

**יצוגים עציים ומימדיים  
של המבחנים והפריטים  
בבחינות הכניסה  
הפסיכומטריות  
לאוניברסיטאות**

מיכל בלר  
אסטלה מלמד



מחקרים רבים בתחום הפסיכולוגיה הקוגניטיבית השתמשו בנתוני קירבה (דימיון) על מנת ללמוד באמצעותם על מבנה הקשרים בין המשתנים הנמדדים. למטרה זו פותחו מספר גישות, אשר הנפוצה בהן היא הגישה הגאומטרית-מימדית, המייצגת את המשתנים הנמדדים כנקודות במרחב גאומטרי (בעל מימד מסויים); המרחק בין הנקודות במרחב משקף את מידת הקירבה/מרחק בין המשתנים (למשל, Guttman, 1968; Shepard, 1962, a, b, 1974, 1980). גישה חלופית ליצוג מבנה הקשרים בין משתנים היא גישה סיווגית, המשייכת משתנים ל"אשכולות", כך שמשתנים אשר מידת הדימיון ביניהם גדולה, יסווגו לאותו "אשכול". (למשל, Carroll, 1976; Johnson, 1967; Sattath & Tversky, 1977; Shepard & Arabie, 1979). לא אחת משמש לצורך יצוג כזה עץ, אשר המשתנים תלויים בו בקצות ענפיו (למשל, Sattath & Tversky, 1977). מבנה האשכולות ניתן לפירוש כמבנה המייצג את מידת התכונות המשותפות והמפרידות של המשתנים הנמדדים (Tversky, 1977; Sattath & Tversky, 1977).

במספר מחקרים נעשה ניסיון לחשוות בין שתי הגישות שהוזכרו לעיל (Carroll, 1976; Carroll & Pruzansky, 1980; Gati, 1982; Johnson and Tversky, 1987; Pruzansky, Tversky & Carroll, 1982; Sattath & Tversky, 1977; Tversky & Hutchinson, 1986).

כבסיס להשוואה ולהערכת השאלה איזה מהמודלים מתאים יותר ליצוג קבוצת משתנים נתונה, הוצעו מספר קריטריונים והעקריות הם:

א. טיב-התאמה - מידת ההתאמה בין נתוני הקירבה המקוריים בין המשתנים, לבין נתוני הקירבה בין המשתנים כפי שהם מיוצגים ע"י כל מודל.

ב. הפשר התאורטי המוצע ע"י היצוג בעזרת כל מודל.

למרות העובדה כי שתי הגישות כאחת עשויות להתאים ליצוג רבים מן המשתנים, נמצא כי ישנם סוגי נתונים המיוצגים טוב יותר ע"י המודל האחד ולהפך. הגישה הגאומטרית נמצאה מתאימה יותר (לפי הקריטריונים לעיל) ליצוג גירויים תפיסתיים (כגון צבע או צליל) הניתנים לאיפיון בעזרת מספר מועט יחסית של מימדים רציפים. לעומת זאת, נמצאה הגישה הסיווגית כמתאימה יותר ליצוג מושגים וגירויים מילוליים (כגון פירות ושמות ארצות) הדורשים לצורך איפיונם מספר רב של תכונות בדידות (Pruzansky et al., 1982; Tversky & Hutchinson, 1986).

פרוזנסקי וקבוצתה (Pruzansky et al., 1982) הראו כי אין יתרון אפריורי לאחד מהמודלים על פני משנהו. הם מצאו (כמצופה) ששימוש במודל היצוג ה"מתאים" (כלומר, סילום רב מימדי של נתונים שנגזרו ממרחב, ויצוג עצי לנתונים שנגזרו מעץ) היה עדיף תמיד על פני שימוש במודל האחר.

המחקר בתחום המבחנים הפסיכולוגיים נשען במידה רבה על נסיונות שונים ליצוג הקשר בין מבחנים (למשל, Spearman, 1927; Guilford, 1967; Cattell, 1971; Tryon & Baily, 1970; Thurstone, 1938; Schlesinger & Guttman, 1969; Vernon, 1961).

קשרים אלה נאמדים, במרבית המקרים, באמצעות המתאמים הנצפים בין המבחנים. מטריצות מתאמים הן מטבען מורכבות וקשות לפענוח ועל כן חיפשו החוקרים דרכים פשוטות, בהירות ותסכנויות יותר להצגתן. במרבית המחקרים המטרה היתה לנסות ולהבין טוב יותר, באמצעות יצוגים אלה, את המבנה המונח ביסוד הביצוע במבחנים וכן לאושש/לגזור תיאוריות על מבנה האינטליגנציה (למשל, Guilford, 1967; Spearman, 1927; Thurstone, 1938; Vernon, 1961).

