המבחנים חמש פעמים. בנוסף, בכל אחת מחמש הפעמים הללו התבקש הנבדק לדווח מהי רמת העייפות הסובייקטיבית שחש על גבי סולם ליקרט בין 1 ל-7 (Stanford Sleepiness Scale).

בסוף הדו"ח הנוכחי מוצג פרק תוצאות ולאחריו פרק דיון והמלצות. למרות שה PAM-test שהצענו אכן הצליח למדוד עייפות בנהיגה בצורה מהימנה עבור מדדים שונים, הוא לא נמצא יעיל יותר ממבחן ה-PVT המקובל בתחום. לאחר בחינה מעמיקה של המבחן שהוצע מועלית הסברה שיתכן שה PAM-test הינו "אקטיבי" מידי מה שעלול לגרום לרמה מסויימת של עוררות. בשל חשיבות הנושא, אנו סבורות שיש להמשיך ולחקור ולהציע מבחנים אחרים, שיכללו מלבד רכיב פסיכומטורי ורכיב של קשב מתמשך גם רכיב זכרון עבודה ועדיין יהיו מספיק "משעממים" כך שלא יגרמו כלל לעוררות. מבחן שכזה מוצע על ידנו בפרק הדיון, מתוך תקווה שניתן יהיה לבחון את ישימותו באמצעות מחקר המשך.

1.1 סקר ספרות בנושא השפעת עייפות על תפקודים קוגניטיביים שונים

1.1.1 מבוא

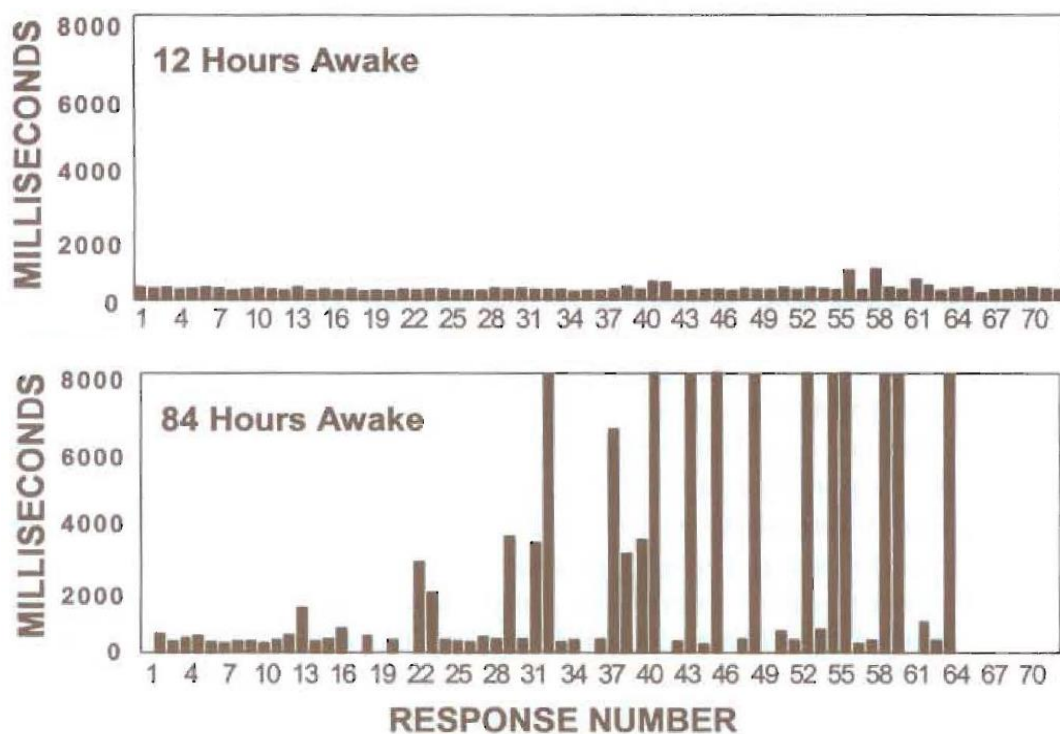
כל אחד יודע מניסיונו האישי ששינה טובה היא ערובה לתפקוד טוב. כאשר איננו ישנים מספיק אנו איטיים יותר ויעילים פחות. ההשפעות של עייפות כתוצאה מחוסר בשינה יכולות לנוע בין השפעה קלה בלבד על איכות הביצוע של מטלות שונות עד השפעה משמעותית ביותר שאף עלולה לגרום לתאונות, לרבות תאונות דרכים (Philip et al., 2005). שלא כמו צריכת אלכוהול או סמים, שניתן לגלות באמצעות בדיקות כימיות שונות (כמו בדיקת "ינשוף" או בדיקות דם ושתן), קשה להוכיח שאדם עייף וכן קשה להוכיח שעייפות מהווה את הסיבה לתאונה. למרות קושי זה, הטענה שעייפות היא הסיבה לתאונות דרכים או תאונות עבודה רבות נפוצה ביותר ויש להניח שאמת ביסודה. הצורך בשינה משתנה באופן משמעותי בין אנשים שונים (Shneerson, 2000) אולם מקובל לטעון שמספר השעות הממוצע הדרוש לתפקוד יעיל של אדם בוגר הוא בין 7 ל-8.5 שעות (Kripke et al., 2002; Kronholm et al., 2006). כאשר שעות הערות הרצופות נמשכות מעבר ל-16 שעות, אצל רוב האנשים מתחילים לראות ירידה ניכרת בזמן תגובה וירידה ברמת הדיוק בביצוע מבחנים שקשורים לעירנות פסיכומטורית (Goel et al., 2009).

1.1.2 הסיבות לירידה בתפקוד כתוצאה מחוסר שינה

מאז פורסם המחקר הראשון שעסק בהשפעה שיש לחוסר בשינה על ביצועים קוגניטיביים, מחקר שבו שלושה נבדקים לא ישנו במשך 90 שעות (Patrick & Gilbert, 1896), נערכו ונערכים מאות מחקרים במטרה לבחון את הקשר בין חוסר שינה לבין תפקוד. ישנה מחלוקת בין החוקרים על הסיבה לירידה ביכולות הקוגניטיביות כתוצאה מחסך בשינה. המחלוקת מתמקדת בהכרעה בין שתי טענות: א. שהירידה ביכולות הקוגניטיביות נובעת מפגיעה זמנית והפיכה בתהליכים מוחיים; ב. שחסך שינה אינו מוריד את היכולות עצמן אלא גורם לישונויות וחוסר עירנות. החשיבות של הכרעה במחלוקת זו נובעת מכך שלסיבה שעומדת בבסיס הירידה ביכולות ישנה השלכה על סוג היכולות שנפגעות לעומת יכולות אחרות שנפגעות פחות או כלל לא נפגעות מחסך בשינה. אם הסיבה היא פגיעה בתהליכים מוחיים, נפגעות היכולות הנשלטות על ידי איזורים מוחיים שידועים כפגיעים יותר לחוסר בשינה (כמו הקורטקס הפרה-פרונטלי, באנגלית: prefrontal cortex PFC). לעומת זאת, אם הסיבה היא ירידה בעירנות, ניתן להסיק שכל מטלה שקשורה לקשב מתמשך, כלומר ליכולת לשמור על ריכוז לזמן ארוך, נפגעת במצב של חסך בשינה.

הטענה שגורסת שהפגיעה בתפקודים קוגניטיביים נגרמת בעיקר מפגיעה בעירנות, רואה את המנגנון ההומאוסטטי, שמתגבר ומפעיל מנגנונים לאתחול שינה, כאחראי לתופעה. במצב כזה של חוסר בשינה, נטען, מתקיים מאבק בין הדחף להרדמות של המנגנון ההומאוסטטי והרצון לשמור על עירנות. טענה זאת תואמת את **תיאוריית המעידות** (Lapses) על פיה אירועי הרדמות קצרים (microsleeps) מתרחשים כתוצאה מחוסר בשינה (Goel et al., 2009). אירועים אלו נמשכים בין שבריר שניה (כ-500 אלפיות שניה א"ש) עד ל-30 שניות ובמהלכם לא ניתן להגיב לגירויים. כתוצאה מכך נוצר מצב עירנות לא יציב, שמשתנה מרגע לרגע. השערה זאת, נסמכת על

תוצאות מחקרים, שהבחינו בכך שלעיתים גם לאחר חוסר ארוך בשעות שינה (78 שעות), הנבדקים ביצעו לעיתים את המטלה באופן מהיר ומדויק. אולם, מספר המעידות שקרו הלך וגדל יותר ויותר ככל שמשך העירות התארך (Williams et al., 1959). (Doran et al (2001) טענו שאם תיאורית המעידות נכונה הרי שההבדל המשמעותי ביותר בין הביצוע בתנאי ללא חוסר שינה לבין ביצוע בתנאי חוסר בשינה, לא צריך להיות ברמת ביצוע המטלה, אלא ברמת השונות של הביצוע. הם השוו ביצוע של מטלת PVT (Dinges & Powell, 1985, ראה נספח א) בין קבוצת נבדקים שנמנעה מהם שינה למשך 88 שעות (קבוצת ניסוי) לבין קבוצה שהתירו לה לישון (קבוצת ביקורת). החוקרים מצאו שזמני התגובה של קבוצת הניסוי היו ארוכים יותר, אבל יותר מזה, ובהתאם להשערתם, הם מצאו שסטיות התקן של הזמנים היו גדולות יותר בהשוואה לקבוצה השנייה. כמו כן נמצא שלאחר 18 שעות של הימנעות משינה גדל חוסר היציבות ברמת הביצוע כפונקציה של הזמן (תמונה 3). השונות הרבה בביצוע בקרב קבוצת הניסוי כללה רמות ביצועים משתנות, מביצוע ברמה נורמלית לביצוע בזמן ארוך מאוד. כמו כן נמצאו יותר טעויות מסוג החמצות (כתוצאה ממעידות) וטעויות מסוג אזעקות שווא (תגובה כאשר אין שום גירוי). המחברים התקשו להסביר את העלייה באזעקות השווא ושיערו שהיא נובעת מהשקעת מאמץ מיוחד כדי לחפות על ביצוע לא מספק. לבסוף, טענו החוקרים שהסיבה לכך שישנם מחקרים בהם לא נמצא חוסר יציבות בתגובות כתוצאה מעייפות, היא שבמחקרים אלו הופעת הגירוי הייתה בתדירות שאינה גבוהה מספיק (לדוגמא, Wilkinson, 1968).



תמונה 3: למעלה ניתן לראות זמני תגובה של 70 צעדים במטלת PVT לאחר 12 שעות עירות. למטה, ניתן לראות זמני תגובה לאחר 84 שעות עירות. מהצעד ה-22 ניתן לראות מקרים רבים של זמני תגובה ארוכים מאוד. אולם, עדיין ניתן לראות זמני תגובה נורמליים ביניהם. מתוך (Doran et al (2001).

הטענה שירידה בביצוע מטלות נעוצה במעידות (lapses) מניחה שרמת ביצוע בין המעידות נשארת ללא פגע. אולם, הנחה זו לא עומדת במבחן המציאות, שכן ירידה בזמן תגובה של מטלות קוגניטיביות נצפתה גם ללא קשר למעידות (Dorrian et al., 2005). תופעה נוספת שקשה להסבירה בעזרת תיאורית המעידות היא העלייה באזעקות השווא (Doran et al., 2001). מנגד, תופעות אלו ניתנות להסבר באמצעות התיאוריה השנייה, שטוענת שחסך בשינה משפיע על פעילות של איזורים מסוימים במוח וכתוצאה מכך נפגעות יכולות קוגניטיביות שקשורות לאזורים אלו. החוקרים המצדדים בתאוריה זו מתייחסים בעיקר לפגיעה הפיכה בתפקודים קוגניטיביים גבוהים שתלויים בקורטקס הפרה-פרונטלי, כמו שפה, תפקודים ניהוליים (executive functions), חשיבה מסתעפת (divergent thinking) ויצירתיות (Verweij, et al., 2014). Jones and Harrison (2001) כמו גם Harrison and Horne (2000) סקרו ספרות שעסקה בהשפעת חסך בשינה על תפקודים שמיוחסים לקורטקס הפרה-פרונטלי הגיעו למסקנה שהירידה בתפקוד לא יכולה לנבוע מירידה בעירנות ובקשב בלבד. (Harrison et al (2000) הראו שנבדקים צעירים שנשארו ערים למשך 36 שעות ביצעו מטלות שמיוחסות לקורטקס הפרה-פרונטלי ברמת ביצוע נמוכה יותר, בדומה לרמה של אנשים קשישים. חיזוק לטענה לפגיעה מוחית זמנית והפיכה כתוצאה מעייפות מגיע גם ממחקרי הדמית fMRI שהדגימו ירידה בפעילות בקורטקס הפרה-פרונטלי במהלך ביצוע מטלות לאחר שעות ערות רבות (Chee & Choo, 2004; Drummond et al., 2000; Ma et al., 2015).

בעת הזו עדיין אין הסכמה בין החוקרים השונים ביחס לגורם המשפיע ביותר על תפקודים קוגניטיביים כתוצאה מחוסר בשינה. סביר להניח שלשני הגורמים, אירועי הרדמות קצרים כתוצאה מהתהליך ההומאוסטטי והירידה בתפקוד הקורטקס הפרה-פרונטלי, יש השפעה שמתרחשת במקביל. ניתן לסכם אם כך, שמאחר ושתי הסיבות לפגיעה בתפקודים מתקיימות במקביל, לא ניתן לקבוע באופן חד משמעי אילו תפקודים נפגעים יותר בהסתמך על סיבת הפגיעה.

1.1.3 גורמים לאי אחידות בתוצאות מחקרים שעוסקים בחוסר בשינה

מסקירה נרחבת של הספרות בתחום הסתבר שאין אחידות בתוצאות המחקרים שבדקים השפעה של חוסר שינה על תפקודים קוגניטיביים. יכולות להיות לכך מספר סיבות. הסיבה הראשונה היא שיש הבדלים בין אישיים ושונויות גדולה בין נבדקים. יתכן מצב שבו רמת הביצוע של נבדק מסוים, שמשותף בניסוי בתנאי של חוסר בשינה, תהיה גבוהה יותר מרמת הביצוע של נבדק אחר, שמשותף באותו ניסוי בתנאי ללא חסך בשינה. הסיבה השנייה היא שונויות בתוצאות של אותו נבדק עצמו כתוצאה מתנאי המחקר השונים. כך למשל, הירידה ברמת הביצוע של נבדק, הצפויה להימצא כתוצאה מחוסר בשינה, יכולה להתבטל כתוצאה מתהליך למידה של מטלה מרובת חזרות. סיבה נוספת קשורה לבחירת המשתנים התלויים במחקר. ההבדלים הבין אישיים והתוך אישיים מחייבים בחירת מדדים רגישים וניתוח מתאים. אם בחירה כזו לא מתקיימת יתכן שההשפעה של חסך שינה לא תבוא לידי ביטוי במדידות, למרות שהיא אכן מתרחשת בפועל. בהמשך הפרק נפרט יותר על הסיבות לשונויות הגדולה בתוצאות המחקרים הקיימים בספרות על השפעת חוסר שינה על תפקודים קוגניטיביים.

1.1.4 הבדלים בין אישיים

מחקרים מראים שקיימים הבדלים בין אישיים ביכולת לשמור על רמת ביצוע של מטלה בתנאי של חסר בשינה (Durmer & Dinges, 2005; Frey et al., 2004). ישנם אנשים שמושפעים רק מעט מחוסר שינה ומסוגלים להגביר את רמת העירנות. לעומתם ישנם אנשים פחות עמידים ה"נכנעים" ביתר קלות לצורך הביולוגי לשינה. כמו כן, נבדקים נבדלים ביכולות הקוגניטיביות שלהם מלכתחילה. לכן, יתכן מצב שרמת ביצוע של נבדק בתנאי של חוסר בשינה תהיה גבוהה יותר מאשר של נבדק אחר שביצע את אותו ניסוי בתנאי ללא חוסר בשינה. תכונת העמידות או אי עמידות לחוסר שינה אופיינית לאדם מסוים ובאה לידי ביטוי בעקביות בניסויים חוזרים (Van Dongen et al., 2004). מחקרים הראו שמשתנים כמו היסטורית השינה לפני הניסוי, רמה בסיסית של תפקוד קוגניטיבי, הרכב דם או שתן או אפילו תכונות פסיכולוגיות שקשורות לאישיות לא מנבאים באופן מובהק את ההבדלים הבין אישיים האלה (Van Dongen & Belenky, 2009). כאשר מתמקדים בהשפעת חוסר שינה על מטלות פסיכומטריות ניתן לראות הבדל בין האוכלוסייה הצעירה לאוכלוסייה המבוגרת (Duffy et al., 2009). אמנם רמת הביצוע ההתחלתית של המבוגרים נמוכה יותר, אולם, הירידה בביצוע, כולל עליה בזמני תגובה ומספר המעידות, גדולה יותר אצל הצעירים מאשר אצל המבוגרים יותר (Adam et al., 2006; Duffy et al., 2009; Stenuit & Kerkhofs, 2005).

1.1.5 הבדלים במתודולוגיות המחקר

בגלל ההבדלים הבין אישיים המשמעותיים יש חשיבות רבה לבחירת המתודולוגיה המחקרית. חלק מהמחקרים הקיימים בספרות בוצעו באמצעות **מערך בין נבדקי**, כאשר קבוצות נבדקים אחת ביצעה את המטלות ללא הגבלת שינה והשנייה עם הגבלה כלשהי על השינה. במחקרים כאלה, על הקבוצות להיות גדולות כדי שההבדלים הבין אישיים ישפיעו פחות על התוצאות. אולם, לא בכל המקרים הקפידו החוקרים על קבוצות ניסוי גדולות דיין. יתכן שהשפעת חוסר השינה על תפקוד מסוים לא תימצא במחקר, למרות שהיא קיימת בפועל, בגלל הבדלים בין אישיים בין הנבדקים בקבוצות השונות. בנוסף, ישנה משמעות רבה **להוראות** שמקבל הנבדק במחקרים בכלל, ובמחקרים שעוסקים בחוסר שינה, בפרט. ממצאים מראים שכאשר המוטיבציה של הנבדק לבצע את המטלה גבוהה, הוא יכול להתגבר על הצורך לישון וההשפעה של חסר השינה יורדת. העלאת המוטיבציה מתקבלת, למשל, כשמובטח לנבדק בונוס על ביצוע טוב (Van Orden et al., 1996; Horne & Pettitt, 1985) או אם חושפים בפני הנבדק את הציון שקיבל בכל צעד בניסוי (Roach et al., 2016; Steyvers & Gaillard, 1993). לפיכך, קשה לתת אמון בממצאי מחקרים בהם לא נמצאה השפעה של חוסר שינה כאשר המוטיבציה של הנבדקים תופעלה באופן כלשהו. במקרה כזה אין לדעת אם אכן התפקוד שנבחן אינו מושפע מחוסר בשינה או שמא השפעת חוסר השינה נוטרלה בשל המוטיבציה הגבוהה של הנבדקים להצליח במטלה. לבסוף, במחקרים שבודקים רמת ביצוע יש תמיד לתת את הדעת על השפעת **הלמידה**. ככלל, נבדק הולך ומשתפר בביצוע המטלה ככל שמספר החזרות עליה הולך וגדל. שיפור זה עלול להסוות את הירידה בביצוע שנובעת מחוסר בשינה (Frey et al., 2004). לכן יש להקפיד על

בחירת מטלות בהן עקום הלמידה יהיה כמה שיותר שטוח, או לבצע אימון רב כדי שהנבדק יגיע לרמתו המקסימלית עוד לפני תחילת הניסוי עצמו.

1.1.6 חוסר אחידות בהגדרת חסר בשינה

המחקרים מחלקים את חוסר השינה לשלושה סוגים: חוסר שינה מוחלט לזמן ארוך (מעל 45 שעות), חוסר שינה מוחלט לזמן קצר (פחות מ-45 שעות) וחוסר חלקי בשינה (שינה של פחות מ-7 שעות ללילה) (Philibert, 2005). למשך זמן הערות ישנה חשיבות רבה בהשפעה על התפקוד. ישנן דוגמאות רבות לכך שלחוסר שינה מסוג אחד יש השפעה שונה לעומת חוסר שינה מסוג אחר. לדוגמא, במטה אנליזה שערכו (Koslowsky and Babkoff, 1992) נמצא שכאשר חסר השינה קצר מ-45 שעות המדד שמושפע בעיקר הוא הדיוק ואילו כאשר חוסר השינה ארוך מ-45 שעות המדד שמושפע בעיקר הוא זמן התגובה.