חרף העובדה שגישות יצוג שונות עשויות להאיר היבטים שונים בנתונים, נראה כי בתחום המבחנים הפסיכולוגיים בכלל ובתחום מבחני היכולת הכללית והידע בפרט, שלטו בכיפה יצוגים הניתנים לשיוך לגישה הגיאומטרית-מימדית. זאת בפרט באמצעות טכניקות שונות של נתוח-גורמים (למשל, Guilford, 1967; Harman, 1976) או באמצעות טכניקות של סילום רב-מימדי (למשל, Guttman, 1968; Guttman & Schlesinger, 1969). למרות ההבדלים הקיימים בין הטכניקות הללו, ניתן לומר כי הן ניתוח גורמים, הן סילום רב מימדי, מציגים את המשתנים (במקרה זה מבחנים) כנקודות במרחב קואורדינטות מסויים, כך שהמרחק בין הנקודות משקף את מידת הדימיון בין המשתנים (או במקרה זה המתאמים בין המבחנים).

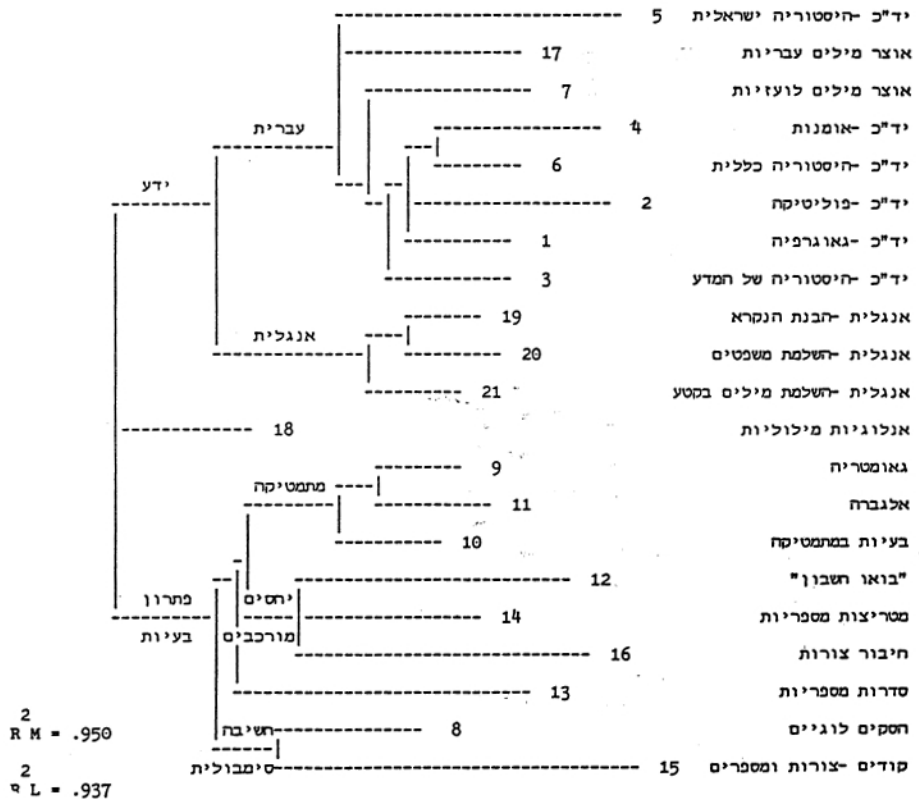
שיטת הסילום הקרויה ניתוח המרחב הקטן ביותר (SSA-I - Smallest Space Analysis) פותחה ע"י גוטמן (Guttman, 1968) כשיטה על-מטרית לסילום רב-מימדי. מטריצת המתאמים בין המשתנים משמשת כקלט לתוכנית מחשב שפותחה ע"י לינגוס (Lingoes, 1970). הפלט הוא יצוג גרפי המכיל את המשתנים כנקודות במרחב. כל נקודה בגרף מתאימה לאחד מהמשתנים בנתוח, וככל שקטן יותר המתאם בין זוג משתנים כך צריך שיגדל המרחק בין הנקודות המתאימות להם בגרף. SSA-I יושם ע"י שלזינגר וגוטמן (Schlesinger & Guttman, 1969) ליצוג המתאמים בין מבחני יכולת כללית ומבחני הישג. מהניתוח שלהם התקבל יצוג דו-מימדי אשר בו היו המבחנים מיוצגים במבנה המכונה על ידם רדקס.

באחרונה הדגימה בלר (1982) שימוש במודלים של רשתות (השייכים לגישה הסיווגית) ביצוג קשרים בין מבחנים ובין פריטים. בפרט שימשה לצורך ניתוח זה תוכנית ה-ADDTREE, שפותחה ע"י סתת וטברסקי (Sattath & Tversky, 1977), ותוכנית ה-EXTREE שפותחה ע"י קורטר וטברסקי (Cortier & Tversky, 1986). במודלים של רשתות, מיוצגים המשתנים כנקודות על גרף במישור, כך שמסלולי הקישור בין הנקודות משקפים את מידת הקירבה בין המשתנים. נהוג ביותר הוא השימוש

בעצים - גרפים קשירים ללא לולאות - בהם המשתנים מיוצגים בקצות הענפים, ובין כל זוג משתנים מקשר מסלול אחד ויחיד.

היצוג העצי האדיטיבי (Additive Tree - ADDTREE) הוא מודל רשתות הירארכי המייצג מטריצת נתוני קירבה/מרחק כעץ מרחקים אדיטיבי (Sattath & Tversky, 1977). המשתנים ממוקמים בקצות ענפי העץ. המרחק בין כל זוג משתנים בעץ היצוג ניתן לחישוב ע"י סיכום אורכי הענפים (המאוזנים בלבד) המחברים בין המשתנים (הקטעים המאונכים בעץ נמצאים בו רק למען הנוחיות הגרפית). מרחקים אלה הינם בלתי תלויים במיקומו של שורש העץ, אם כי על מנת להעניק פשר למבנה, בוחרת התוכנית היכן למקם את שורש העץ. העץ אדיטיבי מציג מבנה אשכולות הירארכי, הניתן לפירוש במונחים של התכונות המשותפות למשתנים השייכים לאשכול מסויים והתכונות היחודיות שיש למשתנה/ים מסויים/ים בחשוואה לאחרים (Tversky, 1977). לצורך הדגמה נביא, למשל, את ניתוח ה- ADDTREE של מטריצת המתאמים בין 21 תת-המבחנים בבחינה הפסיכומטרית, אשר שימשה לברירת מועמדים באוניברסיטה העברית (ראה תאור הבחינה אצל בלר ובן-שחר, 1981). מניתוח זה מתקבל מבנה העץ המתואר בתרשים מס' 1 (בלר, 1982).

תרשים מס' 1 - יצוג ADDTREE עבור בחינת הכניסה של האוניברסיטה העברית



בעץ זה מתגלה בברור חלוקה של תת-המבחנים לשני אשכולות ראשיים: אשכול המבחנים הדורשים "פתרון בעיות" ואשכול המבחנים הדורש "ידע". הענף המכונה "פתרון בעיות", מייצג את מידת התכונות המשותפות לכל המבחנים המיוצגים ע"י הענפים המתפצלים מענף ראשי זה וכך הלאה. האשכולות הראשיים מתחלקים הלאה לתת-אשכולות, כך שמתקבל מבנה היררכי של תת-המבחנים. מעניין מיקומו של מבחן "האנלוגיות" ביצוג זה, שכן המבחן מיוצג ע"י ענף קצר במיוחד הקרוב לשורש העץ. משתנה כזה מכונה משתנה "מרכזי", שכן במוצע הוא זה הקרוב ביותר לשאר המשתנים בניחות, ואמנם הדבר מתיישב עם העובדה, שלפתרון מבחן זה נדרשים למעשה כושר "פתרון בעיות" ו"ידע", כאחד.

מודל ה- EXTREE (Extended Tree) מהווה הרחבה של המודל העצי האדיטיבי בכך שהוא מאפשר לכלול ביצוג קטעי ענפים שאינם היררכיים, אלא משותפים למשתנים מאשכולות שונים. קטעים אלה מהווים גורמי שונות מכפלתיים, העוקפים את ההיררכיה הנכפית ע"י העץ. אורכם של קטעים אלה - המסומנים באופן נבדל על גבי הענפים - לא נחשב בחישוב המרחקים בין המשתנים (Cortner & Tversky, 1986).

בהשוואה שנערכה ע"י בלר (1982) בין ADDTREE לבין SSA בעל שני מימדים וכן בין EXTREE לבין SSA בעל שלושה מימדים (השוואה זו נעשת בהתאמה בין זוגות יצוגים שלהם מספר פרמטרים דומה), נמצא כי טיב ההתאמה של היצוגים העציים גבוה מזה של היצוגים הגאומטריים (כאשר ההשוואה נעשת בהתאמה בין זוגות היצוגים שלעיל). המבנה המוצע ע"י המודלים העציים ניתן לפרוש ישיר במונחים של אשכולות היררכיים ברורים.