1.1.7 חוסר אחידות בבחירת המטלות לבחינת תפקוד קוגניטיבי מסוים

מחקרים שונים בדקו את ההשפעה של חוסר בשינה על תפקודים קוגניטיביים שונים. אולם, גם כאשר נמדדה ההשפעה על אותו תפקוד קוגניטיבי, סקירת הספרות מוכיחה שהמטלות שנבחרו במחקרים שונים, כדי לכמת את ההשפעה, היו שונות זו מזו. אם נבחן, לדוגמא, את המטלה שבה נעשה השימוש הרב ביותר לבחינת השפעת עייפות על ביצוע, מטלת ה-PVT, נגלה הבדלים משמעותיים בשיטה בה נקטו מחקרים שונים. בחלק מהמחקרים הנבדקים היו צריכים להגיב לגירוי גיאומטרי פשוט, לדוגמא, ריבוע שהופיע על המסך (Sagaspe et al., 2006). במחקרים אחרים הגירוי דמה לשעון עצר, כאשר על המסך הופיע שעון דיגיטלי שרץ ועצר ברגע שהנבדק לחץ על מקש התגובה (למשל, Lee et al., 2003). במקרה הזה הנבדק מקבל, הלכה למעשה, משוב לגבי זמן התגובה שלו, וכפי שציינו למעלה, הדבר עשוי להעלות את המוטיבציה ולטשטש את השפעת חוסר השינה.

בנוסף, אפילו עבור מבחן פשוט כמו ה-PVT, הפרשנות לגבי התפקוד שנבדק באמצעותו שונה ממחקר למחקר. ישנם מחקרים שטוענים שהמבחן בודק קשב ואילו אחרים טוענים שהוא בודק תגובה חזותית-מוטורית בלבד. למעשה, לעיתים קרובות מבחן אחד בודק מספר תפקודים בו זמנית. לדוגמא נציג את מבחן ה-Cognitron בו על הנבדק לבדוק אם תמונה שמוצגת לו כעת הייתה אחת מארבע תמונות שהוצגו קודם לכן. מבחן זה בודק תפקודים שונים בו זמנית - קשב, זיכרון עבודה, יכולת ניתוח חזותית וגם עירנות (Alhola & Polo-Kantola, 2007). טבלה 1 לקוחה מתוך (Alhola and Polo-Kantola, 2007) והיא מאפשרת הצצה אל המגוון העשיר של מטלות שבחרו חוקרים שונים עבור בדיקה של תפקודי קשב וזיכרון עבודה.

טבלה 1: ירידה או חוסר השפעה על התפקוד כתוצאה מעייפות (בהתאם לכיוון החץ מימין) כפונקציה של המבחנים ששימשו במחקרים שונים עבור תפקודי קשב וזיכרון עבודה (מתוך (Alhola and Polo-Kantola, 2007).

Cognitive test	Effect Authors
Attention	
Simple	↓ Choo et al 2005, Karakorpi et al 2006 Karakorpi et al
Vienna Test System (computerized):	↔ Lee et al 2003
Dichotic	↓ Taill Johnsen et al 2002 Frey et al 2004, Graw et al 2004, Van Dongen et al 2004, Adam et al 2006, Blatter et al 2006
Serial addition and/or subtraction task	↓ Drummond et al 1999, Thomas et al 2000, Van Dongen et al 2003 and 2004, Kendall et al 2006
Two column addition	↓ Wright and Badia 1999, Frey et al 2004
Visuo-spatial attention (saccadic eye movements)	↓ Bocca and
N-	↓ Smith et al 2002,
ba	↓ Choo et al 2005
ck	↓ Chee and Choo
LT	↓ 2004, Chee et al

בגלל השונות הרבה הקיימת בין מחקרים שונים שעוסקים בחוסר בשינה קשה להגיע למסקנות על סמך סקירת ספרות של מחקרים שמציגים ניסויים בודדים, בהם נבדקת שאלה מצומצמת בתנאים מסוימים. לכן, בסקר הנוכחי נמנענו מלהציג תוצאות ממחקרים מסוג זה, אלא דבקנו בסקירת מחקרים שמציגים נתונים המבוססים על מחקרים קודמים רבים ובעיקר מחקרי מטה-אנליזה. אנו סבורות, שזאת הגישה הנכונה שמאפשרת הסקת מסקנות בנושא מורכב זה. בניית מטה-אנליזה החוקרים סוקרים מחקרים רבים על פי קריטריונים שנקבעים מראש, לאחר מכן הם מפתחים מדד יחיד לכולם ועורכים עליו ניתוחים סטטיסטיים, המאפשרים הסקת מסקנות המבוססת על כמות נתונים גדולה. המדד שנבחר לניתוח יכול להיות גודל האפקט של העייפות, שמחושב על פי נוסחא הלוקחת בחשבון משתנים סטטיסטיים שונים (ראה, למשל, Lim & Dinges, 2010). לחילופין, המדד יכול לשקף את היחס בין ערך המדד של רמת התפקוד בתנאי של חוסר בשינה לבין ערכו ללא חוסר בשינה (ראה, למשל, Wickens et al., 2015), או אפילו

הערכה איכותית בלבד כפי שעשו Alhola and Polo-Kantola (2007) בדוגמא שמוצגת בטבלה 1 לעיל. בהמשך הסקירה יוצגו מחקרים שמסקנתם נובעת מסקירת מחקרים רבים או כאלה שערכו מטה-אנליזות בנושא השפעת חוסר בשינה על תפקודים קוגניטיביים.

1.1.8 מחקרים שבדקו מטלות פשוטות לעומת מסובכות

Durmer and Dinges (2005) המליצו להימנע מבחירת מטלות שמושפעות באופן משמעותי מכישרון או כאלה שדורשות זמן רב ללימוד. הם טענו שמטלות פשוטות שדורשות קשב מתמשך הוכיחו את עצמן כמהימנות, כבעלות תוקף וכרגישות לשינויים הנובעים מחוסר בשינה. מנגד, מטלות מסובכות יותר, שמערבות תפקודים קוגניטיביים גבוהים, מתגלות לעיתים כבלתי מושפעות מחוסר בשינה. חיזוק לטענה לגבי השפעה מופחתת של עייפות על מטלות מסובכות ניתן למצוא במאמר של Wickens et al (2015). החוקרים ערכו מטה אנליזה על מחקרים שבדקו את ההשפעה שיש לעייפות על ביצוע מטלות מסובכות. למרות שנמצאו השפעות לעייפות על מטלות מסובכות, החוקרים הדגישו שההשפעה של חוסר שינה על מטלות שכאלו קטנה יותר בהשוואה להשפעתה על מטלות פשוטות. הסיבה כנראה נעוצה בהשקעה הגדולה שדורשות המטלות המסובכות, שהשפעתה ממריצה ומעוררת ולכן מבטלת או מצמצמת את השפעת העייפות. Wickens et al (2015) הביאו לראייה ממצאים ממחקרם של Matthews and Desmond (2002) לפיהם עייפות משפיעה יותר על נהיגה בכביש ישר (מטלה קלה) מאשר על נהיגה בעיקולים (מטלה יותר מסובכת).

הדגמה ישירה יותר לטענה שמטלות מסובכות מושפעות פחות מעייפות בהשוואה למטלות הפשוטות ניתן למצוא בסקר ספרות של Harrison and Horne (2000). הסקר הציג מחקרים רבים שהישו בין מטלות פשוטות ומשעממות למטלות מסובכות ומעניינות. למשל מצוטטים מחקריו של Kjellberg (1975, 1977) שהראו שההשפעה של חוסר בשינה על מטלות קוגניטיביות פשוטות עולה ככל שהן יותר חד גוניות ומשעממות, כך שקיים יחס הפוך בין מידת העניין שמעוררת מטלה לבין פרק הזמן שעובר עד שנצפית ההידרדרות בביצוע. לאחר לילה אחד ללא שינה ניתן לראות ירידה בביצוע של מטלה משעממת ומונוטונית כבר אחרי 5 דקות. לעומת זאת הנבדקים של Wilkinson (1964) שביצעו מטלה צבאית של יירוט ועקיבה שהיא מסובכת ומעניינת במידה רבה יותר לא הראו כל ירידה ברמת הביצוע, למרות משך הזמן הארוך של המטלה. חיזוק נוסף לטענה זאת מוצג אצל Wilkinson (1992) לפיו כדי להעריך השפעת עייפות אין להשתמש במטלות מעניינות, מסובכות, מגוונות או קצרות מידי, שכן הן גורמות לנבדק להשקיע מאמץ מיוחד המקשה על הבחנה בהשפעת העייפות. Harrison and Horne (2000) מסכמים שהמטלות שנפגעות במידה הרבה ביותר מחוסר שינה הן אלו שלא ניתן ללמוד אותן היטב מראש ואלו שלא ניתן לבצע אותן באופן אוטומטי.

בנוסף, Harrison and Horne (2000) ניסו לגשר בין ההנחה לפיה מטלות מסובכות המבוססות על תהליכים מתכנסים, על הגיון ועל חוקיות אינן מושפעות מחוסר בשינה לבין ממצאים שחוסר בשינה משפיע על קבלת החלטות מסובכות. הם שלבו תוצאות של מחקרים שעסקו בחוסר בשינה עם מידע והבנה שקיימים בנושא קבלת החלטות ומצאו שבתהליך של קבלת החלטות מסובכות קיימים שלבים שמצריכים חדשנות, התמודדות עם הבלתי צפוי, התמודדות

עם הסחות ומטלות שלא ניתן ללמוד או לבצע באופן אוטומטי. בהתאם, המחקרים שעסקו בחוסר בשינה הצביעו על ההשפעה שיש לחוסר בשינה בדיוק על סוג כזה של מטלות. חיזוק להבחנה זאת ניתן למצוא אצל (Horne 2012) שסקר ספרות בנושא ביצוע מטלות בעבודת משמרות ארוכה והסיק שרוב המצבים שמצריכים קבלת החלטות בידי צוותים מיומנים הם צפויים וניתנים לשליטה, ולכן מושפעים פחות מחוסר בשינה. לעומת זאת, ההשפעה של חוסר בשינה באה לידי ביטוי בטיפול במצבים חדשים, מאתגרים ובלתי צפויים שיש בהם אי וודאות, שינויים, הסחות וצורך להעריך סכנות.

גם סקר הספרות של (Waters and Bucks 2011) הגיע למסקנה דומה לגבי מורכבות המטלה. הסקר ניסה להסביר מדוע חלק מהמחקרים על עייפות מצביעים על ירידה בזיכרון עבודה (למשל, Choo et al., 2005; Frey Badia, & Wright, 2004; Pilcher et al., 2007; Polzella, 1975) וחלק אחר מהמבחנים לא מוצא זאת. לטענת החוקרים, המחקרים שמצאו ירידה בחרו במבחנים פשוטים ואילו אלו שלא מצאו ירידה בחרו במבחנים מסובכים יותר כמו מבחן ה-n-back (למשל, Tucker, Whitney, Belenky, Hinson, & Van Dongen, 2010).

1.1.9 מטה אנליזות שנעשו בנושא השפעות של חוסר בשינה על מטלות קוגניטיביות

1.1.9.1 מטה אנליזות כלליות

Koslowsky and Babkoff (1992) ערכו מטה אנליזה שלטענתם בודקת בפעם הראשונה באופן כמותי את ההשפעה של חוסר בשינה על ביצוע מטלות קוגניטיביות שונות. הם אספו 27 מחקרים ובדקו מספר שאלות שלגביהן לא הייתה הסכמה בספרות. להלן השאלות והתשובות שניתנו עליהן במסגרת ניתוח המטה-אנליזה:

- שאלה:** האם המתאם בין חוסר בשינה לירידה בתפקוד נצפה רק לאחר 45 ויותר שעות של ערות?
תשובה: הירידה ברמת הביצוע לאחר הימנעות משעות שינה ארוכות (≥ 45) משמעותית יותר מאשר הירידה בביצוע לאחר הימנעות קצרה יותר משינה.
- שאלה:** האם יש ההבדל בין מטלות בהן הקצב נקבע על ידי הניסוי (על הנבדק לעמוד במסגרת הזמנים) לבין מטלות בהן הנבדק עצמו קובע את הקצב (הנבדק מחליט מתי יופיע הגירוי הבא)?
תשובה: ההשפעה של חוסר בשינה גדולה יותר במטלות בהן נקבע מראש קצב הביצוע על ידי מערכת הניסוי לעומת מטלות בהן לנבדק יש שליטה על הקצב.
- שאלה:** מה הסיבה לירידה ברמת הביצוע? אם הסיבה היא ירידה בקיבולת של אדם עייף לעבד מידע ולהגיב לגירוי חיצוני, יש לצפות שגם דיוק וגם זמן תגובה יושפעו מחוסר בשינה (תיאוריה של ירידה בתפקוד מוחי). אם הסיבה היא מעידות בערות יש לצפות שזמן תגובה יהיה המדד העיקרי שיושפע.
תשובה: ברוב התנאים, המתאם בין חוסר השינה לבין הביצוע היה גבוה יותר עם מדד זמן תגובה מאשר עם הדיוק, מה שתומך בתיאורית המעידות בערות. אולם, בתנאי בו זמן

הערות היה קצר יותר והקצב נקבע על ידי הניסוי המתאם עם הדיוק היה יותר גבוה מאשר עם זמן התגובה.

Pilcher and Huffcutt (1996) ערכו מטה אנליזה כדי להעריך באופן כמותי את ההשפעה של חוסר בשינה על מצב הרוח ועל ביצוע מטלות קוגניטיביות ומוטוריות. כדי להשוות בין תנאי בו ישנו הנבדקים מספיק לבין תנאי בו נמנעו משינה הם חישבו גודל אפקט שהיה פונקציה של ממוצעי נתוני הביצוע בשני התנאים ושל גודל הדגימה. בסך הכל הם חישבו 143 ערכים מתוך 19 מחקרים. את תוצאות האנליזה שערכו ניתן לסכם כך :

1. מעבר לכל המשתנים חוסר בשינה מוריד את רמת הביצוע. למעשה הם הראו שרמת הביצוע של אדם עם חוסר בשינה שמבצע את המטלות באופן ממוצע בקבוצתו שווה לרמה של אדם ללא חוסר בשינה שנמצא באחוזון התשיעי בקבוצתו. 2. למרבית ההפתעה, על פי הניתוח שלהם נמצא שחוסר חלקי בשינה משפיע יותר על הנבדקים מאשר חוסר קצר או ארוך. 3. חוסר בשינה משפיע באופן המשמעותי ביותר על מצב הרוח, לאחר מכן על מטלות קוגניטיביות ולבסוף על מטלות מוטוריות. 4. מטלות מסובכות וארוכות (מעל 10 דקות) נפגמות יותר מחוסר קצר בשינה מאשר מטלות פשוטות וקצרות (מתחת ל-6 דקות). עבור חוסר ארוך בשינה התוצאה הפוכה 1010 : במטלות מוטוריות התוצאה הייתה ירידה יותר גדולה במטלות ארוכות (יותר מ-8 דקות) מאשר בקצרות (פחות מ-3 דקות) עבור כל סוגי החוסר בשינה. הם מסכמים שלא ניתן על סמך התוצאות להגיע למסקנה ברורה על ההשפעה של רמת הסיבוך של המטלות או אורכן על הביצוע.

המטה-אנליזה של Griffith and Mahadevan (2006) התמקדה בהשפעת חוסר בשינה על זמן התגובה והדיוק של ביצוע מטלות. הם חישבו את גודל אפקט זמני התגובה והדיוק בשבעה מחקרים ללא התייחסות פרטנית לתפקודים שונים. התוצאות הצביעו על כך שחסך בשינה אכן משפיע על זמני ביצוע ועל דיוק ברוב המטלות שנבחנו, אבל המסקנה הייתה שחוסר בשינה משפיע באופן חד משמעי ומובהק יותר על זמני התגובה מאשר על דיוק הביצוע.

Durmer and Dinges (2005) בחנו היבטים שונים של השפעת חוסר בשינה על

תיפקודים נוירו-קוגניטיביים. להלן הנקודות העיקריות שעלו במאמרם :

1. כתוצאה מחוסר בשינה מתרחשים אירועים קצרים של שינה (microsleeps).
2. הביצוע של מטלות קשב, תחת תנאים של חוסר שינה, אינו יציב. ישנה עליה בהחמצות ובהתראות שווא.
3. במטלות קוגניטיביות בהן הנבדק קובע את הקצב זמן התגובה מתארך בשל חוסר שינה. לעומת זאת במטלות בהן קיים לחץ זמן של המערכת עצמה, חוסר שינה מעלה את שיעור הטעויות.
4. חוסר שינה מביא לירידה הן בזיכרון לזמן קצר והן בזיכרון עבודה.
5. חוסר שינה מביא לירידה ביכולת ללמוד מטלות קוגניטיביות חדשות.
6. חוסר בשינה מביא לקשיים בחשיבה מסתעפת.
7. חוסר בשינה מגביר שגיאות בעיכוב תגובה במטלות שמעובדות בקורטקס הפרה-פרונטלי.
8. חוסר בשינה מעלה את הסבירות להינעלות על פתרונות לא יעילים (דבקנות).

9. במצב של חוסר שינה מתעורר צורך במאמץ מפצה כדי לשמור על רמת יעילות שתהיה זהה ליעילות בעירנות.
10. במצב חוסר שינה יתכן שביצוע המטלה מתחיל ברמה טובה אבל ככל שזמן ביצוע המטלה מתארך הביצוע מדרדר.
11. במצב של חוסר שינה גדלה והולכת ההתעלמות מפעילויות אותן מעריכים המבצעים כלא חיוניות למשימה, כלומר ניתן להבחין בירידה במודעות למצב.

1.1.9.2 מטה אנליזות על מטלות פרטניות

Philibert (2005) ביצעה מטה-אנליזה כדי לבדוק את השפעה שיש לחוסר בשינה על תפקודים קוגניטיביים אצל רופאים ואצל אנשים שאינם רופאים. המאמר אינו מספק הסבר מפורט על התהליכים הספציפיים שנבדקו, אלא מסתפק באמירה כללית לפיה נבדקה ההשפעה שיש לחוסר שינה על זיכרון, עירנות, תפקודים קוגניטיביים ותפקוד בביצוע הליכים רפואיים. כלומר, לא מוגדר סוג הזיכרון, העירנות או התיפקוד הקוגניטיבי הספציפיים שנבדקו במחקר. נסקרו 60 מחקרים בהם השתתפו כנבדקים 959 רופאים ו-1,028 אנשים שאינם רופאים. תוצאות המטה-אנליזה הראו שההשפעה של חוסר בשינה על עירנות (vigilance) אצל הנבדקים שאינם רופאים הייתה גדולה יותר מאשר ההשפעה של חוסר השינה על זיכרון ועל תפקודים קוגניטיביים. בנוסף, לחוסר שינה של 54 שעות ויותר הייתה ההשפעה הגדולה ביותר אבל גם חוסר שינה של פחות מ-30 שעות הביא לירידה משמעותית ברמת הפעילות הקוגניטיבית, כמו גם חוסר שינה חלקי. לשוני ממצאיהם של Pilcher and Huffcutt (1996), שמצאו שחוסר שינה חלקי הוא המשפיע ביותר, ניתן הסבר לפיו הוא נובע מהגדרה שונה של המושג "חוסר שינה חלקי".

Philibert (2005) טענה שבחלק גדול מהמחקרים שניתחו Pilcher and Huffcutt (1996) השתתפו מתמחים ברפואה שסווגו תחת ההגדרה של חוסר שינה חלקי בעוד שהיא סיווגה אותם תחת ההגדרה של חוסר שינה לטווח קצר.

Lim and Dinges (2010) ערכו מטה אנליזה של מאמרים שחקרו את ההשפעה שיש לחוסר בשינה על התפקודים הקוגניטיביים הבאים: קשב פשוט (simple attention), קשב מורכב (complex attention), מהירות עיבוד, זיכרון עבודה, זיכרון קצר טווח והסקת מסקנות ואינטליגנציה גבישית¹ (crystallized intelligence). שעות הערות במחקרים שנסקרו במטה-אנליזה זו היו מאוד מגוונות, וכך גם מספר הנבדקים ושיטות המחקר שנבחרו. Lim and Dinges (2010) קודדו את המחקרים שבדקו על פי איכות שיטות המחקר ולקחו בחשבון את הזמן ביממה בו נמדדו המדדים השונים (יום או לילה). כדי להעריך את ההשפעה שיש לחוסר בשינה על המדדים חושב גודל האפקט, שחושב כהפרש בין הביצוע ברמת הבסיס (ללא חוסר בשינה) והביצוע בנקודה הקיצונית ביותר של החוסר בשינה. גודל האפקט לקח בחשבון את הממוצעים, סטיות התקן ומספר הנבדקים (או מדדים סטטיסטיים אחרים במקרה ואלו לא היו נתונים במחקר). תוצאות הניתוח המשולב של כל המחקרים הראו: 1. חוסר שינה של 24-48 שעות גורם

¹ אינטליגנציה גבישית היא כשרים שמתגבשים במהלך החיים דרך חינוך, השכלה, אימון וכו'.

לירידה בביצוע בכל המטלות הקוגניטיביות להוציא מדדי דיוק במטלות שדורשות מהירות עיבוד, הסקת מסקנות ואינטליגנציה גבישית. המחקרים טענו שהסיבה לכך היא מיעוט במחקרים על תחומים אלו ושאלם היו בידיהם יותר מחקרים סביר שהתוצאות היו מגיעות למובהקות; 2. ההשפעה הגדולה ביותר של חוסר בשינה של 24-48 שעות היא על מבחנים שביצועם דורש עירנות וקשב פשוט; 3. האפקט הגדול ביותר נמצא במדד המעידות בעירנות במטלות קשב פשוט. המדדים שהושפעו, לפי הסדר בהתאם לגודל האפקט שלהם, היו: זמן תגובה במטלות קשב פשוט, דיוק בתגובה במטלות שדורשות זיכרון עבודה וזמן תגובה במטלות שדורשות זיכרון עבודה; 4. השפעה מתונה בלבד התקבלה עבור דיוק במטלות שדורשות קשב מורכב. בתמונה 4 מובאת טבלה מתוך המאמר של Lim and Dinges (2010) בה ניתן לראות את ערכי גודל האפקט שהתקבלו עבור התיפקודים שנבחנו.

Combined Effect Sizes by Domain and Outcome Variable

Outcome variable	Combined effect size	Variance	SE	LL	UL	Q	df	I^2
Simple attention								
Lapses	-0.762**	0.009	0.095	-0.948	-0.576	112.18	16	61.6
Reaction time	-0.732**	0.005	0.072	-0.874	-0.590	97.04	25	54.1
Complex attention								
Accuracy	-0.479**	0.007	0.082	-0.640	-0.318	56.79	24	31.7
Reaction time	-0.312**	0.003	0.059	-0.429	-0.197	192.57	36	53.5
Processing speed								
Accuracy	-0.245	0.017	0.130	-0.500	0.010	72.99	11	52.1
Reaction time	-0.302**	0.007	0.083	-0.464	-0.140	194.77	19	62.4
Working memory								
Accuracy	-0.555**	0.009	0.095	-0.741	-0.368	113.79	25	55.4
Reaction time	-0.515**	0.009	0.097	-0.704	-0.326	92.95	16	66.3
Short-term memory								
Recall	-0.383*	0.018	0.135	-0.647	-0.118	37.85	11	55.1
Recognition	-0.378*	0.016	0.125	-0.624	-0.132	13.91	4	13.9

תמונה 4: טבלת התוצאות של המטה אנליזה של Lim and Dinges (2010). ניתן לראות את הערכים של גודל האפקט עבור: קשב פשוט, קשב מורכב, מהירות עיבוד, זיכרון עבודה, זיכרון לטווח קצר והסקת מסקנות. סומנו בצורה הערכים הגבוהים ביותר, אשר התקבלו עבור מעידות זמן תגובה במטלות קשב פשוט ועבור דיוק וזמן תגובה במטלות של זיכרון עבודה.

Alhola and Polo-Kantola (2007) בחנו עשרות מחקרים והעריכו באופן איכותני את

ההשפעה שיש לחוסר בשינה על תפקודים שונים. התפקודים שנבחנו היו קשב, זיכרון עבודה,

זיכרון לטווח ארוך, מטלות חזותיות-מוטוריות, קבלת החלטות, דיכוי תגובה ועוד. בנוסף, נבדקה ההשפעה הממתנת או המעצימה של משתנים נוספים מעבר להשפעת החוסר בשינה. משתנים אלו כללו מוטיבציה, גיל ומגדר, ושיטת המחקר. החוקרים הסיקו שהספרות תומכת באופן ברור בממצא שחוסר מוחלט בשינה, כמו גם חוסר חלקי בשינה, פוגעים בקשב ובזיכרון העבודה. כמו כן, חוסר מוחלט בשינה פוגע בתפקודים נוספים. לגבי ההשפעה של חוסר חלקי בשינה על תפקודים קוגניטיביים גבוהים יותר, לא קיים מספיק מידע בספרות. בנוסף, למרות שהחוקרים טענו שדרוש מחקר נוסף על ההבדלים בין אוכלוסיות שונות, הם ציינו שכבר כעת ניתן להבחין בספרות בהשפעה שיש לגיל על תפקוד בתנאי חוסר בשינה. צעירים מושפעים מחוסר שינה יותר מאשר מבוגרים. כך למשל, מחקרים שונים מצאו שלמרות שרמת הביצוע של הקשישים מראש נמוכה יותר משל הצעירים, הם מושפעים פחות מהצעירים מחוסר בשינה. כמו כן, יש מיעוט של מחקרים שמצביעים על האפשרות שנים מתמודדות טוב יותר עם חוסר בשינה מאשר גברים, למרות שמבחינה פיזיולוגית הן מתאוששות לאט יותר (ראה למשל, Steele, Rode, Stocker, Alhola and Polo-Kantola (2007). (McNamee, & Germain, 2017). היכולת להתמודד עם חוסר בשינה היא תכונה אישית וישנם הבדלים בינאישיים גדולים. המסקנה הברורה שעולה מכל מחקרי המטה אנליזה שצוטטו לעיל היא שמבין כל התפקודים שנבדקו בספרות הענפה הקיימת על השפעות חוסר בשינה על תפקוד קוגניטיבי, ניתן לזהות שני תפקודים הנפגעים באופן הברור ביותר: **קשב וזיכרון עבודה**. בנספח א' נפרט על מטלות קשב ובנספח ב' נפרט על מטלות זיכרון עבודה ונביא דוגמאות למבחנים שמעריכים את רמת הביצוע של כל אחד מהם.

1.1.10 סיכום ודיון בממצאי הספרות בנושא השפעת עייפות על תפקודים קוגניטיביים שונים

מחקרים שבודקים השפעה של חוסר שינה ועייפות על תפקודים קוגניטיביים שונים לוקים בחוסר אחידות קיצוני, המקשה מאוד על השוואה ואינטגרציה בין המחקרים השונים. חוסר אחידות זה נובע, בין היתר, בשל הבדלים בין אישיים ברמת הביצוע של נבדקים, שמקשה על הסקת מסקנות לגבי משתנה העייפות, בשל שונות תוך אישית המביאה להבדלים בתוצאות של אותו נבדק בתנאי ניסוי שונים (שלא בהכרח קשורים לעייפות), בשל שונות רבה בבחירה של החוקרים לגבי משך החוסר בשינה במחקרם (ארוך, קצר או חלקי), בשל בחירת סוג המבחן שמיועד לכמת את השפעת החוסר בשינה על תפקוד מסוים וכן הלאה. לפיכך, בחרנו להתמקד בעיקר במחקרים שערכו סקרי ספרות גדולים ומטה-אנליזות. במחקרים מסוג זה בהם השונות בשיטות המחקר שנבחרו וכן ההבדלים הבין והתוך אישיים מתגמדת, בזכות הבחירה הקפדנית במחקרים דומים שניתנים להשוואה מראש (בסקירות הספרות הגדולות), או בזכות תהליכי מיצוע ובחירת מדד יחיד, שנעשים במהלך העיבוד הסטטיסטי במחקרי המטה-אנליזה.

מסקנה חד משמעית מכל המחקרים היא שחוסר בשינה משפיע על רמת הביצוע של תפקודים קוגניטיביים. מעבר ל-16 שעות ערנות רצופות רוב האנשים מתחילים להראות ירידה בזמן תגובה וירידה ברמת הדיוק בביצוע מבחנים שקשורים לעירנות פסיכומטורית. חוסר שינה ארוך יותר, של מעל 24 שעות, גורם לירידה בביצוע בכל המטלות הקוגניטיביות במיוחד בתפקודים שדורשים עירנות וקשב פשוט. הירידה ברמת הביצוע לאחר הימנעות משעות שינה

ארוכות יותר (≥ 45) משמעותית עוד יותר. ככלל ניתן להסיק שככל שזמן העירות גדל כך גדלה ההשפעה השלילית על רמת הביצוע. אולם יש לציין שגם מחסור שינה חלקי, כלומר זמן שינה קצר של פחות מ-7 שעות ללילה למשך מספר לילות, משפיע באופן חמור על רמת הביצוע של מטלות קוגניטיביות.

המחקרים ניסו לאפיין את סוג המחקרים שמצאו השפעה גדולה יותר על ביצוע בתפקודים שונים בשל חוסר בשינה. למשל, מספר מחקרים השוו השפעת חוסר שינה על מטלות פשוטות להשפעתו על מטלות מסובכות, והסיקו שמטלות מסובכות מושפעות פחות מחוסר שינה לעומת מטלות פשוטות (Wickens et al., 2015, לדוגמה). כך נמצא בחלק מהמחקרים שמטלות מסובכות, שמערבות תפקודיים קוגניטיביים גבוהים, אינן מושפעות מחוסר בשינה (Wilkinson, 1992). ככל הנראה, ההשקעה הגדולה הנדרשת מהנבדקים לביצוע המטלות המסובכות ממריצה ומעוררת אותם, ולכן העייפות אינה באה לידי ביטוי בביצוע. המטלות שנפגעות במידה הרבה ביותר מחוסר בשינה הן מטלות שלא ניתן ללמוד היטב מראש ולא ניתן לבצע באופן אוטומטי. מתוצאות הסקירה ניתן לסכם שההשפעה הגדולה ביותר של חוסר בשינה היא על **מבנים שביצועם דורש עירנות וקשב פשוט**, ושהאפקט המשמעותי ביותר במבנים מסוג זה היה על **מדד המעידות בעירנות**. לאחר מכן ניתן להצביע על המדדים והמטלות הבאים, לפי סדר ההשפעה של חוסר בשינה עליהם, כפי שנמצא במחקרם של (Lim and Dinges, 2010): זמן תגובה במטלות קשב פשוט, דיוק בתגובה במטלות שדורשות זיכרון עבודה וזמן תגובה במטלות שדורשות זיכרון עבודה.

ברוב התנאים, המתאם בין חוסר השינה למדד הביצוע שנבדק, היה גבוה יותר עם מדד זמן תגובה לעומת מדד הדיוק, מה שתומך בתיאורית המעידות בערות (Koslowsky & Babkoff, 1992). עובדה חשובה נוספת שנחשפה בסקר הנוכחי היא ההשפעה המשמעותית שנמצאה במחקרים שונים למוטיבציה של הנבדק על רמת הביצוע שלו תחת תנאי של חוסר בשינה. מחקרים שונים הראו שכאשר לנבדק מוטיבציה גבוהה לביצוע המטלה, אם בשל תגמול שמובטח על ביצוע מיטבי (Van Orden et al., 1996, Horne & Pettitt, 1985) או בשל משווא יורדת (Steyvers & Gaillard, 1993) ברמת הצעד, ניתן להתגבר על הצורך לישון והשפעת חוסר השינה יורדת.

1.2 סקר ספרות עדכני על תפקודים קוגניטיביים רלוונטיים לנהיגה, שנפגעים מחוסר בשינה

1.2.1 מבוא

נהיגה היא מטלה מסובכת שמצריכה מיומנויות רבות. הנהג מקבל באופן רציף מידע מהדרך, ומנתח אותו. תגובתו מושפעת לא רק מהמידע המתקבל מהדרך עצמה אלא גם מחוקי התנועה, תכונות כלי הרכב שבו הוא נוהג ומהניסיון הקודם שלו. בזמן הנהיגה מעובד בו זמנית מידע חזותי, תחושתית ושמיעתי ומשולב עם ידע על חוקי התנועה ועל מצב כלי הרכב במטרה לספק תגובה מוטורית מותאמת. משום שהנהיגה מצריכה תיאום בין תהליכים קוגניטיביים רבים, קשה לקבוע באופן חד משמעי אילו מהתפקודים נפגעים מחוסר בשינה באופן משמעותי יותר ואילו מהתפקודים מושפעים פחות. תפקודים קוגניטיביים שירידה בהם נקשרת בספרות לתאונות

דרכים בכביש הם קשב, עירנות (vigilance, המכונה גם דריכות בהקשר של נהיגה), עיבוד מידע חזותי, מהירות עיבוד וזמן תגובה, זיכרון עבודה ותפקודים ניהוליים² (Anstey et al., 2005).

1.2.2 נהיגה, עייפות ומבחנים

ישנו גוף מחקר גדול שבוחר את היכולות הקוגניטיביות הדרושות לנהיגה באמצעות מבחנים רבים ומגוונים. אולם, לצרכי פתוח מבחן לעייפות בנהיגה, עלינו לברור מבין יכולות אלה את אותן יכולות שגם נפגעות ביותר מחוסר שינה. כדוגמה ניתן להביא את המבחן Trail Making A&B שהראה מתאם גבוה עם יכולת לנהוג (Odenheimer et al., 1994). המבחן מורכב משתי מטלות: בחלק הראשון (A) יש לחבר בקו 25 מספרים עוקבים שמפוזרים באופן אקראי על דף³; בחלק השני (B) יש לחבר על פי הסדר מספרים ואותיות לסירוגין. מבחן זה אינו מתאים לענייננו משום שהוא מושפע מעייפות באופן מתון בלבד (Durmer & Dinges, 2005) וכן משום שהוא דורש אימון ומשתפר מלמידה (Wimmer, Hoffmann, Bonato, & Moffitt, 1992).

לעומת זאת, Jackson, Croft, Kennedy, Owens, and Howard (2013) ערכו למשתתפים במחקרם מבחנים קוגניטיביים שמוודדים רכיבים שונים במטלה הכוללת של הנהיגה, שהוכחו כמשפיעים על שיעור תאונות דרכים, ובדקו את ההשפעה של לילה אחד של חוסר בשינה הן על ביצוע המבחנים והן על איכות הנהיגה. 19 נבדקים נהגו בסימולטור נהיגה בתנאי לילה למשך 30 דקות בכביש ראשי דו נתיבי במטרה להעריך את רמת הנהיגה שלהם. היה עליהם לשמור על מהירות של בין 60 ל-80 קמ"ש. בנוסף באופן בלי צפוי הופיעו משאיות על כביש ועל המשתתפים היה לעצור ברגע שראו משאית לפנייהם. המדדים לבחינת איכות הנהיגה היו: מיקום המכונית ביחס למרכז הנתב, שינויים במהירות, זמן עצירה מרגע הופעת משאית ומספר התנגשויות. המטלות הקוגניטיביות שנבחנו, בין היתר, במחקר היו זמן תגובה פשוט לגירוי יחיד ב-PVT, זמן לבחירת תגובה נכונה (מתוך כמה גירויים), מטלות מקובלות לבחינת קשב מתמשך, מהירות תגובה, קואורדינציה חזותית-מוטורית ומבחן Stroop. בנוסף, דרגו המשתתפים את הישגיהם שלהם באמצעות Karolinska Sleepiness Scale⁴. נמצאה השפעה מובהקת של חוסר בשינה על מדדי הנהיגה, להוציא מדד של מספר התנגשויות. גם המדד הסובייקטיבי לשינויות הראה הבדל מובהק. תוצאות המבחנים הקוגניטיביים הראו שינויים משמעותיים עבור זמן תגובה ומעידות (lapses) במבחן ה-PVT. לא נמצאו תוצאות מובהקות עבור המבחנים האחרים.

החוקרים בדקו את המתאם בין ביצועי ה-PVT וביצועי הנהיגה ומצאו שהמעידות ב-PVT ניבאו באופן מובהק את השונות במיקום המכונית ביחס למרכז הנתב ואילו מדדים שקשורים לזמן התגובה במבחן ניבאו חלק משמעותי (40%) מהשונות של השינויים במהירות.

לאחרונה, בדקו Jongen, Perrier, Vuurman, Ramaekers, and Vermeeren (2015) מספר מבחנים פסיכומטריים במטרה להצביע על ירידה ברמת הנהיגה כתוצאה מחוסר בשינה. 24 משתתפים נהגו בכביש ראשי פעם לאחר שינה רגילה ופעם לאחר לילה ללא שינה. הם התבקשו

² Executive Functions

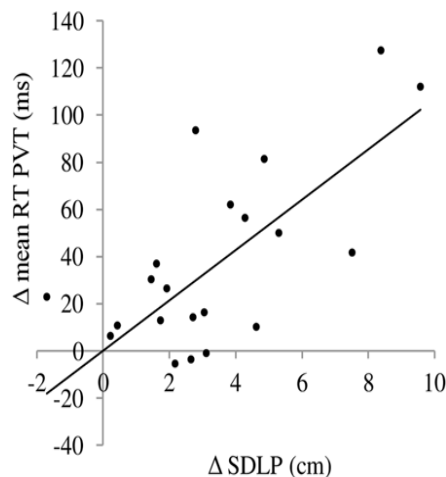
³ במקור המבחן הזה נערך על דף עם עפרון

⁴ Karolinska Sleepiness Scale (KSS) הינו שאלון שמיועד להעריך באופן סובייקטיבי את רמת העייפות של הנשאל.

לבצע את המבחנים הפסיכומטוריים ארבע פעמים: פעם אחת לאחר השינה ושלוש פעמים במשך שעות העירות. כצפוי, ביצועי הנהיגה לאחר לילה ללא שינה היו נמוכים לעומת הנהיגה לאחר שינה רגילה. גם במחקר זה נצפתה אי יציבות בשמירה על הנתבי ואי יציבות בשמירה על מהירות קבועה. סטיות התקן של שני המדדים היו גדולות יותר לאחר לילה ללא שינה. תוצאות המבחנים הפסיכומטוריים דומות לאלו שהתקבלו במחקרים קודמים שבדקו את ההשפעה של חוסר בשינה. כבר לאחר 20 שעות עירות ירדו רמות הביצוע של רוב המבחנים באופן מובהק. אולם גודל אפקט משמעותי (מעל 0.7) התקבל עבור מספר מבחנים מצומצם שכללו את מבחן PVT, מבחן Divided Attention Test (DAT)⁵ ומבחן Attention Network Test (ANT). ב-DAT היה על המשתתפים לעקוב אחר מטרה נעה באמצעות מצערת, בו זמנית לנטר 24 מיקומים על מסך ולהסיר את הרגל מדוושה כאשר מופיעה באחד מהם הספרה 2. ב-ANT היה על המשתתפים לייצב את עיניהם על צלב לאורך כל המטלה. לאחר מכן הופיע רמז ובעקבותיו גירוי המורכב מחץ מטרה (המרכזי) אשר מימין ומשמאל לו הופיעו שני חיצים נוספים בכל צד. על המשתתף היה ללחוץ על מקש שמורה על כיוון חץ המטרה. מבחן זה בודק שלושה מרכיבי קשב: 1. עירות (alerting) - נמדד כהפרש בין זמן התגובה ללא רמז לזמן התגובה עם רמז כפול; 2. קשב מרחבי (orienting) - נמדד כהפרש בין זמן התגובה כאשר הרמז במרכז לזמן התגובה בתנאי עם הרמז המרחבי; 3. קונפליקט - נמדד כהפרש בין זמן התגובה בתנאי בו חץ המטרה נמצא בכיוון נגדי לשאר החיצים לבין זמן התגובה בתנאי בו הוא באותו כיוון.