בעבודה זו נשתמש במודל הגאומטרי והסיווגי כאחד ליצוג הסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה. בפרט נשתמש בתכנית ה- SSA (2 ו-3 מימדים) ובתוכניות ה- ADDTREE וה- EXTREE ליצוג תת-המבחנים בסוללה זו וכן ליצוג בין הפרטים המרכיבים אותם. ננסה ללמוד מיצוגים אלה מהו מבנה הקשרים בין מרכיבי הסוללה והכשרים הנמדדים באמצעותה.

הניתוחים להלן מבוססים על נתונים גולמיים שנתקבלו מהנבחנים בעברית ב"בחינת הכניסה הפסיכומטרית הכלל-אוניברסיטאית" של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה, באפריל 1984.

במחזור זה נבחנו בעברית 9879 איש. מידע מפורט על אופן העברת הבחינה, הרכבה ושיטת מתן הציונים ניתן למצוא בדו"ח מס' 3 של המרכז הארצי (כהן ומלמד, 1984).

#### קבצי הנתונים

הסוללה הפסיכומטרית מורכבת מחמישה פרקים: ידע כללי, צורות, הבנה, חשיבה מתמטית ואנגלית.

לצורך ניתוח מעמיק של מבנה הבחינה חולקו הפריטים בכל פרק לתת-מבחנים, בהתאם לתוכנם ולסוג המטלה הנדרשת לפתרונם. חלוקה זו התבססה על הסיווג המקורי של כל מבחן לתחומי משנה. בפרקים צורות, הבנה ואנגלית, החלוקה תואמת במדויק את הסיווג המקורי של הפריטים לתת-מבחנים, על-פי כותרות המשנה בגוף הבחינה. בפרקים ידע כללי וחשיבה מתמטית נעשתה החלוקה בעזרת שופטים בלתי תלויים, אשר התבקשו לסווג את הפריטים בכל פרק על-פי תחומי התוכן שבסיווג המקורי. כך התקבלו 21 תת-מבחנים. זו החלוקה בה השתמש בודסקו (1985) לשם בדיקת מבנה הבחינה הנדונה כאן, בעזרת ניתוח גורמים. בחרנו להשתמש כאן באותה החלוקה על מנת לאפשר השוואת תוצאות מהניתוחים השונים. פירוט שמות תת-המבחנים ומספר הפריטים בכל אחד מופיע בלוח מס. 1 שלהלן. דוגמאות לכל אחד מסוגי הפריטים הנכללים בסוללה זו ניתן למצוא בספר "בחינות קבלה פסיכומטריות לאוניברסיטאות" (נבו, רוזן ואיתן, 1984).

בכל הפריטים בבחינה מוצעות מספר ברירות תשובה (מספר הברירות קבוע בתוך מבחן) שרק אחת מהן נכונה. ציינון הפריטים נעשה כך שכל נבחן הבוחר בתשובה הנכונה מקבל בפריט ציון 1.00, ונבחן הבוחר בתשובה שגויה או שאינו עונה על הפריט מקבל בו 0.00.

לכל נבחן חושב ציון גולמי מסכם בכל אחד מ-21 תת-המבחנים. הציון חושב על ידי סיכום מספר התשובות הנכונות של נבחן בכל תת-מבחן. לוח מס. 1 מציג את הממוצעים, סטיות התקן ומהימנויות (KR20) של ציונים אלה.

לוח מס' 1 - 21 תת-המבחנים בנוסח עברית בבחינת אפריל 1984

מבחן	תת-המבחן	מספר פריטים	קושי	ציוני גלם			
				ממוצע	ס. תקן	מחיימנות	
ידע כללי	1. יד"כ במדעי הטבע	10	.560	2.198	5.597	.609	
	2. יד"כ במדעי הרוח	12	.551	2.669	6.606	.681	
	3. יד"כ במדעי החברה	12	.521	2.700	6.252	.678	
	4. יד"כ באומנויות	10	.625	2.351	6.251	.660	
	5. אוצר מילים עבריות	9	.696	1.977	6.260	.612	
	6. אוצר מילים לועזיות	7	.593	1.713	4.149	.551	
צורות	7. פירמידות צורות	11	.571	2.482	6.279	.679	
	8. סדרות צורות	11	.552	2.391	6.072	.658	
הבנה	9. הבנת הנקרא	15	.652	2.458	9.786	.562	
	10. הבנת תרשים הסקי	5	.447	1,490	2.237	.600	
	11. הבנת תרשים כמותי	5	.368	1.433	1.838	.566	
	12. טענות דומות	4	.428	1.319	1.714	.736	
	13. היסקים	7	.578	1.656	4.045	.495	
	14. השלמת משפטים	4	.546	1.228	2.182	.476	
	חשיבה מתמטית	15. אלגברה	5	.617	1.456	3.084	.609
		16. בעיות במתמטיקה	13	.505	3.022	6.565	.746
		17. גיאומטריה	5	.610	1.522	3.049	.639
		18. סדרות מספריות	7	.558	1.924	3.905	.657
אנגלית	19. השלמת משפטים	15	.587	3.460	8.807	.787	
	20. הבנת הנקרא	25	.515	5.196	12.871	.837	
	21. ניסוח-מחדש	10	.512	2.228	5.119	.646	

**מדדי הקשר בין המבחנים והפריטים**

מבנה הבחינה נחקר באמצעות ניתוח מבנה הקשרים בין תת-המבחנים וכן ע"י ניתוח מבנה הקשרים בין הפריטים בתוך כל מבחן. המדד לקשר בין תת-מבחנים היה מקדם המתאם של פירסון. מטריצת המתאמים בין הציונים ב-21 תת-המבחנים מופיעה בלוח מס. 2 (משולש עליון).



לוח מס' 2 - מתאמים בין 21 תת-המבחנים

במשולש העליון מופיעים המתאמים הנצפים. במשולש התחתון מופיעים המתאמים המתוקנים עבור חוסר מהימנות (הנקודות העשירוניות הושמטו).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		593	628	571	486	549	274	255	365	251	204	146	254	325	308	384	368	268	472	447	409
2	921		638	623	544	575	197	173	375	194	189	144	234	346	239	299	270	210	457	439	389
3	978	940		626	504	598	241	230	346	219	198	134	240	224	291	373	335	257	500	460	426
4	901	929	936		498	550	182	178	320	186	160	121	204	307	205	260	242	180	476	435	400
5	796	843	783	783		469	220	191	383	203	176	147	256	337	220	277	260	201	371	331	300
6	948	939	978	911	807		191	152	313	177	160	125	191	308	255	313	296	219	472	418	398
7	426	289	355	272	342	311		574	364	357	268	192	382	293	515	567	528	498	302	345	309
8	403	258	345	271	302	252	859		359	339	299	144	367	276	466	523	485	493	282	335	293
9	624	606	560	526	652	563	590	591		261	307	208	361	420	332	395	356	328	392	454	390
10	416	303	343	295	336	308	559	540	450		136	151	272	205	305	369	336	278	235	256	249
11	348	304	320	261	299	286	431	490	544	232		081	204	269	267	351	280	315	195	290	238
12	218	203	189	174	219	197	272	207	324	228	125		173	166	160	208	173	147	195	197	185
13	462	403	415	360	465	366	660	643	684	499	385	286		303	358	413	367	358	266	312	279
14	603	609	571	547	624	601	515	492	811	383	518	281	624		297	352	306	294	353	384	337
15	505	371	453	324	360	440	801	736	566	504	454	238	652	518		648	600	552	330	368	318
16	570	420	524	370	410	488	797	747	610	551	539	280	680	591	961		675	629	378	425	385
17	591	410	509	372	416	499	801	748	594	543	465	253	653	554	961	977		538	344	366	328
18	423	314	386	273	317	364	745	750	539	443	516	212	628	525	872	899	831		298	361	301
19	682	624	684	660	535	716	413	392	590	341	293	257	427	577	476	493	485	414		740	663
20	626	581	611	586	462	615	457	452	661	361	421	252	485	609	515	537	501	487	911		704
21	653	587	643	613	477	666	466	449	647	400	394	268	494	607	506	554	511	462	929	957	

לעובדה כי למרבית תת-המבחנים מספר מועט של פריטים, יש השפעה על מהימנות הנמוכה יחסית והבלתי אחידה, דבר המשפיע גם על גובה המתאמים הנצפים ביניהם. לכן מעניין לבדוק את מבנה הקשרים בין תת-המבחנים, כאשר המתאמים ביניהם מתוקנים עבור חוסר מהימנות (correction for attenuation). בעזרת תיקון זה מתקבל אומדן מתאמים בין ציוני המבחנים במצב תאורטי, בו מדידתם היתה מהימנה לחלוטין. מטריצת מתאמים מתוקנת זו מופיעה בלוח מס. 2 (משולש תחתון).

לצורך ניתוח המבנה הפנימי של המבחנים, בדקנו בנפרד את מבנה הקשרים בין כל הפריטים שנכללו בכל אחד מתשת הפרקים הראשיים בבחינה. המדד לעוצמת הקשר בין פריטים היה מקדם גמא (הידוע גם כ-Goodman-Kruskal gamma), שפותח ע"י Yule (Hayes, 1981). מדד זה מצמצם במידה מסוימת את השפעת ההתפלגויות השוליות של

המשתנים (שהן במקרה זה דרגות הקושי של הפריטים) על מדד הקשר. מטריצות מתאמים אלה אינן מוצגות כאן, מתוך הנחה כי כמות הנתונים הרבה שהן מכילות הופכת את קריאתן לקשה ובלתי מלמדת.