(Jongen et al (2015) חישבו את המתאמים בין ביצוע המטלות הקוגניטיביות ובין ביצועי הנהיגה. נמצאו מתאמים גבוהים ומובהקים, בהפרשים שבין התוצאות לאחר שינה והתוצאות לאחר 20 שעות עירות, בין מדדי 'זמן התגובה' ($r=0.68, p<.01$) ו'המעידות' ($r=0.66$) ($p<.01$) במבחן ה-PVT לבין רמת הסטייה מהנתבי במהלך הנהיגה. כפי שניתן לראות בתמונה 5, כאשר הסטייה מהנתבי גדלה, כתוצאה מחוסר בשינה, גם ממוצע זמן התגובה ב-PVT גדל. כמו כן, התקבלו מתאמים אס כי נמוכים יותר בין מדד השינוי בסטייה מהנתבי לבין השינוי בזמן התגובה של מטלת ANT ($r=0.48, p<.05$) ובין מדד השינוי בסטייה מהנתבי למדד הביצוע של המטלה המשנית במבחן DAT ($r=0.47, p<.05$). מתאמים נוספים נמצאו בין מדד השינוי בסטייה מהנתבי לשינוי במטלות קוגניטיביות לפני ואחרי שעות העירות, אולם מאחר שמטלות אלה הושפעו רק באופן מזערי מחוסר השינה (גודל האפקט היה קטן מ-0.7) לא נפרט אותן.

⁵ קשב מחולק.



תמונה 5: גרף שמדגים את המתאם הגבוה בין הסטייה מנתיב הנהיגה בס"מ לבין זמן התגובה ל PVT. מתוך Jongen et al (2015).

Schwarz et al. (2015) בדקו את הרגישות של שורת מבחנים קוגניטיביים להערכת היכולת לנהוג בתנאי חוסר שינה. במחקר השתתפו 47 נבדקים, במערך תוך נבדקי שבו כל נבדק נבחן לאחר שינה נורמלית ולאחר לילה שבו ישן רק 4 שעות. נערכו שני מבחנים שמטרתם הייתה לבחון קשב מתמשך, מבחן PVT ומבחן Mackworth Clock Test. במבחן Mackworth Clock Test על המשתתפים היה לעקוב אחר נקודה שקופצת בין עיגולים המסודרים במעגל (בדומה למחוג השניות בשעון) וללחוץ על מקש בכל פעם שהנקודה דילגה על עיגול (ראה תמונה 8). בנוסף, נערכו מבחנים רבים נוספים, חלקם בעלי תקן בין לאומי, להערכת היכולת לנהוג (מבחנים כמו: האלה ניתן למנות גם מבחן שבודק זמן תגובת ברירה לגירוי חזותי ושמיעתי⁶ (כלומר התגובה אינה אוטומטית לגירוי אלא היא תלויה בסוג הגירוי שמוצג), מבחן שבודק עמידות בלחץ, מבחן Cognitrone שבודק קשב סלקטיבי, הסקת מסקנות על דרך האינדוקציה, יכולות שנחשבות כקשורות באופן ישיר לנהיגה כמו תפיסה מרחבית והערכת מהירות, יכולת להבחין בצורות פשוטות בתוך סביבה עמוסה בצורות מסובכות, וגם מבחנים להערכת תכונות אישיותיות. Schwarz et al (2015) הראו שהמטלות שדורשות קשב מתמשך נפגעו באופן מובהק

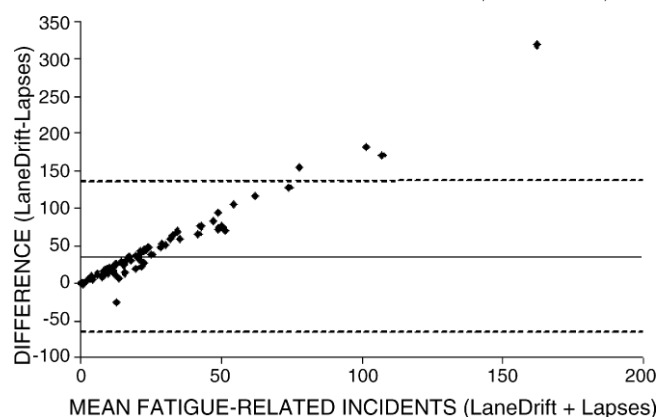
מחוסר השינה החלקי. זמן התגובה של מבחן PVT ובמיוחד מספר המעידות עלו בצורה משמעותית בשל העייפות וגודל האפקט היה גדול. במבחן Mackworth Clock Task זמן התגובה התארך בתנאי בו היה חוסר שינה חלקי עם גודל אפקט בינוני וכך גם ב- Reaction Test. ההערכה של היכולת לנהוג באמצעות Vienna Test System לא הצביעה על ירידה מובהקת כתוצאה מחוסר חלקי בשינה. על פי הערכה זאת נמצאה יכולת הולמת לנהוג, ב-44 מתוך 47 המשתתפים לאחר שינה נורמלית וב-41 מתוך 47 המשתתפים גם לאחר חוסר שינה חלקי. החוקרים ציינו שנהיגה חדגונית כמו בכבישים בין עירוניים או בסביבה בלתי משתנה (כמו נהיגה בפקק, לדוגמא)

⁶ מכונה Reaction Test

וזמן נהיגה ארוך הם המושפעים ביותר מחוסר בשינה. הם חיזקו דעה זאת בנתונים שמצביעים על כך שתאונות שקשורות להרדמות קורות לעיתים יותר קרובות במצבים מונוטוניים כמו נהיגת לילה ובדרכים בין עירוניות. לכן, טענו החוקרים שמטלות מונוטוניות שנמשכות לזמן יחסית ממושך הן אלו שמתאימות לזהות נהגים בסיכון כתוצאה מחוסר בשינה. לעומת זאת, המבחנים המקובלים לבחינת ההתאמה לנהיגה שמתמקדים ביכולת להתרכז, לשפוט נכון מצבים, לעמוד בלחצים ולתפוס נכון את המרחב מתאימים יותר לבדיקה של כשירות לנהיגה עבור אוכלוסייה מבוגרת או בעלי ליקויים נוירופסיכולוגיים ולא לבדיקת כשירות של נהגים עיפיים.

מטרת המחקר של Baulk et al (2008) הייתה לבחון אם מספיק לבדוק מסוגלות לנהיגה

באמצעות תפקיד יחיד פשוט כמו PVT או שיש צורך לבצע תפקיד מסובך יותר כמו נהיגה בסימולטור. למחקר זה יש נגיעה ישירה לנושא המחקר שלנו שהרי מטרתנו לפתח מבחן פשוט יחסית שיצביע על המסוגלות של נהג, שחשוד במחסור בשינה, לנהוג. בשלב ראשון של המחקר, הנבדקים נהגו בסימולטור וביצעו מטלת PVT לאחר שינה נורמלית. בשלב השני, הנבדקים נמנעו משינה למשך 26 שעות וביצעו את שתי המשימות האלה אחר 4, 8, 18 ו 24 שעות עירות ולאחר שנת התאוששות. כמו במחקרים אחרים חוסר השינה גרר ירידה בתפקודים שונים של נהיגה (שמירה על נתיב ושמירה על מהירות קבועה). גם במחקר הנוכחי לא הייתה השפעה על מספר התנגשויות. בנוסף, חוסר השינה הפחית את הביצוע של הנבדקים במבחן ה-PVT. ניתוח סטטיסטי הראה מתאם בין הירידה בזמן התגובה ב-PVT ובין הירידה בשמירה על נהיגה יציבה בתוך הנתיב. אולם החוקרים ביצעו ניתוח המשך, בשם Bland-Altman שמטרתו לבדוק אם המתאם המובהק אמנם מצביע על הסכמה (agreement) בין המשתנים. התוצאות הראו שככל שהתארכו שעות העירות גדל ההבדל בין שני המדדים (תמונה 6). אם קיים קשר אמיתי ואמין ביניהם ניתוח Bland-Altman היה מראה שהשונויות בין שני המשתנים נשארת שווה (כלומר היה מתקבל קו אופקי בגרף המוצג בתמונה 9) גם כאשר המשתתפים הולכים ומתעייפים. לכן טענו Baulk et al (2008) שזמן התגובה ל-PVT לא מהווה אינדיקציה בלעדית טובה לירידה בתיפקוד של מטלה מסובכת כמו נהיגה. לטענת החוקרים, ממצאיהם מוכיחים שלא קיים מבחן פשוט יחיד שיהיה יעיל כמו מבחן נהיגה ולכן יש לבחון קומבינציה של מספר מבחנים כך שניתן יהיה באמצעותם לקבל אינדיקציה מדויקת יותר להערכת היכולת לנהוג.



תמונה 6: גרף שמציג את ניתוח המשך Bland-Altman שמראה את ההשוואה בין המעידות במבחן ה-PVT ובין מדד הסטייה מהנתיב בנהיגה. הרגרסיה החיובית מצביעה על עליה בהפרש בין שני המדדים ככל שהפגיעה בהם גדלה, והמסקנה היא ששני המדדים אינם משתנים באותה מידה מחוסר בשינה. מתוך Baulk et al (2008).

1.2.1 סיכום סקר הספרות בנושא השפעת עייפות על תיפקודים קוגניטיביים שונים

לסיכום, מסקירת המחקרים, שבדקו אילו מהתיפקודים הקוגניטיביים שדרושים לנהיגה נפגעים מחוסר בשינה, מתקבלת תמונה די אחידה. התיפקודים שדרושים קשב מתמשך, שנבחנים באמצעות מבחנים מונוטוניים ומשעממים, הם אלו שנמצאו במתאם עם תיפקודי נהיגה, כמו שמירה על הנתיב ושמירה על מהירות קבועה, המושפעים גם הם מחוסר בשינה. אמנם נמצא במחקרים שונים שגם תיפקודים נוספים נפגעו מחוסר בשינה (Jackson & Van Dongen, 2011; Koslowsky & Babkoff, 1992), אולם רק מעט מהם נפגעו באופן משמעותי והרוב נפגעו רק במידה בינונית או מועטה (Schwarz, 2015). בנוסף, במחקרים שצוטטו לעיל לא נמצא מתאם בין עייפות ומספר התנגשויות. אנו סבורות שאין לראות בכך ראייה לחוסר ההשפעה של עייפות על בטיחות בדרכים. יש להבין שתאונה היא אירוע סטטיסטי נדיר יחסית ולכן במחקרים מסוג זה, כשמדובר בנהיגה למשך זמן קצר, לא ניתן לצפות להשפעות משמעותיות על התאונות. ברור מעל לכל ספק שעייפות עלולה להוביל לתגובות פחות מהירות ואף להרדמות, ואלו בוודאי עלולים להוביל לתאונות.

נהיגה, בעיקרה היא תפקיד אוטומטי למרות שלעיתים במצבים בלתי מוכרים או מסובכים בכביש מתעורר הצורך לתהליכי עיבוד יותר מבוקרים בהם תגובות אוטומטיות אינן מספיקות (Lundqvist, 2001). הקורטקס הפרונטלי נחשב כאיזור שאחראי על קשב ותיפקודים ניהוליים והוא ככל הנראה מושפע מחוסר שינה של לילה אחד (Thomas et al., 2000). לכן ניתן לשער שחוסר בשינה ישפיע באופן שלילי על תיפקודים שונים הנדרשים בנהיגה. בין השאר ניתן להניח שחוסר בשינה עלול להוביל ללקיחת סיכונים מוגזמים או לקושי בהתאמת התנהגות חדשה המבוססת על השתנות תנאי הדרך. יחד עם זאת, המחקרים על תאונות וסיבותיהן מצביעים על כך שהתאונות שנגרמות מעייפות וישנוניות נגרמות דווקא בתנאים של נהיגה מונוטונית. כנראה שבעת אירועים יוצאי דופן, כמו התפרצות של הולך רגל לכביש או עצירת פתע של מכונית מלפנים, האירוע הקריטי מייצר אפקט של התעוררות, שמפחית במידה מסוימת את ההשפעה של החוסר בשינה.

1.3 סיכום ומסקנות אופרטיביות משני סקרי הספרות

מבחן ה-PVT הינו מבחן שמופיע לעיתים קרובות גם בסקר הספרות בנושא השפעת העייפות על תיפקודים קוגניטיביים וגם בחלק שעוסק בהשפעת העייפות על נהיגה. מבחן זה, שנבחר כאחד מהמבחנים כמעט בכל אחד מהמחקרים שנסקרו, נמצא כמושפע באופן משמעותי מעייפות ונמצא גם במתאם גבוה לביצועי נהיגה. זמן התגובה של PVT מהווה מדד טוב למדי אולם מספר המעידות הוא מדד טוב אף יותר. מסתבר שקשה ביותר להתגבר על המעידות שהן, ככל הנראה, תוצאה של אירועי הרדמות קצרים הנובעים מהשפעת תהליך ההומאוסטזיס של השינה. שני המדדים האלו נמצאו במתאם טוב עם מדדי נהיגה שונים ובעיקר עם שני מדדים נמשכים של הנהיגה: 1. שמירה על נתיב (כלומר, החזקת ההגה באופן יציב ובהתאם למסלול הנסיעה); ו-2. שמירה על מהירות קבועה ועקבית. למרות תמימות הדעים במחקרים השונים לגבי מבחן ה-PVT, יש להקדיש תשומת לב מיוחדת למחקרים של Baulk et al (2008) שמסקינים שאין להסתפק ב-PVT כאשר רוצים להעריך את היכולת לנהוג, אלא יש לבחון שילוב בין כמה מבחנים.

בנוסף, נמצא בסקר הספרות שגם זיכרון עבודה מושפע באופן משמעותי מחוסר שינה. ירידה בזיכרון העבודה נקשרת, גם היא בספרות לתאונות דרכים בכביש (Anstey et al., 2005). כך שניתן להסיק שכדאי להוסיף רכיב של זיכרון עבודה למבחן שבוחן את היכולת לנהוג בתנאים של חסר בשינה.

2 פיתוח מבחן לעייפות בנהיגה

בדו"חות הקודמים (סתר ומרציאנו, 2016; 2017) וכפי שמצויין בפרק 1.3 של הדו"ח הנוכחי, הוסקו שכדי לבחור מבחן מתאים למדידת השפעת עייפות בנהיגה - מטרת המחקר הנוכחי - יש להתמקד במטלות **קשב פשוט או זיכרון עבודה** (או מטלות שמערבות את השניים). בנוסף, יש לתת משקל רב יותר למדד **זמן התגובה** על פני הדיוק, ויותר מכך למדד של **מספר המעידות בעירנות**, אשר נמצאו כמשמעותיות ביותר במחקרי חוסר שינה, אך לא תמיד נמדדות כלל במבחנים פסיכומטוריים מקובלים. אפשרות נוספת היא לבנות מדד משולב שייתן משקלות שונים למדדים שירכיבו אותו, על פי מידת ההשפעה של חוסר השינה עליהם. לבסוף, יש לשים לב לפיתוח מבחן שלא יעורר את המוטיבציה של הנבדק. **אין להציע תגמול על ביצוע טוב ואין לספק שום רמז לנבדק על טיב הביצוע שלו**. לכן, במבחן ה-PVT, לדוגמה, מומלץ להשתמש בגירסא בה מופיעה אות או צורה הנדסית ולא בגירסא המקובלת במחקרים רבים של מעין שעון עצר. כאשר שעון העצר נעצר עם תגובת הנבדק הוא יכול לראות את זמן התגובה שלו והדבר מהווה משו עקיף על ביצועיו שיכול לשמש כמעורר ולהפיג ברמה מסוימת את השפעת חוסר השינה. בסקר הספרות שבחן את השפעת העייפות על נהיגה, נמצא **מבחן ה-PVT** כמכבב רבים מהמחקרים. המבחן נבחר כאחד מהמבחנים כמעט בכל אחד מהמחקרים שנסקרו, נמצא כמושפע באופן משמעותי מעייפות ונמצא במתאם גבוה לביצועי נהיגה. זמן התגובה של PVT מהווה מדד טוב למדי, אולם מספר המעידות (lapses) הוא מדד טוב אף יותר. כמעידה נחשב ז"ת ארוך מ-500 א"ש. ככל הנראה, קשה ביותר להתגבר על המעידות, שהן תוצאה של אירועי הרדמות קצרים שנובעים מהשפעת תהליך ההומאוסטזיס של השינה. שני המדדים האלו נמצאו במתאם טוב עם מדדי נהיגה שונים בעיקר עם שני מדדים נמשכים של נהיגה: 1. שמירה על נתיב (כלומר, החזקת ההגה באופן יציב ובהתאם למסלול הנסיעה); ו-2. שמירה על מהירות קבועה ועקבית (Baulk et al., 2008).

למרות תמימות הדעים במחקרים השונים לגבי מבחן ה-PVT, יש להקדיש תשומת לב מיוחדת למחקרם של Baulk et al (2008). אמנם, כמצוין לעיל, גם אצלם נמצא מתאם בין ביצועי נהיגה לבין הביצוע במבחן ה-PVT אבל בניתוח המשך מסוג Bland-Altman לא נמצאה הסכמה בין המשתנים ולכן החוקרים הסיקו שאין להסתפק ב-PVT כאשר רוצים להעריך את היכולת לנהוג, אלא יש לבחון שילוב בין כמה מבחנים. לפיכך, כמסקנה מכלל הספרות שנסקרה ונותחה, למטרת פיתוח מבחן קוגניטיבי פשוט וקצר, החלטנו שכדאי לבחון אפשרות של שדרוג מבחן ה-PVT, כך שהמטלה לא תצריך רק תגובה אוטומטית לגירוי יחיד, כמו שדורשת מטלת ה-PVT הקיימת כיום. השדרוג של המבחן כולל **תוספת של רכיב של זיכרון עבודה למטלה**. בסקר הספרות מצאנו שגם זיכרון עבודה מושפע באופן משמעותי מחוסר שינה ואנו סבורות שהתוספת של רכיב זה תהווה מעין "שילוב מבחנים"

במבחן יחיד ובכך תענה על הדרישה של (Baulk et al 2008). בהמשך הדו"ח הנוכחי נציג את המבחן המשולב שפתחנו ותכנתנו – אותו כינינו בשם PAM-test. מבחן זה שימש אותנו בניסוי הסימולטור שתוצאותיו יוצגו בהמשך הדו"ח. במקביל למבחן החדש שפתחנו, הנבדקים ביצעו גם את מבחן ה-PVT הרגיל, ומערך מחקר זה אפשר לנו לבחון את השאלה שנבדקה במחקר הנוכחי: האם למבחן שפתחנו ישנו יתרון על פני מבחן ה-PVT הרגיל? לחילופין, האם התרומה המשולבת של שני המבחנים יחד לניבוי השפעת העייפות תהיה גבוהה יותר מהתרומה של כל אחד מהם לחוד?

3 שיטה

הניסוי בוצע כניסוי תוך נבדקי, בו כל הנבדקים עברו שני תנאי עייפות (ביצוע הניסוי אחרי לילה שבו ישנו היטב לעומת ביצועו לאחר לילה ללא שינה כלל) ובצעו את שני סוגי המבחנים שבהם השתמשנו – מבחן ה-PVT (הסטנדרטי) לעומת מבחן PAM-test (שאותו פיתחנו). שני המבחנים יתוארו בפירוט בפרק 3.2.1.

3.1 נבדקים

עשרה נבדקים (חמש נשים וחמישה גברים), כולם סטודנטים מאוניברסיטת חיפה, גיל ממוצע 28.1 שנים (טווח בין 24 ל-40), בעלי רישיון נהיגה בתוקף בן 11 שנים בממוצע (טווח נע בין 7 ל-24 שנים). רובם ככולם דיווחו על נהיגה בתדירות גבוהה (שבעה דיווחו שנוהגים מידי יום, שניים דיווחו שנוהגים מספר פעמים בשבוע, נבדק אחד דיווח על פעם בשבוע). כל אחד מן הנבדקים קיבל 350 ₪ בתמורה להשתתפותו בניסוי. הניסוי כלל פגישת אימון קצרה שבה קבל הנבדק שעון אקטיגרף⁷, על הנבדק היה לענוד את שעון האקטיגרף במהלך הלילה שקדם לכל אחת משתי פגישות הניסוי. שתי פגישות הניסוי התקיימו פעם אחת לאחר לילה עם שינה ופעם אחת לאחר לילה ללא שינה. במהלך הפגישות הנבדקים נהגו בסימולטור בתרחישים באורך כולל של שעתיים וביצעו מידי חצי שעה את שני מבחני העייפות.