כל אחת ממטריצות המתאמים נותרה בעזרת ארבעת היצוגים הבאים:

א. הגישה הגיאומטרית-המימדית - SSA דו-מימדי (SSA/2D) ו- SSA תלת-מימדי (SSA/3D) - (Lingoes, 1970).

ב. הגישה הסיווגית - ADDTREE (Sattath & Tversky, 1977) ו- EXTREE (Cortier & Tversky, 1986).

כל אחד מהיצוגים הוערך עפ"י שני הקריטריונים המרכזיים שהוזכרו: מידת טיב ההתאמה ובהירות הפשר המוצע ע"י המודל.

#### מדדי טיב ההתאמה

מדדי טיב ההתאמה נועדו להעריך את מידת הנאמנות בה משחזרים היצוגים השונים את הנתונים המקוריים. מדדים אלה מבוססים על השוואת המרחקים המשוחזרים בין המשתנים (כפי שהותאמו על-ידי מודל היצוג) למרחקים המקוריים ביניהם (הניתנים במקרה זה על ידי מקדמי המתאם בין המשתנים).

המדד בו השתמשנו להערכת טיב ההתאמה של המודלים השונים הוא  $R^2L$  אחוז השונות הלינארית המוסברת על-ידי כל יצוג (Kruskal, 1964). זהו ריבוע מתאם הפירסון בין המרחקים המקוריים (המתאמים) לבין המרחקים המשוחזרים ע"י כל מודל. במדד זה הערך 1.00 מציין התאמה מלאה והערך 0.00 מציין חוסר התאמה מוחלט. קיימת מגבלה בשימוש ב-  $R^2L$  להערכת טיב התאמתם של יצוגי SSA. שיטת SSA מבוססת על שמירת יחסי הסדר בין מקדמי הקשר, ולא על יחסי המרווחים ביניהם. לכן, מדד עדיף לבדיקת טיב ההתאמה של SSA, הוא מדד הבדוק טיב שחזור מונוטוני במקום טיב שחזור לינארי (למשל, אחוז השונות המונוטונית המוסברת). מסיבות טכניות, לא עלה בידינו לחשב מדד זה עבור יצוגי ה- SSA. השוואת טיב ההתאמה של היצוגים השונים תעשה, אם כן, באמצעות  $R^2L$ , אולם ידווחו מדדי טיב התאמה גוספים, המופקים על ידי תכניות המחשב המבצעות את היצוגים:

- עבור ADDTREE ו- EXTREE:  $R^2M$  = אחוז השונות המונוטונית המוסברת על ידי המודל (Kruskal, 1964).

- עבור SSA/2D ו- SSA/3D: Coefficient of Alienation - COA (Guttman, 1968), אשר בודק התאמה מונוטונית (הטווח של מקדם זה הפוך מזה של  $R^2L$  ו-  $R^2M$ : 0.00 = התאמה מלאה, 1.00 = חוסר התאמה).

**תוצאות**

**ניתוח מבנה הסוללה הפסיכומטרית**

**נתוני טיב התאמה**

לוח מס' 3 שלהלן מסכם את נתוני טיב ההתאמה של היצוגים השונים עבור 21 תת-המבחנים בסוללה. המדד  $R^2L$  מהווה בסיס להשוואת מידת ההתאמה של היצוגים; בנוסף מדווחים גם המדדים הנוספים. בשל הדימיון במספר הפרמטרים, ניתן להשוות בהתאמה בין תוצאות ניתוח ה- ADDTREE וניתוח ה- SSA/2D וכן בין תוצאות ניתוח ה- EXTREE ו- SSA/3D. (Pruzansky et al, 1982).

**לוח מס. 3 - טיב ההתאמה של יצוגי הסוללה הפסיכומטרית**

SSA/3D		EXTREE		SSA/2D		ADDTREE		שיטת היצוג	משתני היצוג
COA	$R^2L$	$R^2M$	$R^2L$	COA	$R^2L$	$R^2M$	$R^2L$		
.097	.869	.989	.982	.142	.813	.974	.963	21 תת-המבחנים - מתאמים נצפים	
.084	.911	.987	.979	.159	.842	.972	.959	21 תת-המבחנים - מתאמים מתוקנים לחוסר מהימנות	

הלוח מראה כי טיב השחזור הלינארי של יצוג תת-המבחנים בעזרת עצים, עולה ככלל על יצוגם בעזרת SSA, מעבר לשימוש במתאמים נצפים או מתוקנים.