3.2 כלים

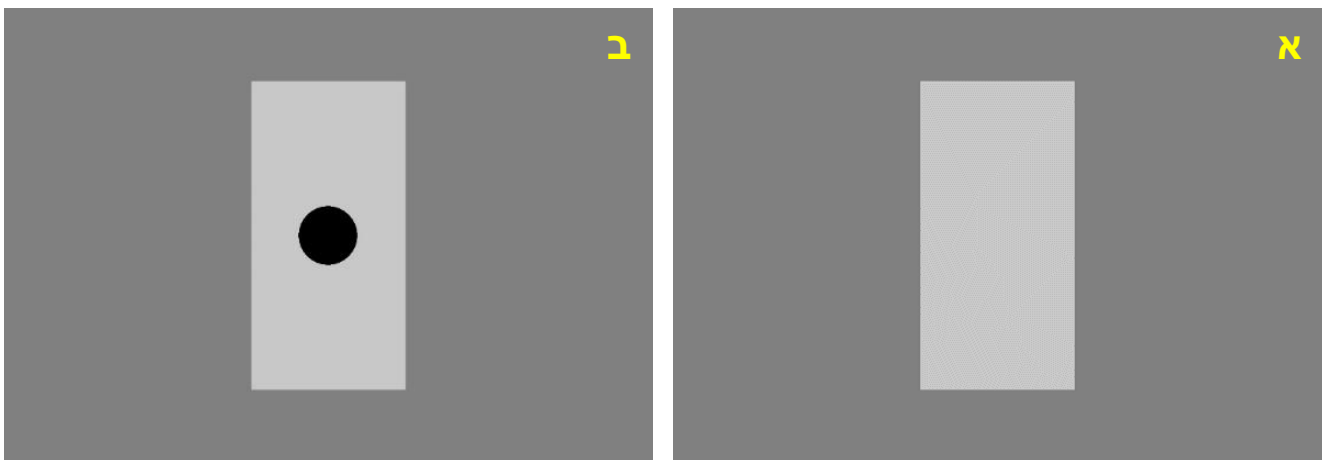
3.2.1 מבחני עייפות בניסוי

בפרק זה תוצג גירסת מבחן ה-PVT, שתוכנתה במעבדתנו ובוצעה על ידי הנבדקים בניסוי הסימולטור וכן יוצג המבחן החדש שפיתחנו, על בסיס סקרי הספרות והידע שצברנו (ראה פרק 1). מבחן זה מכונה על ידנו PAM-test (Psychomotor, Attention and Memory test). בניגוד ל-PVT, שבדק תגובה פסיכומטרית פשוטה להופעת גירוי חזותי, המבחן שלנו בודק בו זמנית ובנוסף לתגובה הפסיכומטרית לגירוי החזותי גם את היכולת להחזיק את סט המטלה בזיכרון העבודה.

⁷ האקטיגרף המודרני הוא מכשיר דמוי שעון יד שבתוכו נמצא חיישן תנועה המודד את מספר תנועות היד בכל דקה. בשל העובדה שבמהלך השינה התנועות נמוכה בהשוואה לזמן ערות ניתן לנטר באמצעותו באופן מדויק את שעות העירות והשינה של הנבדק.

3.2.1.1 מבחן ה-PVT בניסוי הנוכחי

הנבדק התבקש להביט במסך המחשב על מלבן בגודל 8×16.1 ס"מ, שצבעו בהיר יותר מהרקע (ראה תמונה א7). מידי פעם הופיע בתוך שטח זה עיגול בקוטר 3.1 ס"מ בצבע שחור (ראה תמונה ב7). ברגע שהנבדק הבחין בעיגול היה עליו להקיש על מקש הרווח במקלדת במהירות האפשרית. העיגול נשאר עד שהנבדק הגיב ונעלם מיד לאחר התגובה. מרווח הזמן שעבר בין העלמות עיגול לבין הופעת עיגול חדש השתנה באופן רנדומלי בין 2 עד 10 שניות. המבחן בוצע בכל פעם למשך זמן קצר של שלוש דקות. רק תגובות שבוצעו עד 500 א"ש מרגע הופעת הגירוי נחשבו כתגובה נכונה, תגובות נכונות שניתנו לאחר יותר מ-500 א"ש מרגע הופעת הגירוי נחשבו כמעידות (lapses). כתגובה שגויה (FA, אזעקת שווא) נחשבו המקרים בהם הנבדק לחץ כשלא הופיע כלל עיגול.



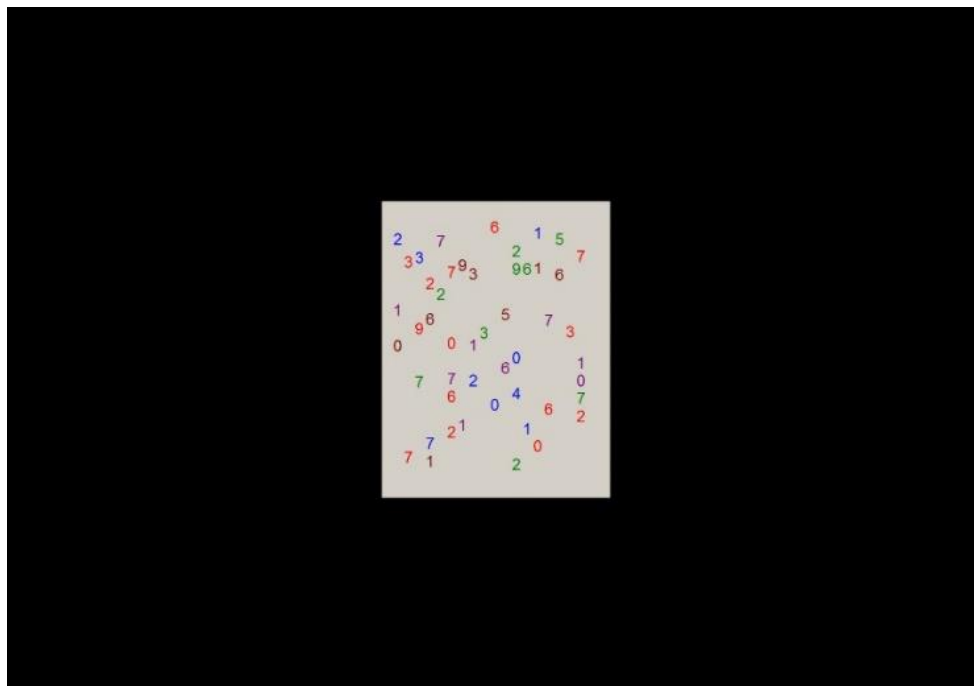
תמונה 7: הדגמה של מסכי מבחן PVT ששימש במחקרנו. א. מסך עם שטח מוגדר באפור בהיר עליו הנבדק מתמקד ומחכה להופעת גירוי. ב. מסך שעליו מופיע גירוי – עיגול שחור – על הנבדק להגיב באמצעות לחיצה על מקש רווח במהירות האפשרית ברגע שהבחין בעיגול.

3.2.2 מבחן ה-PAM-test בניסוי הסימולטור

מבחן זה דרש מן הנבדק לבצע עבודת ניטור מתמשכת לחיפוש וזיהוי של שתי מטרות, ספרות, בתוך מערך ספרות המשתנה תדיר. במבחן זה הוצגו ספרות בין 1 ל-9 בגודל של 3×4.5 מ"מ בחמישה צבעים שונים – סגול, כחול, ירוק, חום ואדום - כשהן מפוזרות באופן רנדומלי על גבי מלבן אפור בגודל 8×16.1 ס"מ (תמונה 8). המבחן ארך שלוש דקות ובמהלכו חלו שינויים דינמיים במערך הספרות: לעתים ספרה התחלפה באחרת, לעתים ספרה נעלמה, ולעתים צצה ספרה במיקום חדש על המסך. על הנבדק היה לחפש כל אחת משתי הספרות: 4 ו-8. אף פעם לא הופיעה יותר מספרת מטרה אחת בו זמנית על המסך. ברגע שהוא זיהה אחת משתי ספרות אלו היה עליו להצביע עליה באמצעות סמן העכבר ולהקיש על המקש השמאלי כדי להעלימה. הפרשי הזמן בין הופעת כל שתי ספרות מטרה היו רנדומליים, וכך גם המיקומים והצבעים בהם הופיעו. במידה והנבדק לא זיהה ספרת מטרה ולא הקיש עליה היא נעלמה לאחר 4000 א"ש מרגע הופעתה.

מבחן זה הינו מורכב יותר ממבחן ה-PVT. ראשית הוא דורש קשב מתמשך וסריקה נמשכת של המסך (בניגוד להתמקדות במיקום יחיד, שבו מופיע העיגול, במבחן PVT). בנוסף,

המבחן דורש תגובה מוטורית מורכבת יותר – הבאת הסמן אל מיקום הספרה ולחיצה. לבסוף, הצורך להחזיק בזיכרון את סט המטלה, לפיו הספרות שמחפשים הן 4 ו-8, מערב רכיב של זיכרון עבודה, שלא קיים כלל במבחן ה-PVT.



תמונה 8: הדגמה של מסך החיפוש במבחן ה-PAM-test המכיל מספרים צבעוניים שמתחלפים ללא הרף. על הנבדק לחפש את הספרות 4 או 8, ובכל פעם שמופיעה אחת מהן להביא אליה את סמן העכבר וללחוץ על המקש השמאלי כדי לסמנה ולהעלימה מהמסך.

3.2.3 דירוג עייפות סובייקטיבי

בכל פעם שהנבדק ביצע את מבחני העייפות הוא גם דירג את רמת העייפות שלו באותו רגע. הנבדק התבקש לציין עד כמה הוא עייף באמצעות בחירה על גבי סולם בין 1-7 לגבי היגדים שהופיעו על המסך כאשר 1 הינו היגד שמבטא עירנות ו 7 היגד שמבטא עייפות רבה. ההיגדים, שמובאים בהמשך, הינם תרגום של Stanford Sleepiness Scale - סולם מקובל ביותר בספרות שעוסקת בעייפות (SSS- Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips, & Dement, 1973): 1) אני חש נמרץ, חיוני, ערני או ער לחלוטין; 2) אני מתפקד ברמת תפקוד גבוהה, אבל לא בשיאי; מסוגל להתרכז. 3) ער אבל ניוח; מסוגל להגיב אבל לא לגמרי ערני; דרוך; 4) מרגיש קצת מטושטש, ירוד; 5) מטושטש, לא רוצה להישאר ער, איטי; 6) ישנוני, חלוש, נאבק בשינה, הייתי מעדיף לשכב לנוח; 7) לא מצליח להיאבק בשינה, תיכף אירדם; יש לי מחשבות דמויות-חלום.

PVT

מספר נבדק מספר בדיקה

מספר רנדומלי עייפות-1 עירנות-0

אנא דרג את רמת העייפות שאתה חש כרגע על גבי סולם 1-7 בהתאם להגדרות הבאות:
(הפנייה לנשים ולגברים כאחד)

1. אני חש נמרץ, חיוני, ערני או ער לחלוטין.

2. אני מתפקד ברמת תפקוד גבוהה, אבל לא בשיאי; מסוגל להתרכז.

3. ער אבל נינוח; מסוגל להגיב אבל לא לגמרי ערני. דרוך

4. מרגיש קצת מטושטש, ירוד.

5. מטושטש, לא רוצה להישאר ער, איטי.

6. ישנוני, חלוש, נאבק בשינה, הייתי מעדיף לשכב לנוח.

7. לא מצליח להיאבק בשינה, תיקף אירדם; יש לי מחשבות דמויות-חלום.

תמונה 9: צילום מסך שבו מופיעה שאלה לגבי רמת העייפות הסובייקטיבית באותו הרגע.

3.3 ניסוי הסימולטור

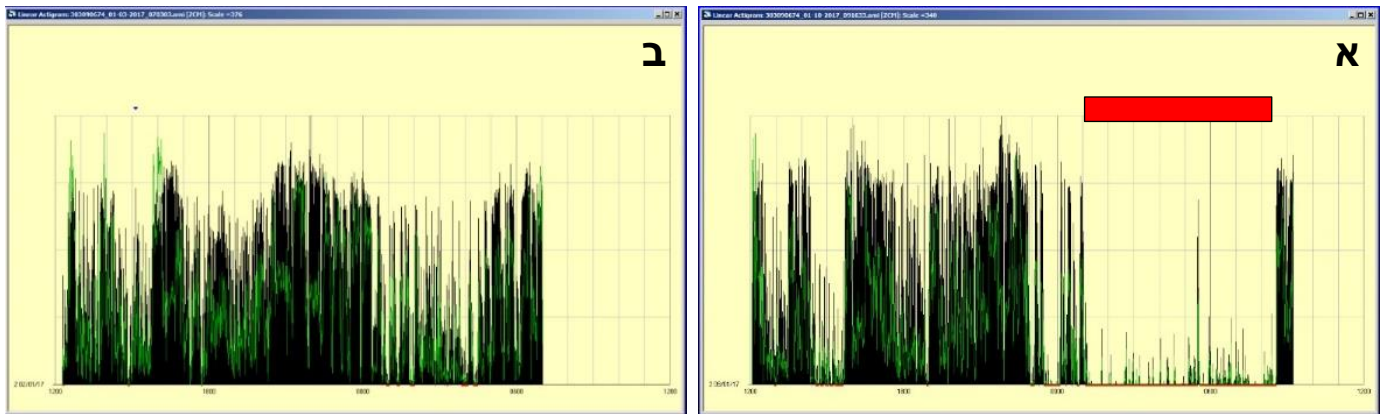
ניסוי הסימולטור הישווה נהיגה וביצוע של מבחני העייפות במערך תוך-נבדקי, כל נבדק ביצע את שני התנאים, במצב של עייפות ובמצב ללא עייפות. הנבדקים הגיעו למעבדה לשלוש פגישות. הפגישה הראשונה כללה אימון בכל אחת ממטלות המבחנים, החתמה על טופס הסכמה מדעת וקבלת שעון אקטיגרף למדידת התנהגות השינה. בשתי הפגישות הבאות בוצע הניסוי עצמו, פעם בתנאי שבו הנבדק היה ער במהלך כל היום והלילה שקדמו לניסוי ובפעם האחרת לאחר שהנבדק ישן היטב בלילה שלפני הניסוי – סדר התנאים (עייפות או ללא עייפות) אוזן בין הנבדקים. בכל מקרה היה על הנבדק לענוד את צמיד האקטיגרף במהלך היממה שלפני הניסוי, על מנת לוודא שעמד בתנאי השינה/חוסר שינה.

הליך פגישת אימון: הנבדקים ביצעו את שני המבחנים ה-PVT וה-PAM-test, שלוש

פעמים במהלך פגישת האימון. לאחר מכן כייל הנסיין את שעון האקטיגרף וענד אותו לנבדק. הנבדק קיבל מן הנסיין הסבר קצר לגבי מטרת ענידת השעון, ביקש ממנו לעמוד בתנאי השימוש בו והחתים אותו על טופס שימוש בשעון אקטיגרף (ראה נספח ג').

הליך פגישות הניסוי: הנבדק הגיע בשעת בוקר, לאחר לילה ללא שינה או לאחר לילה שבו ישן היטב, בהתאם לתנאי הפגישה. על מנת להימנע מאפקטים של אימון/עייפות בוצע איזון בין הנבדקים, כך שחמישה מבין הנבדקים ביצעו קודם נהיגה לאחר לילה ללא שינה ולאחר מכן נהיגה לאחר לילה בו ישנו היטב, ואילו אצל חמשת האחרים, הסדר היה הפוך.

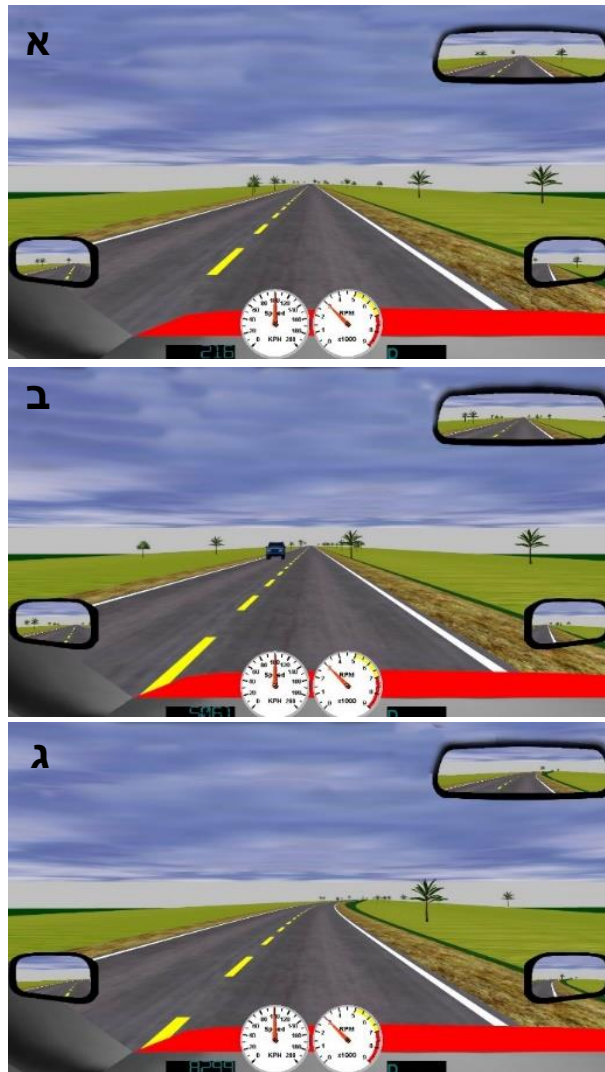
בתחילת פגישת הניסוי בדק הנסיין את הפלט של שעון האקטיגרף כדי לוודא אם אכן הוא עמד בתנאי שינה/חוסר שינה הנדרשים לתנאי המפגש. דוגמא לגרף שמצביע על שינה ניתן למצוא בתמונה 10א (הצבע האדום מעל הגרף מציג את פרק הזמן שבו הנבדק ישן, כפי שניתן להבין מתוך ההפחתה המשמעותית במדידת התנועות) ודוגמא לגרף שמצביע על חוסר שינה ניתן לראות בתמונה 10ב. בפגישת הניסוי הראשונה הנסיין הקריא לנבדק את הוראות הניסוי (נספח ד') ולאחר מכן התחיל הניסוי עצמו. בשלב הראשון ביצע הנבדק פעם אחת את כל אחד משני מבחני העייפות ודירג את רמת עייפותו. לאחר מכן נהג הנבדק בארבעה תרחישי נהיגה זהים כמעט לחלוטין זה לזה, שמשך כל אחד מהם היה חצי שעה. בין תרחיש אחד לשני הנבדק ביצע שוב את כל אחד משני מבחני הנהיגה ודירג את רמת העייפות (רמת העייפות דורגה תמיד כחלק ממסכי הכניסה שלפני ביצוע מבחן ה-PVT). סדר הרצת שני המבחנים במהלך הפגישה היה מאוזן. בסופה של פגישת הניסוי כולה ביצע הנבדק פעם נוספת את שני המבחנים ודירג בפעם האחרונה את רמת העייפות. לסיכום, בכל פגישה נהג הנבדק בארבעה תרחישים בני חצי שעה, ענה חמש פעמים על שאלת דירוג רמת העייפות, וביצע כל אחד משני המבחנים חמש פעמים.



תמונה 10: פלטי אקטיגרף של נבדק. א) אחרי לילה שבו הנבדק ישן – ניתן לראות הפחתה משמעותית בתנועות בשעות הלילה (מצד ימין של התמונה – מסומן בצבע אדום מעל); ב) אחרי לילה שבו הנבדק נשאר ער – לא רואים הפחתה דומה בתנועות לאורך הלילה.