טיב ההתאמה של SSA/3D עולה, כצפוי, על טיב ההתאמה של היצוגים באמצעות SSA/2D, אך נופל מזה של היצוגים העציים.

טיב ההתאמה של SSA (על סמך  $R^2L$ ) עולה, באופן ניכר ביצוג המתאמים המתוקנים, יחסית לאותם יצוגים על פי המתאמים הנצפים.

**יצוג 21 תת המבחנים עפ"י המתאמים המתוקנים עבור חוסר מהימנות.**

תרישים מס' 2 מציג את מבנה ה- ADDTREE שהתקבל עבור 21 תת-המבחנים, כשאלה מיוצגים עפ"י המתאמים ביניהם, מתוקנים לחוסר מהימנות. טיב ההתאמה של היצוג גבוה מאוד ( $R^2L = .959$ ). נציין פה, כי המבנה המתקבל עפ"י המתאמים הנצפים דומה מאוד לזה המוצג להלן, אלא שהוא פחות חד ומובחן. השפעת התיקון עבור חוסר מהימנות על היצוג ניכרת, כצפוי, בעיקר ביחס לתת-המבחנים בעלי המהימנויות הנמוכות: השלמת משפטים

והבנת הנקרא (ראה לוח מס' 2). תת-המבחנים שמהימנותם גבוהה יחסית, לא הראו שינוי של ממש בקשריהם עם תת-מבחנים אחרים (לדוגמא: תת-מבחני האנגלית).

במבט כללי נראה כי העץ מורכב משלושה אשכולות ראשיים, המתפצלים לתת-אשכולות מובחנים למדי. האשכול האחד מכיל את מבחני המתמטיקה (15-18), צורות (7-8) והיסקים (10-13). האשכול השני מכיל את מבחני ידיעות כלליות (1-6) ואנגלית (19-20) והאשכול השלישי מכיל מבחני הבנה מילולית (9,14).

האשכול הראשון ניתן לכינוי "הסקה" והוא מכיל בתוכו תת-אשכול מובחן הכולל את מבחני הצורות והמתמטיקה וניתן לכינוי "פתרון בעיות". תת-אשכול זה מתפצל אף הוא לחלוקת משנה ברורה: מבחני המתמטיקה (15-18) מחד ומבחני הצורות (7-8) מאידך. תת-האשכול המכונה "פתרון בעיות", מכיל מבחנים הדורשים חשיבה פורמלית, יכולת הפשטה, הסקת כלל, אינדוקציה ודדוקציה. השימוש בידע מוקדם הינו מועט ביותר, או אפסי. במבחן צורות לא נדרש כל ידע ספציפי קודם. המאפיין מבחן זה הוא גילוי ויישום החוקיות לפיה בנויות הצורות. הדבר נכון לגבי שני תת-מבחני הצורות, כשהגורם המבדיל ביניהם הוא רמת המורכבות של החוקיות. במבחן מתמטיקה, רמת הידע הנדרשת היא בסיסית (תיכון הומני) ולגוף המבחן נלווים דפי נוסחאות והסברי מושגים מתמטיים. כמו כן, החישובים הנחוצים על מנת להגיע לפתרון הם בדרך כלל פשוטים ומועטים, כך שהדגש במבחן זה הוא על חשיבה לפי כללים מתמטיים.

איפיון נוסף למבחני "פתרון בעיות" אלה הוא היותם לא מילוליים ביסודם. אפשר למעשה לכנות אשכול זה: "מבחנים לא מילוליים", כאשר בתוכו נמצאים אשכול של "מבחנים צורניים" (תת-מבחני הצורות), ואשכול של "מבחנים מספריים" (תת-מבחני המתמטיקה). למעשה, קיימת במבחנים אלה הצמדה בין סוג המטלה ושפת הפריטים: מטלות מתמטיות נבדקות בדרך-כלל בשפה מספרית, ומטלות של גילוי חוקיות במכלול נתונים מופשטים, נבדקות בדרך כלל בשפה צורנית. עם זאת, נציין כי רוב הפריטים במתמטיקה - להוציא סדרות מספרים - מערבים הצגה בשפה מילולית או גרפית, ועם זאת, פתרון דורש חשיבה מתמטית. בפריטי צורות, מעבר לשפה הצורנית ולמרכיב התפיסתי הנגזר ממנה, נדרשת חשיבה והסקה לוגית. נראה אם כן, כי סוג החשיבה מהווה גורם יסודי משותף לכל המבחנים שלעיל, אך בהקשר הנוכחי לא ניתן להפריד בינו לבין שפת המבחנים.