תרחישי הנהיגה: התרחישים הציגו דרך דו מסלולית, חד-נתיבית, ארוכה, בסביבה דלה

בגירויים חזותיים, המדמה סביבה מדברית, בכביש המזכיר את כביש הערבה (תמונה 11). משני צידי הכביש ניתן לראות נוף שטוח יחסית ופתוח כאשר מפעם לפעם הופיעו עצים בודדים. הכביש ברובו היה ישר אך לאורך התרחיש הופיע מפעם לפעם עיקול (דוגמא בתמונה 11ג). העיקולים היו קהים, אבל אילצו את הנהג לבצע התאמות עדינות של כלי הרכב לתוואי הכביש באמצעות תזוזה עדינה של ההגה. עיקולים אלו נועדו לייצר מצבים בהם נדרשת התאמה לתוואי השטח כדי למדוד את ההשפעה של העייפות על מדדי שמירה על נתיב, שידועים כנפגעים מעייפות באופן ספציפי. על מנת להימנע מצורך בשמירת מרחק או ביצוע עקיפה, שעלולים היו לעורר את הנהג, התרחישים לא כללו רכבים נוספים שנסעו בנתיב נסיעת הנהג. עם זאת, כדי לדמות מצב מציאותי יותר, במסלול הנגדי היה ניתן לראות, מפעם לפעם, כלי רכב שנסע ממול הנהג. כלי רכב זה לא הצריך תגובה מצידו של הנהג ולכן הונח שנוכחותו לא השפיעה על התנהגותו (תמונה 11ב).



תמונה 11: דוגמאות מתוך תרחישי הנהיגה: (א) כביש ישר, דו מסלולי חד נתיבי, ללא כל כלי רכב בסביבה; (ב) תרחיש כביש ישר, דו מסלולי חד נתיבי, כלי רכב עובר במסלול הנגדי; (ג). דוגמא לעיקול קהה בכביש.

4 תוצאות

על מנת לבצע את הניתוחים הסטטיסטיים יצרנו תחילה שני קבצים מאוחדים שמציגים את כל המדדים הרלוונטיים לניתוחים, האחד עבור הנתונים שנצברו מכל התרחיש והשני רק עבור נתונים שחולצו מהאיזורים שבהם היו עיקולים בכביש. בתחילת כל אחד מן הקבצים מוצגים נתונים דמוגרפיים על כל נבדק (מין, גיל, מספר שנות החזקה ברישיון נהיגה ותדירות נהיגה), נתונים לגבי התנאים השונים של הפגישה בניסוי (סוג הפגישה – ללא/עם שינה, מספר הפגישה – ראשונה או שנייה, ומספר התרחיש - 1-4). בהמשך מוצגים בזה אחר זה טורים של כל המדדים הרלוונטיים שחושבו על ידנו באופן אינדיבידואלי מנתוני פלטי הסימולטור עבור כל נבדק וכל תרחיש. מדדים אלו כללו:

• מדדי נהיגה:

1. **מדדי סטייה מנתיב:** ממוצע, סטיית תקן, אחוזון 90 וערך מקסימלי.
2. **מדדי מהירות הנהיגה:** ממוצע, סטיית תקן, אחוזון 90 וערך מקסימלי.
3. **מדדי מנח הרכב ביחס לכביש:** ממוצע, סטיית תקן, אחוזון 90 וערך מקסימלי.

4. **מדדי מנח ההגה**: ממוצע, סטיית תקן, אחוזון 90 וערך מקסימלי.
5. מספר תאונות של ירידה משמעותית לשוליים – מוגדרות כתאונות בשל ירידה מהכביש.
6. מספר התאונות הכולל – שמכיל גם את התאונות מהסעיף הקודם וגם תאונות אחרות.
7. מספר חציות של קו האמצע.
8. מספר חציות של קו השוליים הימניים.
9. אחוז זמן נהיגה מעל מהירות מותרת.
10. אחוז מרחק נהיגה מעל מהירות מותרת.
11. אחוז זמן נהיגה שלא על הנתביב.
12. אחוז מרחק נהיגה שלא על הנתביב.

• **מדד עייפות:**

תשובת הנבדק לגבי רמת העייפות של בכל פעם שנשאל.

• **מדדי מבחן PVT:**

1. ממוצע ז"ת קצרים מ-500 א"ש.
2. ממוצע ז"ת ארוכים מ-500 א"ש.
3. ממוצע ז"ת מעבר לכל.
4. מספר פגיעות (תגובות נכונות) בז"ת קצר מ-500 א"ש.
5. מספר פגיעות בז"ת ארוך מ-500 א"ש.
6. מספר התרעות שווא (תגובות שגויות, כלומר לחיצה ללא צורך).

• **מדדי מבחן PAM-test:**

1. אחוזי פגיעות (תגובה נכונה).
2. אחוזי החמצות.
3. אחוזי התרעות שווא (לחיצה על מספר שגוי).
4. ממוצע ז"ת לתשובות נכונות.
5. שני מדדי אחוזי Lapses: תגובות נכונות ארוכות מ: א. 1,500 או ב. 2,000 א"ש.
6. אחוזי החמצות של מספר מטרה שהשתנה ממספר אחר.
7. אחוזי החמצות של מספר מטרה חדש שצץ.
8. ממוצע ז"ת של חצי הדקה בה מהירות התגובה הייתה הגדולה ביותר.
9. ממוצע ז"ת של חצי הדקה בה מהירות התגובה הייתה הנמוכה ביותר.

בוצעו ניתוחי מתאם (r-pearson) בין מדדי הנהיגה השונים למדדי המבחנים עבור כל אחד מן הקבצים – קובץ שכלל מידע מכלל התרחיש וקובץ שכלל מידע ממוקד מאיזורי העיקולים. בנספח ה' מופיעות טבלאות שמציגות את כל הניתוחים שהמתאם שלהם היה מובהק ($p < 0.05$). בפרק התוצאות מוצגים בטבלאות 2-28 הניתוחים המובהקים שמקדם המתאם שלהם היה בינוני לפחות (גדול מ - 0.4). בפרק הבא נציג דיון בממצאים.

טבלה 2: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.46463	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0001	0.43053	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש ⁸
<.0001	0.43494	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 3: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית התקן של הסטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.46784	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.49242	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.47353	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 4: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוזון 90 של הסטייה מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.44855	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.46909	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.45985	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 5: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטייה מקסימלית מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0002	0.40831	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.43656	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	0.40848	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

⁸ ז"ת גדולים מ-500 א"ש נחשבים במבחן ה-PVT לז"ת ארוכים מידי שמעידים על תפקוד ברמה נמוכה ונחשבים למעידות (Lapses).

טבלה 6: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית התקן של המהירות ממוצעת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.49382	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.4692	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.53226	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.52451	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.5121	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש

טבלה 7: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.47054	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0002	0.41344	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
0.0002	0.40651	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.45507	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.4431	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש

טבלה 8: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית תקן של מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0004	0.40192	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.42516	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.42187	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
0.0002	0.40049	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש

טבלה 9: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוזון 90 של מנח הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.47818	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
<.0001	-0.47967	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.47519	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש

טבלה 10: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מנח מקסימלי של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.4558	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.43523	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.50478	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0002	-0.40779	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש

טבלה 11: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.44074	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.49448	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
0.0002	0.4045	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.49232	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.4764	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש

טבלה 12: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית תקן של מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.56419	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.52923	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
<.0001	0.4554	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.57111	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.55865	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
0.0002	0.40543	מבחן PVT – מספר התרעות שווא

טבלה 13: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוזון 90 של מנח ההגה" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.7622	מבחן PVT – מספר התרעות שווא

טבלה 14: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מנח הגה מקסימלי" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.481	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.58123	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.43233	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.52681	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.52357	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0001	0.42115	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש

טבלה 15: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מספר תאונות של ירידות משמעותיות לשוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.49468	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5369	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 16: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מספר חציות של קו האמצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	-0.46319	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.46844	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.46763	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.44798	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0001	-0.41954	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 17: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז זמן נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	-0.42174	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש

טבלה 18: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז מרחק נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0002	-0.41077	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש

טבלה 19: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז זמן מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.42823	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.55972	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.60264	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.45784	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש

טבלה 20: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז מרחק מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0001	0.41424	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.55376	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5939	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.4653	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0002	0.40037	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	-0.40074	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	-0.42338	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 21: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית התקן של הסטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.42823	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.43378	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 22: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטייה מקסימלית מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.43373	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.45128	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 23: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "סטיית תקן של מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.41846	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.46252	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 24: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מנח ההגה מקסימלי" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.46091	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.50387	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 25: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מספר תאונות של ירידות משמעותיות לשוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.471	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.52719	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל

טבלה 26: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "מספר חציות של קו האמצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.43699	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	-0.52268	מבחן PVT - מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.53761	מבחן PVT - מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.54955	מבחן PAM-test - אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.45958	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע
<.0001	0.49907	מבחן PAM-test - אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.41992	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.48178	מבחן PAM-test - ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 27: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז זמן מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.40556	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.52116	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5862	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.47306	מבחן PVT - מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.42949	מבחן PVT - מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.40341	מבחן PAM-test - אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.41346	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.41873	מבחן PAM-test - ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 28: ניתוחי r-pearson מובהקים בעוצמת קשר בינונית לפחות (0.4 ומעלה) בין מדד "אחוז מרחק מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.50243	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.56585	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.4871	מבחן PVT - מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.44833	מבחן PVT - מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.47086	מבחן PAM-test - אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.40828	מבחן PAM-test - אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.42321	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.47288	מבחן PAM-test - ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

כפי שניתן לראות מהתבוננות בטבלאות 2-28 לעיל, מרבית המתאמים המובהקים בעלי העוצמה הבינונית לפחות, בין מדדי נהיגה שונים לבין מדדי המבחנים, התקבלו עבור מדד העייפות הסובייקטיבית ועבור מדדים שונים של מבחן ה-PVT. פחות מתאמים מובהקים בין מדדי נהיגה שונים ובין מדדי עייפות, התקבלו עם מדדי מבחן ה-PAM-test. המתאמים המובהקים עם מדדי מבחן ה-PAM-test התקבלו עבור מדדי נהיגה שקשורים למספר חציות של קו האמצע (עבור נתונים מכלל התרחישים כמו גם מאיזורי עיקולים בלבד), לאחוז ומרחק נסיעה במהירות מעל המהירות המותרת (עבור נתונים מכלל התרחישים) וכן אחוז זמן ומרחק מחוץ לנתיב (עבור איזורי עיקולים).

ממצאים אלו מציעים שהמבחן שפתחנו לא הצליח לאתר עייפות של נהגים במידה טובה יותר ממבחן ה-PVT המקובל. למעשה, בחלק מן המקרים שבהם המתאם של מדד כלשהו במבחן ה-PAM-test עם מדד נהיגה כלשהו היה מובהק, הוא היה נמוך יותר מהמתאם של אותו מדד נהיגה עם מדדים אחרים ממבחן ה-PVT. ממצא זה מציע שגם במקרים בהם נמצא מתאם הוא לא היווה יתרון בהשוואה למבחן המקובל (PVT).

5 דיון

ממצאי הניסוי לא מצאו יתרון למבחן החדש שפתחנו על פני המבחן המקובל לעייפות (PVT). ממצאים אלו מציעים שלמרות שסברנו שתוספת הרכיב של זיכרון עבודה למבחן תהפוך אותו למבחן טוב יותר עבור עייפות בנהיגה, המבחן הספציפי שהצענו לא הצליח לאשש טענה זו. נדגיש כי למרות שההשערות לגבי המבחן הספציפי שפותח לא אוששו, לאור סקר הספרות המעמיק שביצענו, אנו דבקות בהצעתנו לפיה תוספת רכיב זיכרון העבודה למבחן שיבדוק עייפות בנהיגה היא חשובה ויכולה לשפר את יכולת הניבוי של המבחן. יחד עם זאת, לאחר סיום התהליך המחקרי הנוכחי, מתוך אי היכולת לאשש את ההשערה ותוך ניתוח מעמיק נוסף של מרכיבי המטלות שהצענו למבחן הנוכחי, אנו סבורות שניתן להסביר את חוסר היעילות של המבחן הספציפי בתכונותיו הייחודיות, שלא היו קשורות למרכיבי המטלה (פסיכומטרית + קשב פשוט + זיכרון עבודה) אלא לאופן הביטוי שלהם. בפסקה הבאה נסביר את כוונתנו.

המבחן שפתחנו במחקר הנוכחי כולל בתוכו רכיב משמעותי של חיפוש **אקטיבי** אחר מטרה. יתכן שחוסר ההצלחה של מבחן ה-PAM-test לאתר עייפות במידה טובה יותר לעומת מבחן ה-PVT, נובע מכך שהוא דורש מהנבדק רמת אקטיביות הרבה יותר גבוהה מאשר זאת הנדרשת במבחן ה-PVT. כאמור, במבחן PVT הנבדק נדרש להביט בנקודה מסויימת אחת על המסך ולהמתין להופעה רנדומלית של גירוי, ולהגיב בפעולה מוטורית פשוטה. לעומת זאת במבחן ה-PAM-test על הנבדק לעסוק בחיפוש אקטיבי, ללא הרף, על פני המסך כולו, כדי לאתר את המטרה שצצה או מתחלפת, להביא את העכבר אל המטרה ברגע שנמצאה ולהקיש על המקש השמאלי. למרות שאין ספק שיכולת החיפוש האקטיבי עצמה מושפעת מעייפות (ראייה לכך ניתן לראות במתאמים המובהקים והעוצמתיים יחסית שהתקבלו עבור מדדי המבחן השונים בטבלאות 2-28 לעיל), הצורך המובנה של המטלה בביצוע חיפוש אקטיבי עלול להוות גורם מעורר שמנטרל במידת מה את העייפות.

נראה שלא יהיה חולק על כך שה-PAM-test מייצג את היכולות הקוגניטיביות שנמצאו חשובות ורלוונטיות בסקר הספרות שביצענו: יכולת פסיכומטורית, קשב פשוט וזיכרון עבודה. אולם, ממצאי המחקר הנוכחי מציעים שבאופן יישומו של במבחן הוא ניטרל במידה כלשהי את השפעת העייפות ולכן במבחן התוצאה הוא לא נמצא יעיל יותר ממבחן ה-PVT. יחד עם זאת, לאור החשיבות הרבה הנובעת לפיתוח של מבחן עייפות שכזה, אנו מציעות להמשיך בניסיונות נוספים, מבוססים על סקירות ספרות וידע מעמיק שלוקחים בחשבון את תוצאות המחקר הנוכחי, כדי לפתח מבחן קוגניטיבי קצר, פשוט וטוב יותר במטרה לאתר בהצלחה נהגים עייפים ובכך לסייע במניעת תאונות דרכים.

בהתאם למסקנות המחקר הנוכחי, אנו סבורות שניתן להציע מבחן עייפות שונה, שבו הנבדק ידרש בנוסף על התגובה המוטורית הפשוטה למטלת קשב פשוט להפעיל גם רכיב של זיכרון עבודה, אך מנגד לא יהיה צורך בחיפוש אקטיבי ותזוזה של תנועות העיניים, כפי שהיה במבחן ה-PAM-test הנוכחי. למשל, ניתן לשקול מטלה דואלית, שכוללת עקיבה מוטורית פשוטה אחר מטרה שנעה במרחב מצומצם (למשל צורה גיאומטרית עולה ויורדת בשטח כלשהו על המסך) תוך ביצוע מטלה שנייה, במקביל, של הבחנה בשינוי צבע מטרה (צורה אחרת המופיעה על המסך במיקום סמוך, או לחילופין שינוי בצבע הצורה הגיאומטרית שעליה עוקבים). למשל, כשהנבדק מבחין בשינוי צבע מכתום לאדום יהיה עליו ללחוץ על מקש כלשהו ואילו כשהצבע ישתנה מכתום לירוק יהיה עליו להימנע מלחיצה. מבחן זה עונה על שלושת הרכיבים שנדרשים למדידת עייפות בנהיגה אותם מצאנו בסקר הספרות, מבלי שהוא מערב את הרכיב של החיפוש החזותי האקטיבי שנמצא כלא מתאים. בנוסף, מבחן זה הינו בעל תוקף נראה (face validity) גבוה יותר הן מהמבחן שהוצע במחקר הנוכחי והן ממבחן ה-PVT, שכן הוא מדמה באופן גלוי וטוב יותר את מטלת הנהיגה. רכיב העקיבה מדמה באופן ברור שמירה על נתיב הנסיעה, שנמצא בעבר (למשל, Jackson et al., 2013; Jongen et al., 2015), וגם במחקר הנוכחי, כאחד המדדים המושפעים ביותר מעייפות. רכיב זיהוי שינוי הצבע והתגובה אליו מדמה באופן ברור וגלוי תגובה לרמזורים (לעצור באדום ולהמשיך בירוק). לא ידוע לנו על מחקר קודם שעשה שימוש במבחן דומה. אנו מציעות לבצע מחקר המשך שבו יבדק המתאם של מדדים שונים של מבחן הדומה לזה שמתואר בפסקה הקודמת עם מדדי נהיגה שונים תחת עייפות לעומת ערנות. אם מבחן זה ימצא כבעל יתרון על פני מבחן ה-PVT, או כמוסיף מידע משמעותי למבחן ה-PVT, ניתן יהיה לעשות בו שימוש להערכת יכולתם של נהגים לנהוג תחת מצבי עייפות. אנו מקוות שנוכל למצוא מימון למחקר המשך שכזה ולהוציאו לפועל.

⁹ תוקף נראה בוחן את השאלה "האם המשתתפים במדידה מרגישים שהיא תקפה?". או במילים אחרות האם המחקר נראה כאילו הוא מודד את מה שאמור למדוד. על אף שסוג תוקף זה עשוי להיתפס כלא משמעותי, בשל עיסוקו בחוויה הסובייקטיבית של משתתפי המחקר, למעשה הוא אחד מסוגי התוקף החשובים ביותר. מבחן בעל תוקף נראה נמוך לא יעבור את מבחן השימוש הציבורי בו, וגם אם יעמוד בסוגי מבחני תוקף ומהימנות אחרים, הסיכוי להשתמש בו בפועל יהיה נמוך.

סתר, פ. ומרציאנו, ה. (2016) פיתוח מבחן קוגניטיבי להערכת רמת העייפות בקרב נהגים מקצועיים - סקרי ספרות. דו"ח שהוגש ל המוסד לביטוח לאומי.
 סתר, פ. ומרציאנו, ה. (2017) פיתוח מבחן קוגניטיבי להערכת רמת העייפות בקרב נהגים מקצועיים – דו"ח ב'. דו"ח שהוגש ל המוסד לביטוח לאומי.

- Adam, M., Retey, J. V., Khatami, R., & Landolt, H. (2006). Age-related changes in the time course of vigilant attention during 40 hours without sleep in men. *SLEEP-NEW YORK THEN WESTCHESTER*-, 29(1), 55.
- Alhola, P., & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 3(5), 553.
- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, 25(1), 45-65.
- Baulk, S. D., Biggs, S. N., Reid, K. J., van den Heuvel, C. J., & Dawson, D. (2008). Chasing the silver bullet: Measuring driver fatigue using simple and complex tasks. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 396-402.
- Chee, M. W., & Choo, W. C. (2004). Functional imaging of working memory after 24 hr of total sleep deprivation. *The Journal of Neuroscience*, 24(19), 4560-4567.
- Choo, W. C., Lee, W. W., Venkatraman, V., Sheu, F. S., & Chee, M. W. (2005). Dissociation of cortical regions modulated by both working memory load and sleep deprivation and by sleep deprivation alone. *Neuroimage*, 25(2), 579-587.
- Chun, M. M. (2011). Visual working memory as visual attention sustained internally over time. *Neuropsychologia*, 49(6), 1407-1409.
- Dinges, D. F., & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 17(6), 652-655.
- Doran, S. M., Van Dongen, H. P. A., & Dinges, D. F. (2001). Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. *Archives Italiennes de Biologie*, 139(3), 253-267.
- Dorrian, J., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2005). *Psychomotor vigilance performance: Neurocognitive assay sensitive to sleep loss* (Doctoral dissertation, Marcel Dekker).
- Drummond, S. P., Brown, G. G., Gillin, J. C., Stricker, J. L., Wong, E. C., & Buxton, R. B. (2000). Altered brain response to verbal learning following sleep deprivation. *Nature*, 403(6770), 655-657.
- Duffy, J. F., Willson, H. J., Wang, W., & Czeisler, C. A. (2009). Healthy older adults better tolerate sleep deprivation than young adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(7), 1245-1251.

- Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2005, March). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. In *Seminars in Neurology*, 25(1), 117-129.
- Frey, D. J., Badia, P., & Wright, K. P. (2004). Inter-and intra-individual variability in performance near the circadian nadir during sleep deprivation. *Journal of sleep research*, 13(4), 305-315.
- Goel, N., Rao, H., Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2009, September). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. In *Seminars in neurology*, 29(4), 320.
- Griffith, C. D., & Mahadevan, S. (2006). *Sleep-Deprivation Effect on Human Performance: A Meta-analysis Approach*. United States. Department of Energy.
- Harrison, Y., & Horne, J. A. (2000). The impact of sleep deprivation on decision making: A review. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(3), 236.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431-436.
- Horne, J. (2012). Working throughout the night: Beyond ‘sleepiness’—impairments to critical decision making. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(10), 2226-2231.
- Horne, J. A., & Pettitt, A. N. (1985). High incentive effects on vigilance performance during 72 hours of total sleep deprivation. *Acta Psychologica*, 58(2), 123-139.
- Jackson, M. L., Croft, R. J., Kennedy, G. A., Owens, K., & Howard, M. E. (2013). Cognitive components of simulated driving performance: Sleep loss effects and predictors. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 438-444.
- Jackson, M., & Van Dongen, H. (2011). Cognitive effects of sleepiness In M. Thorpy, M Billiard (ed.) *Sleepiness: Causes, Consequences, Disorders and Treatment*, Cambridge University Press, New York, United States, 72-81.
- Jennings, J. R., Monk, T. H., & Van der Molen, M. W. (2003). Sleep deprivation influences some but not all processes of supervisory attention. *Psychological Science*, 14(5), 473-486.
- Jones, K., and Y. Harrison. (2001). Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 5(6), 463-475.
- Jongen, S., Perrier, J., Vuurman, E. F., Ramaekers, J. G., & Vermeeren, A. (2015). Sensitivity and validity of psychometric tests for assessing driving impairment: Effects of sleep deprivation. *PLoS one*, 10, e0117045-e0117045.
- Kaida, K., Takahashi, M., Åkerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., & Fukasawa, K. (2006). Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*, 117(7), 1574-1581.
- Kjellberg, A. (1975). Effects of sleep deprivation on performance of a problem-solving task. *Psychological Reports*, 37(2), 479-485.
- Kjellberg, A. (1977). Sleep deprivation and some aspects of performance: I. Problems of arousal changes. *Waking & Sleeping*.

- Koslowsky, M., & Babkoff, H. (1992). Meta-analysis of the relationship between total sleep deprivation and performance. *Chronobiology International*, 9(2), 132-136.
- Kripke, D. F., Garfinkel, L., Wingard, D. L., Klauber, M. R., & Marler, M. R. (2002). Mortality associated with sleep duration and insomnia. *Archives of General Psychiatry*, 59(2), 131-136.
- Kronholm, E., Partonen, T., Laatikainen, T., Peltonen, M., Härmä, M., Hublin, C., & Sutela, H. (2008). Trends in self-reported sleep duration and insomnia-related symptoms in Finland from 1972 to 2005: A comparative review and re-analysis of Finnish population samples. *Journal of Sleep Research*, 17(1), 54-62.
- Lee, H. J., Kim, L., & Suh, K. Y. (2003). Cognitive deterioration and changes of P300 during total sleep deprivation. *Psychiatry and clinical neurosciences*, 57(5), 490-496.
- Lee, I. S., Bardwell, W. A., Ancoli-Israel, S., & Dimsdale, J. E. (2010). Number of lapses during the psychomotor vigilance task as an objective measure of fatigue. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 6(2), 163.
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin*, 136(3), 375.
- Lundqvist, A. (2001). Neuropsychological aspects of driving characteristics. *Brain Injury*, 15(11), 981-994.
- Ma, N., Dinges, D. F., Basner, M., & Rao, H. (2015). How acute total sleep loss affects the attending brain: a meta-analysis of neuroimaging studies. *Sleep*, 38(2), 233-240.
- Matthews, G., & Desmond, P. A. (2002). Task induced fatigue states and simulated driving performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A, 659-686.
- Odenheimer, G. L., Beaudet, M., Jette, A. M., Albert, M. S., Grande, L., & Minaker, K. L. (1994). Performance-based driving evaluation of the elderly driver: Safety, reliability, and validity. *Journal of Gerontology*, 49(4), M153-M159.
- Patrick, G. T. W., & Gilbert, J. A. (1896). Studies from the psychological laboratory of the University of Iowa: On the effects of loss of sleep. *Psychological Review*, 3(5), 469.
- Philibert, I. (2005). Sleep loss and performance in residents and nonphysicians: A meta-analytic examination. *Sleep-New York Then Westchester*, 28(11), 1392.
- Philip, P., Sagaspe, P., Moore, N., Taillard, J., Charles, A., Guilleminault, C., & Bioulac, B. (2005). Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 473-478.
- Pilcher, J. J., & Huffcutt, A. J. (1996). Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis. *Sleep: Journal of Sleep Research & Sleep Medicine*.
- Pilcher, J. J., McClelland, L. E., DeWayne, D., Henk, M., Jaclyn, H., Thomas, B., Wallsten, S., & McCubbin, J. A. (2007). Language performance under sustained work and sleep deprivation conditions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(Supplement 1), B25-B38.

- Polzella, D. J. (1975). Effects of sleep deprivation on short-term recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 1(2), 194.
- Roach, G. D., Lamond, N., & Dawson, D. (2016). Feedback has a positive effect on cognitive function during total sleep deprivation if there is sufficient time for it to be effectively processed. *Applied Ergonomics*, 52, 285-290.
- Sagaspe, P., Sanchez-Ortuno, M., Charles, A., Taillard, J., Valtat, C., Bioulac, B., & Philip, P. (2006). Effects of sleep deprivation on Color-Word, Emotional, and Specific Stroop interference and on self-reported anxiety. *Brain and Cognition*, 60(1), 76-87.
- Schwarz, J. F., Geisler, P., Hajak, G., Zulley, J., Rupperecht, R., Wetter, T. C., & Popp, R. F. (2015). The effect of partial sleep deprivation on computer-based measures of fitness to drive. *Sleep and Breathing*, 1-8.
- Sforza, E., Haba-Rubio, J., De Bilbao, F., Rochat, T., & Ibanez, V. (2004). Performance vigilance task and sleepiness in patients with sleep-disordered breathing. *European Respiratory Journal*, 24(2), 279-285.
- Shneerson, J. M. (2000). Handbook of sleep medicine. Wiley-Blackwell. *Sleep medicine reviews*, 5(6), 463-475.
- Steele, M. L., Rode, N., Stocker, R., McNamee, R. L., & Germain, A. (2017). 0264 Effect of acute sleep deprivation on cognitive performance and fear extinction recall. *Journal of Sleep and Sleep Disorders Research*, 40(suppl_1), A97-A97.
- Stenuit, P., & Kerkhofs, M. (2005). Age modulates the effects of sleep restriction in women. *Sleep-New York Then Westchester*, 28(10), 1283.
- Steyvers, F. J., & Gaillard, A. W. (1993). The effects of sleep deprivation and incentives on human performance. *Psychological Research*, 55(1), 64-70.
- Thomas, M., Sing, H., Belenky, G., Holcomb, H., Mayberg, H., Dannals, R., & Redmond, D. (2000). Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Journal of Sleep Research*, 9(4), 335-352.
- Tsai, L. L., Young, H. Y., Hsieh, S., & Lee, C. S. (2005). Impairment of error monitoring following sleep deprivation. *Sleep*, 28(6), 707-13.
- Tucker, A. M., Whitney, P., Belenky, G., Hinson, J. M., & Van Dongen, H. P. (2010). Effects of sleep deprivation on dissociated components of executive functioning. *Sleep*, 33(1), 47.
- Van Dongen, H. P. A., Baynard, M. D., Maislin, G., & Dinges, D. F. (2004). Systematic interindividual differences in neurobehavioral impairment from sleep loss: evidence of trait-like differential vulnerability. *Sleep-New York Then Westchester*, 27(3), 423-433.
- Van Dongen, H. P., & Belenky, G. (2009). Individual differences in vulnerability to sleep loss in the work environment. *Industrial Health*, 47(5), 518-526.
- VAN Orden, C. Y., Gaillard, A. W., & Langefeld, J. J. (1996). Effects of Fatigue and Social Environment on Performance: The Role of Feedback (Effecten van

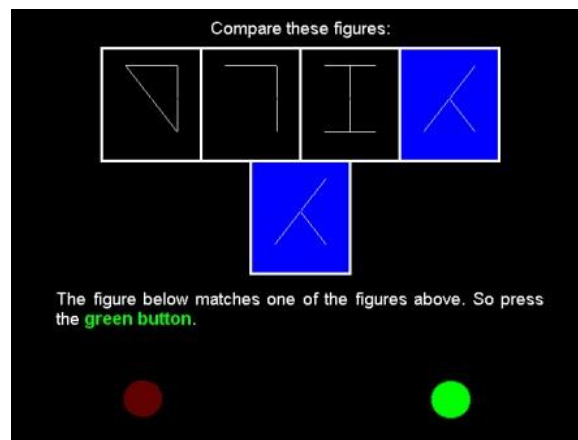
vermoeidheid en sociale omgeving op prestatie: de rol van feedback) (No. TNO-TM-96-A035). HUMAN FACTORS RESEARCH INST TNO SOESTERBERG (NETHERLANDS).(Only abstract in English).

- Verweij, I. M., Romeijn, N., Smit, D. J., Piantoni, G., Van Someren, E. J., & van der Werf, Y. D. (2014). Sleep deprivation leads to a loss of functional connectivity in frontal brain regions. *BMC Neuroscience*, *15*(1), 88.
- Waters, F., & Bucks, R. S. (2011). Neuropsychological effects of sleep loss: Implication for neuropsychologists. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(04), 571-586.
- Wickens, C. D., Hutchins, S. D., Laux, L., & Sebok, A. (2015). The Impact of Sleep Disruption on Complex Cognitive Tasks A Meta-Analysis. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 0018720815571935.
- Wilkinson, R. T. (1964). Effects of up to go hours' sleep deprivation on different types of work. *Ergonomics*, *7*(2), 175-186.
- Wilkinson, R. T. (1968). Sleep deprivation: performance tests for partial and selective sleep deprivation. *Progress in Clinical Psychology*, *8*, 28-43.
- Wilkinson, R. T. (1992). The measurement of sleepiness. Sleep, arousal and performance. Boston: Birkhauser, 254-65.
- Williams, H. L., Lubin, A., & Goodnow, J. J. (1959). Impaired performance with acute sleep loss. *Psychological Monographs: General and Applied*, *73*(14), 1.
- Wimmer, f., Hoffmann, r. F., Bonato, r. A., & Moffitt, A. R. (1992). The effects of sleep deprivation on divergent thinking and attention processes. *Journal of Sleep Research*, *1*(4), 223-230.

7.1 נספח א' – מחקרי קשב

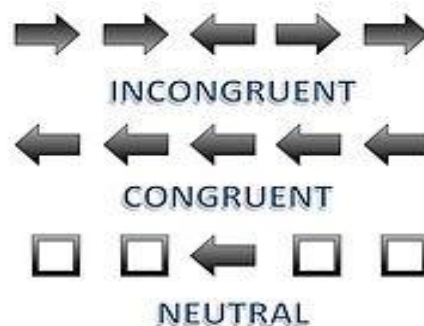
מחקרים רבים הראו ירידה בקשב ובמיוחד בקשב מתמשך (עירנות) כתוצאה מחוסר בשינה, אולם האופן בו הם בוחנים את ההשפעה שונה ממחקר למחקר. ירידה בקשב כתוצאה מחוסר בשינה באה לידי ביטוי במגוון מטלות. נמנה כמה מהמטלות, שביצוען בצורה המיטבית מחייב, בין היתר, רמה גבוהה של קשב, בהן השתמשו במחקרים על חוסר בשינה:

- **קשב שמיעתי או חזותי** – תגובה מהירה לגירוי שמיעתי או חזותי.
- ביצוע **תרגילי חיבור וחיסור**.
- **Cognitron Test** – מבחן בו מוצגות ארבע צורות גיאומטריות ועל הנבדק להחליט אם צורה חמישית מתאימה לאחת מהארבע (תמונה 10, Lee et al., 2003).



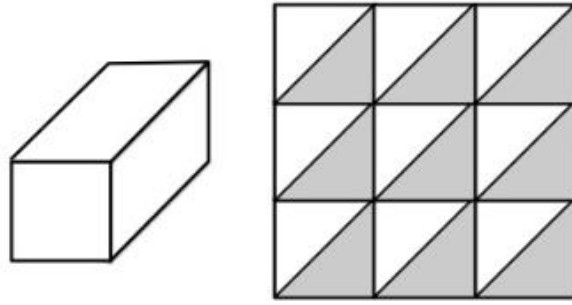
תמונה 12: דוגמה לפריט מתוך Cognitron Test.

- **Flanker task** – מבחן בו על הנבדק לסמן את הכיוון של צורה מרכזית המוקפת בצורות באותו כיוון (תנאי תואם - congruent), בצורות בעלות כיוון מנוגד (תנאי לא תואם - incongruent) או בצורות ניטרליות (תנאי ניטרלי, neutral). (תמונה 11, Tsai et al., 2005).



תמונה 13: הדגמת צעדים שונים מתוך מבחן שכולל Flanker task, למעלה תנאי לא תואם, באמצע תנאי תואם ולמטה תנאי ניטרלי. מתוך Tsai et al., 2005.

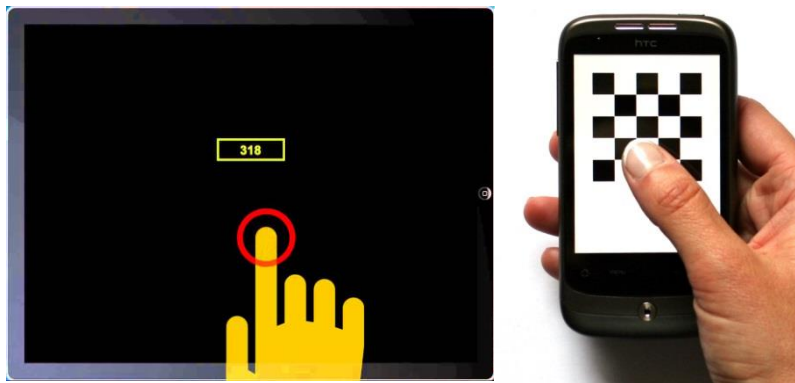
- **Embedded Figures Test** – מציאת צורה גיאומטרית פשוטה יחסית בתוך תמונה גדולה ומורכבת יותר (תמונה 12).



תמונה 14: הדגמה לפריט מתוך Embedded Figures Test

- **מגוון מטלות דואליות:** לדוגמא, מטלת זיכרון שבה על הנבדק לזהות אותיות אותן ראה בתחילת המבחן ובה בעת לעקוב אחר סמן שני באופן רנדומלי (Frey et al., 2004).
- **(Psychomotor Vigilance Test) PVT:** תגובה מוטורית מהירה להופעה של גירוי חזותי, שנמדדת באמצעות מבחן פסיכומטורי שפותח על ידי Dinges and Powell (1985). מדובר במטלה שמשמשת לבחינת ההשפעה של חוסר בשינה על הקשב בתדירות הגבוהה ביותר. מבחן אובייקטיבי זה הוכח כרגיש לחסך בשינה במגוון תנאים ניסויים, לרבות חסך חלקי (Basner, Mollicone, & Dinges, 2011) או כרוני בשינה (Sforza, et al., 2004). נמצאו מתאמים גבוהים בין מדד מבחן ה-PVT לבין מדדים אובייקטיביים כמו שינויים ב-EEG ותנועות עיניים וגם מדדים סובייקטיביים של ישנוניות ועייפות (Kaida, et al., 2006). ואכן יתרוננו הגדול של ה-PVT הוא האובייקטיביות שלו (Lee et al., 2010). המבחן נערך על גבי צג מחשב והנבדקים מתבקשים ללחוץ על מקש מסוים כאשר מופיע גירוי כלשהו. הגירוי יכול להיות צורה או מעין שעון עצר שמופעל ברגע שמופיע הגירוי ונעצר כאשר הנבדק לוחץ על המקש (תמונה 13, Frey et al., 2004). המדדים שמתקבלים הם זמן תגובה מהופעת הגירוי, מספר/שיעור החמצות, מספר אזעקות שווא (לחיצה כאשר לא מופיע גירוי) ומספר מעידות בערות (lapses). המעידות בערות נחשבות למדד יעיל למדידת הירידה בקשב ובעירנות כתוצאה מחוסר בשינה. אזעקות שווא משמשות למדידת התפקודים הניהוליים¹⁰ (Lee et al., 2010).

¹⁰ תפקודים ניהוליים - executive functions – תפקודים שמטרתם לפקח ולווסת תהליכים קוגניטיביים אחרים, כמו זיכרון עבודה, הסקת מסקנות, פתרון בעיות, תכנון וביצוע. תפקודים ניהוליים מאפשרים למעשה לתכנן ולתאם פעולה ולבחור את החלופה המתאימה ביותר מבין פעולות אפשריות, לנטר ולעדכן פעולה לפי הצורך, להתעלם מהסחות ולמקד קשב במטלה.

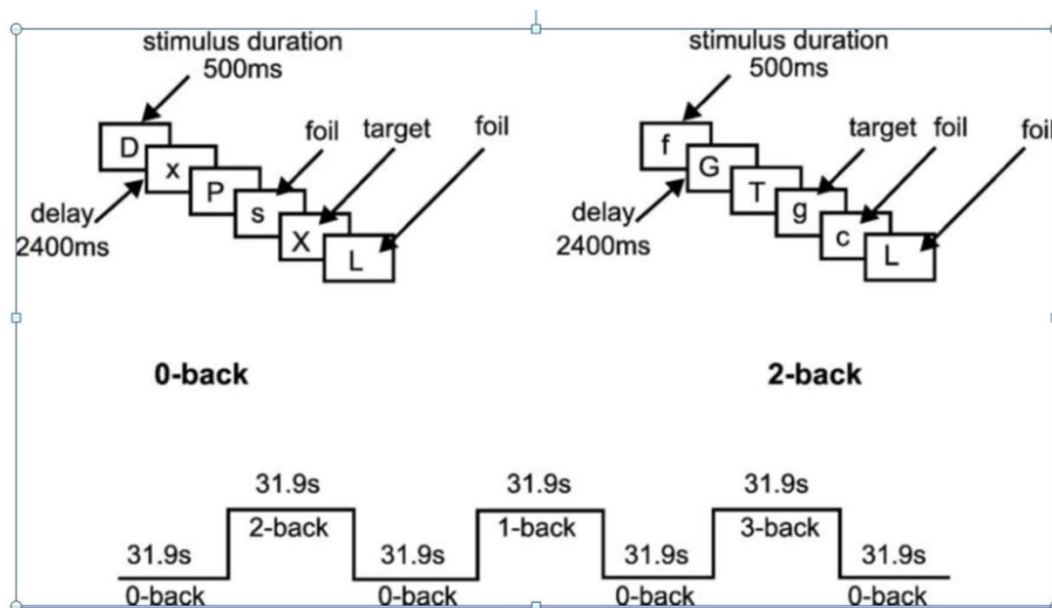


תמונה 15: הדגמה של שתי גירסאות ממוחשבות למבחן PVT. בימנית על הנבדק ללחוץ על מסך מגע ברגע שמופיעה התמונה של הריבועים. בשמאלית מופיע מעין שעון עצר, הנבדק לוחץ ברגע שהשעון מופעל.

7.2 נספח ב – מחקרי זיכרון עבודה

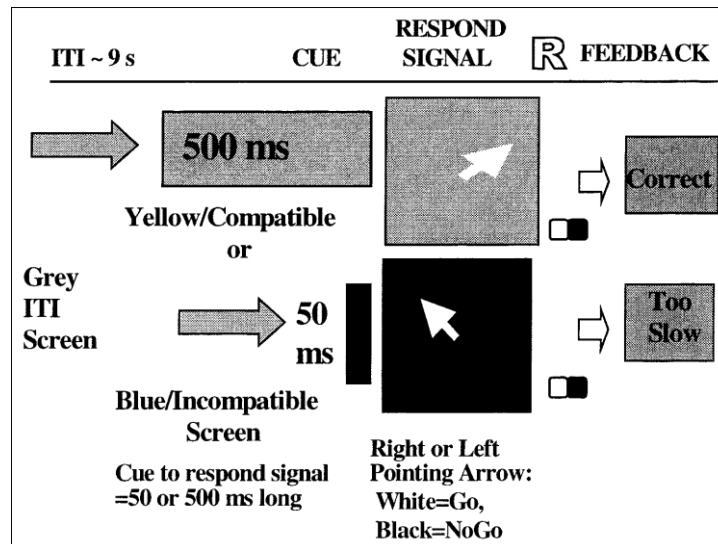
זיכרון העבודה מתייחס למערכת המשווייכת לחלק המודע של תודעת האדם, שתפקידה לשמור מידע עבור ביצוע מטלה. זיכרון העבודה מאפשר לערוך מניפולציות על מידע רלוונטי למשימה ולשמר אותו במודעות למשך זמן קצר. לדוגמא, כדי לקבל החלטה לגבי העיתוי הנכון לביצוע עקיפה בנהיגה, יש לעשות שימוש במידע על מצב הכביש, מיקום המכוניות בסביבה והערכות לגבי המהירויות שלהן. כל אלה נתונים שיש לשמור בזיכרון העבודה, על מנת שניתן יהיה לקבל החלטה האם אפשרי או לא אפשרי לבצע עקיפה ברגע נתון.

לרוב המבחנים שמשמשים למדידת זיכרון עבודה מתוכננים בסגנון n-back. מוצגת לנבדק סדרת גירויים בזה אחר זה, והוא מתבקש להגיב לגירוי שהוצג לו לפני n גירויים. לדוגמא, בניסוי של Choo et al (2005), שניתן לראות בתמונה 14, בצעד 0-back (תמונה 14 משמאל) הנבדק התבקש להקיש בכל פעם שהופיעה האות x. בצעד 2-back (תמונה 14 מימין), הנבדק התבקש להקיש כאשר האות שהופיעה היא אותה האות שהופיעה לפני שני צעדים, כמו האות g בדוגמא.



תמונה 16: תרשים המדגים את מבחן ה n-back (מתוך Choo et al., 2005)

מבחן מקובל אחר הוא **זמן תגובה לבחירה מרובה - Choice reaction time**. במבחנים אלו נמדד זמן תגובה לגירוי הנכון כאשר מוצגים מספר גירויים וישנן תגובות אפשריות רבות. לדוגמא, בניסוי של (Jennings et al. 2003) התבקשו להקיש על מקש כאשר הופיע חץ לבן, אבל ההנחיות היו להקיש על מקש אחד כאשר החץ פנה לימין ועל מקש אחר כאשר החץ פנה לשמאל. בנוסף, כאשר הופיע מלבן שחור ולא חץ, היה עליהם להימנע מתגובה בכלל (תמונה 15).



תמונה 17: דוגמא למבחן Choice reaction time, מתוך (Jennings et al 2003).

חשוב להבין שזיכרון עבודה וקשב אינם תהליכים בלתי תלויים, אלא הם קשורים זה בזה, משום שקידוד הזיכרון ושמירתו הם למעשה הפנית קשב מתמשכת (או שמירה על עירנות) למספר מוגבל של עצמים ואירועים שקשורים במטלה שמתבצעת. זיכרון העבודה הוא למעשה הממשק שבעזרתו מנגנונים קשביים בוחרים ומתחזקים מידע רלוונטי (Chun, 2011). כמו כן, ידוע שזיכרון העבודה והקשב קשורים שניהם לתפקוד של האונות הפרונטליות, שמחקרים מראים שהן הנפגעות העיקריות מחסך בשינה (Harrison & Horne, 2000). לכן אין זה מפתיע שסקירת הספרות שלנו ומחקרים רבים אחרים מראים שאלו שני התפקודים שנפגעים באופן המשמעותי ביותר כתוצאה משעות ערות רבות.

7.3 נספח ג: טופס שימוש בשעון אקטיגרף

בניסוי בו אתה משתתף ישנו צורך בשימוש בשעון אקטיגרף על מנת לעקוב אחר דפוס השינה בלילה שלפני הניסוי. תשתתף בשני מפגשים – האחד לאחר לילה ללא שינה (במסגרת תפקידך בעבודה המחייבת משמרת לילה) והשני לאחר לילה בו ישנת באופן רגיל. תתבקש לענוד את השעון מהרגע שתקבל אותו מהנסיין ועד לשעת פגישת הניסוי שלך, אז תמסור אותו לנסיין.

אנו מבקשים כי השעון יישאר על היד במשך כל אותן שעות **פרט לזמן הרחצה**. השעון אינו עמיד במים ולכן אתה מתבקש להורידו בזמן הרחצה ולהחזירו מיד לאחר שתסיים. אנא שמור על השעון שמהווה ציוד מחקרי חשוב ויקר.

אני מאשר שקיבלתי מידע על השימוש בשעון אקטיגרף במסגרת המחקר "DriverFatigue" ואני מתכוון להיזהר בשימוש בו ולהחזירו מיד בסיום השימוש.

שם פרטי ומשפחה: _____

תאריך: _____

7.4 נספח ד: הוראות לנבדק

שלום,

הינך עומד להשתתף בניסוי, אשר עושה שימוש בסימולטור נהיגה, על מנת לבחון אספקטים שונים של נהיגה מדומה במכונית אוטומטית.

☒ כתנאי מקדים להשתתפות עליך להיות בעלות רישיון נהיגה, שתוקפו 5 שנים לפחות.

מהלך הניסוי:

תתבקש לשבת על הכיסא כשלפניך שולחן אליו מחובר הגה. על הרצפה שמתחת לשולחן מונחות דוושות להאצה ובלימה.

במהלך הנהיגה בסימולטור, יופיעו שני שעונים בתחתית המסך: השמאלי הוא שעון מהירות בקמ"ש והימני שעון סל"ד. כמו כן בחלקו העליון של המסך במרכז ובשני צידי המסך יופיעו מראה אחורית ומראות צד.

עליך לנהוג בסימולטור באופן שיחקה בצורה הטובה ביותר את צורת נהיגתך הטבעית, מבלי לבצע עבירות תנועה. משך הנהיגה יהיה ארוך (כשעתיים). מפעם לפעם נעצור אותך כדי לבצע את שתי המטלות הקצרות, עליהן כבר התאמנת, על גבי המחשב שנמצא על השולחן משמאלך.

תזכורת להוראות לביצוע המטלות במחשב הנייד

1. מטלת PAM-Test:

במסך שלפניך תופענה בסדר אקראי בו זמנית כמות גדולה של ספרות בין 0-9, בצבעים שונים. מפעם לפעם יתווספו ספרות חדשות, ומפעם לפעם ייעלמו חלק מן הספרות. כמו כן ספרה קיימת יכולה להתחלף באחרת. משימתך תהיה להתבונן על המסך ולחפש ללא הרף את שתי הספרות הבאות: 4 ו-8. בכל פעם שתזהה את אחת משתי הספרות הללו (4 או 8), עליך להביא אליה את סמן העכבר וללחוץ באמצעות המקש השמאלי של העכבר על מנת להעלים את הספרה. השתדל לעבוד באופן המהיר והמדויק ביותר שתוכל.

2. מטלת PVT:

במסך שלפניך יופיע מלבן בהיר על רקע כהה. מפעם לפעם יופיע גם עיגול כהה על החלק הבהיר. בכל פעם שתראה את העיגול הכהה נבקשך ללחוץ מהר ככל שתוכל על מקש ה"רווח".

גמול כספי:

בניסוי ניתן להרוויח סכום של עד כ- 350 ש"ח.

בתודה מראש, צוות המחקר.

7.5 נספח ה – ניתוחי מתאם פריסון מובהקים ($p < 0.05$ לפחות)

טבלה 29: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.46463	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0245	0.25293	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש ¹¹
0.0001	0.43053	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש ¹²
<.0001	0.43494	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0003	-0.39219	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0008	0.36804	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 30: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית התקן של הסטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.46784	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.49242	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.47353	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0028	-0.33047	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0117	0.28044	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 31: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של הסטייה מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.44855	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0231	0.25538	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.46909	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.45985	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0003	-0.39552	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.001	0.36224	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

¹¹ ז"ת קטנים מ-500 א"ש נחשבים במבחן ה-PVT לז"ת סבירים שמעידים על תפקוד ברמה טובה.
¹² ז"ת גדולים מ-500 א"ש נחשבים במבחן ה-PVT לז"ת ארוכים מידי שמעידים על תפקוד ברמה נמוכה ונחשבים למעידות (Lapses).

טבלה 32: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטייה מקסימלית מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0002	0.40831	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.43656	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	0.40848	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0379	-0.23252	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש

טבלה 33: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מהירות ממוצעת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0023	-0.3388	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0168	-0.26668	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-2000 א"ש

טבלה 34: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית התקן של המהירות ממוצעת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.49382	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0277	0.24779	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.4692	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.53226	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.52451	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.5121	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0237	0.25274	מבחן PAM-test – אחוז התרעות שווא
0.0313	0.24094	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 35: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של המהירות" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0288	-0.24603	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש

טבלה 36: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מהירות מקסימלית" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0348	-0.23785	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0148	-0.2716	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0459	-0.22384	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-2000 א"ש

טבלה 37: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.47054	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0002	0.41344	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0026	0.34252	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	0.40651	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.45507	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.4431	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 38: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית תקן של מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0003	0.39798	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0016	0.35022	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0004	0.40192	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.42516	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.42187	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0002	0.40049	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 39: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של מנח הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0005	0.38182	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.47818	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0048	0.32268	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0006	0.37492	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.47967	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.47519	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0244	0.25149	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 40: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח מקסימלי של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.4558	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0152	0.27231	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.43523	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.50478	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0002	-0.40779	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0008	0.36909	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 42: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.44074	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.49448	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0107	0.29309	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	0.4045	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.49232	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.4764	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0375	-0.23309	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0115	0.28134	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0247	0.25097	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0023	0.3361	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0382	0.23225	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0086	0.29205	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.044	-0.22581	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 43: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית תקן של מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.56419	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.52923	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
0.0026	0.34245	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.4554	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.57111	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.55865	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
0.0002	0.40543	מבחן PVT – מספר התרעות שווא
0.0107	0.28404	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0044	0.31491	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 אי"ש
0.0018	0.3434	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 אי"ש
0.0448	0.22503	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.042	0.22794	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0055	0.30793	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 44: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של מנח ההגה" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0012	0.35874	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0047	0.31294	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.7622	מבחן PVT – מספר התרעות שווא

טבלה 45: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח הגה מקסימלי" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.481	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.58123	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
0.0004	0.39558	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.43233	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.52681	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.52357	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
0.0474	-0.22235	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0041	0.31792	ז"ת ממוצע
0.0005	0.38129	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 אי"ש
0.0001	0.42115	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 אי"ש

0.0009	0.36497	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
--------	---------	--------------------------------------------------

טבלה 46: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר תאונות של ירידות משמעותיות לשוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0005	0.38021	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.49468	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5369	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0013	-0.35236	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0156	0.26965	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0159	0.26888	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.021	0.25764	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 47: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר חציות של קו האמצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0009	0.36675	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0017	0.3468	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0061	0.31362	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0014	0.35022	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.46319	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.46844	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0135	0.27677	מבחן PVT – מספר התרעות שווא
<.0001	-0.46763	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0006	0.37376	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0237	0.25269	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0096	0.28784	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0061	0.30412	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.44798	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0016	0.34819	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.0001	-0.41954	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 48: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר חציות קו השוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0069	0.30147	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0017	0.3557	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0042	0.31699	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0164	-0.2675	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0192	0.26129	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 49: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז זמן נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0036	-0.3238	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0029	-0.32923	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	-0.42174	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0007	-0.37146	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0019	-0.34147	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 50: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז מרחק נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0087	-0.2933	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0051	-0.31013	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0002	-0.41077	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0017	-0.34493	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.005	-0.31071	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 51: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז זמן מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.42823	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0117	0.28235	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.55972	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.60264	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.45784	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0004	0.38761	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0025	-0.33383	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0117	0.28062	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0178	0.26432	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0031	0.32664	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0332	0.23845	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0009	0.36266	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.001	-0.35971	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 52: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז מרחק מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מכלל התרחישים

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0001	0.41424	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0092	0.29112	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.55376	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5939	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.4653	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0002	0.40037	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0002	-0.40074	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0061	0.30407	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0262	0.24861	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0007	0.37096	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.42338	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 53: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.21989	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.2375	0.0579	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.36936	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.31141	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.19893	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0007	0.164	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0026	-0.14588	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.18864	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0299	0.1055	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה

טבלה 54: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית התקן של הסטייה ממוצעת מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.2377	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0239	0.11046	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.42823	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.43378	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.23799	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0004	0.17204	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0158	-0.11713	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0436	0.09805	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.002	0.14981	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.0032	-0.14262	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 55: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של הסטייה מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.21227	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.34756	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.30416	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.20584	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0002	0.17823	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.001	-0.15901	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.21534	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0205	0.11246	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0384	0.10058	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0098	0.12523	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.19849	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 56: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטייה מקסימלית מהנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.2289	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0201	0.11368	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.43373	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.45128	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.23089	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.001	0.15942	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0334	-0.10333	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0351	0.10234	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0015	0.15414	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.0086	0.12738	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 57: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מהירות ממוצעת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0002	-0.17991	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	-0.20566	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0003	-0.1755	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0115	0.12258	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0368	-0.10144	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0117	0.12286	מבחן PVT – מספר התרעות שווא
0.0359	-0.10193	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0026	-0.14579	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.21343	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0174	0.11544	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה

טבלה 58: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית התקן של המהירות ממוצעת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.27957	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0066	0.13272	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.34712	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.4024	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.22746	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
0.0004	0.17143	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש

טבלה 59: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של המהירות" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0171	-0.11673	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0001	-0.18445	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.22453	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0129	0.12067	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה

טבלה 60: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מהירות מקסימלית" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0303	-0.10611	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0002	-0.18295	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0159	0.11763	מבחן PVT – מספר התרעות שווא
0.0249	-0.10894	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0047	-0.13704	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.22207	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0154	0.11759	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0445	0.09762	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת גדולים מ-2000 א"ש

טבלה 61: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0062	0.1328	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה

טבלה 62: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטיית תקן של מנח ממוצע של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0002	0.18374	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.043	-0.09835	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0039	-0.13972	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 63: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של מנח הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0174	0.119	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0078	0.12908	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0119	-0.12205	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 64: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח מקסימלי של הרכב ביחס לכביש" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.24729	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
0.0004	0.17155	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
0.0026	0.14573	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0102	-0.12462	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 65: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0394	0.10094	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.34612	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 אי"ש
<.0001	0.23884	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	0.28609	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.34064	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 אי"ש
<.0001	0.32174	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 אי"ש
<.0001	-0.30998	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.28245	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	0.22905	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 אי"ש
<.0001	0.22189	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 אי"ש
0.0009	0.16122	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.29412	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.2656	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.31362	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 66: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "סטטיית תקן של מנח ההגה הממוצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0003	0.17805	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.33666	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.41846	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.46252	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.37757	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.32776	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.28417	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.27589	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	0.24286	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.24245	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0037	0.14059	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.25333	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.30729	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.30143	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 67: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוזון 90 של מנח ההגה" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
0.0063	0.13359	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.32133	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.3427	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.35394	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.32839	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.29673	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.26643	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.26027	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	0.23221	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.22307	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.16336	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.25171	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.27002	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.28406	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 68: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מנח הגה מקסימלי" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.19763	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.21242	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.46091	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.50387	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.28185	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.20483	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0006	-0.16532	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0116	0.12258	מבחן PAM-test – מספר התרעות שווא (False alarms)
0.0003	0.17409	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0007	0.16499	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0002	0.18118	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0052	0.13577	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.23459	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.24113	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.20123	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 69: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר תאונות של ירידות משמעותיות לשוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.34765	עייפות סובייקטיבית מדווחת
0.0002	0.18162	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.471	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.52719	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.30624	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.24182	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.0415	-0.09903	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0102	0.12463	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
0.0003	0.17401	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0266	0.10769	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0009	0.16046	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.24885	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.0036	-0.14095	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 70: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר חציות של קו האמצע" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.36698	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.43699	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.28923	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.35665	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.52268	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.53761	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.2702	מבחן PVT - מספר התרעות שווא (False alarms)
<.0001	-0.54955	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0302	-0.10527	מבחן PAM-test – מספר התרעות שווא (False alarms)
<.0001	0.45958	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	0.34006	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.3537	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.39168	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.49907	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.41992	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.48178	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 71: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "מספר חציות קו השוליים" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.30917	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.20525	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.36645	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.33031	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.28898	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.28753	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
0.005	-0.13593	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
0.0395	-0.10002	מבחן PAM-test – מספר התרעות שווא (False alarms)
0.0007	0.16407	מבחן PAM-test – ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
0.0092	0.1263	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0013	0.1556	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
0.0007	0.16453	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
0.0031	-0.14346	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 72: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז זמן נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	-0.22097	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0001	-0.18532	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע
<.0001	-0.29193	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	-0.24282	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	-0.20983	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 73: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז מרחק נסיעה מעל המהירות המותרת" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	-0.19196	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
0.0005	-0.16839	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע
<.0001	-0.27827	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	-0.21952	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
0.0002	-0.18099	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר

טבלה 74: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז זמן מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.40556	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.33559	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.52116	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.5862	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.47306	מבחן PVT - מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.42949	מבחן PVT - מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.40341	מבחן PAM-test - אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.32312	מבחן PAM-test - ז"ת ממוצע
<.0001	0.22345	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.26902	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.23982	מבחן PAM-test - אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.34838	מבחן PAM-test - אחוז החמצת מטרה חדשה
0.0009	0.16054	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.41346	מבחן PAM-test - ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.41873	מבחן PAM-test - ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת

טבלה 75: ניתוחי r-pearson מובהקים בין מדד "אחוז מרחק מחוץ לנתיב" ובין מדדי המבחנים השונים – עבור קובץ הכולל נתונים מאיזורי עיקולים בלבד

מובהקות (ערך p)	גודל המתאם	משתנה עייפות במתאם
<.0001	0.39103	עייפות סובייקטיבית מדווחת
<.0001	0.3525	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת פחותים מ-500 א"ש
<.0001	0.50243	מבחן PVT - ז"ת ממוצע עבור ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	0.56585	מבחן PVT - ז"ת ממוצע כולל
<.0001	-0.4871	מבחן PVT – מספר ז"ת קטנים מ-500 א"ש
<.0001	0.44833	מבחן PVT – מספר ז"ת גדולים מ-500 א"ש
<.0001	-0.47086	מבחן PAM-test – אחוז פגיעות (Hits)
<.0001	0.35487	מבחן PAM-test – ז"ת ממוצע
<.0001	0.24401	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-1500 א"ש
<.0001	0.26634	מבחן PAM-test - ממוצע אחוז ז"ת גדולים מ-2000 א"ש
<.0001	0.39706	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה שהתחלפה
<.0001	0.40828	מבחן PAM-test – אחוז החמצת מטרה חדשה
<.0001	0.42321	מבחן PAM-test – ממוצע ז"ת בחצי הדקה האיטית ביותר
<.0001	-0.47288	מבחן PAM-test – ממוצע דיוק בחצי הדקה הפחות מדוייקת