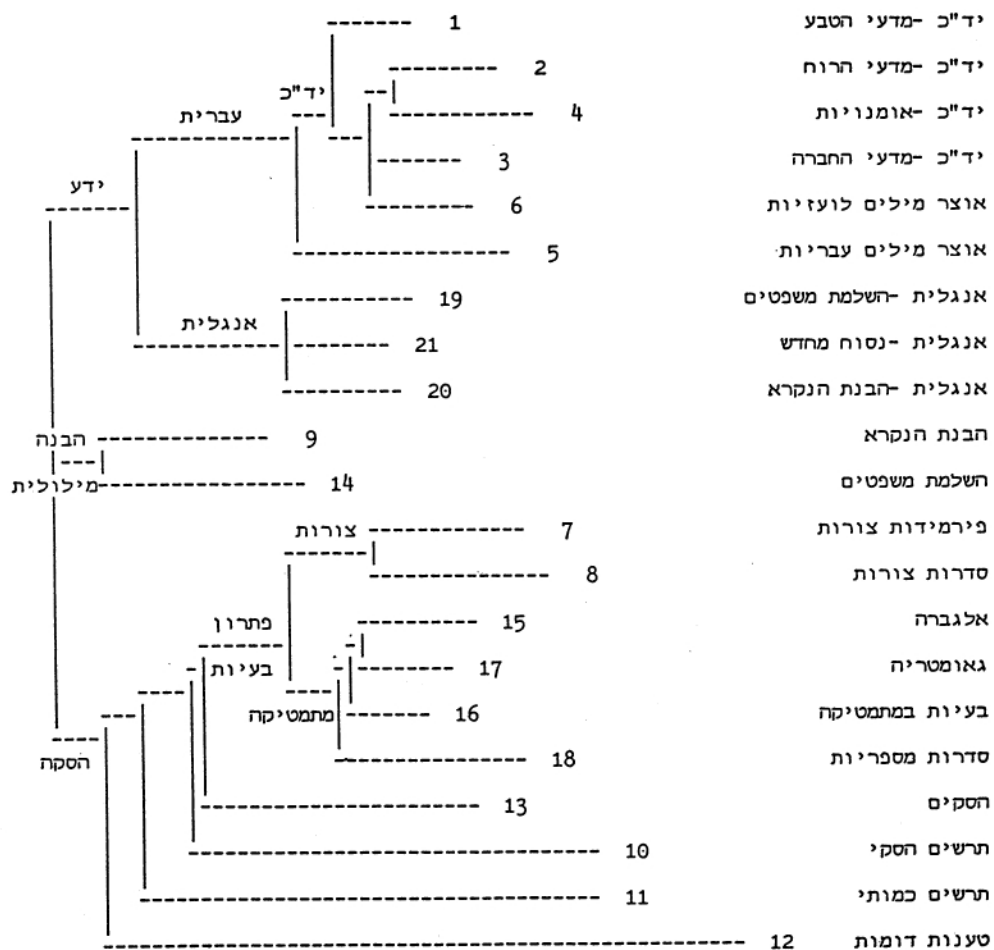
מבחני ההיסקים (10-13) מצטרפים למבחני פתרון בעיות. מבחנים אלה בנויים על גזירת מסקנות שונות ממכלול הנתונים, כאשר בבסיס מסקנות אלה עומדות מטלות כגון הבנת המכלול, גילוי היחסים והחוקים הקיימים בו והיכולת ליישם אותם. נוכל לראות בקבוצת מבחנים אלה הרחבה של מבחני פתרון הבעיות הקלאסיים, למבחני הסקה מגוונים.

באשכול הראשי השני מתקבלת הקבצה של מה שנוכל לכנות "מבחני ידע". המבחנים באשכול זה כולם מילוליים וכולם מבוססים על תחומים שונים של השכלה כללית וידיעת השפה האנגלית. פתרון אינו דורש תשיבה לוגית מורכבת, אלא בעיקר איחזור ידע קודם. בנוסף, בתוך אשכול ראשי זה נבדלים באופן ברור שני אשכולות משנה, של עברית ושל אנגלית. בתוך המבחנים בעברית, ניתן לזהות הקבצה של תת-מבחנים השואלים על תחומי ידע שונים (מס' 1,2,3,4,6) כנגד ידיעת אוצר מילים עבריות (מס' 5). נראה כי רכישת "ידע כללי" כרוכה בהיכרות עם עולם תוכן רחב ושונה מהקשרים בהם נרכש אוצר מילים עבריות.

המשותף לתת-מבחני האנגלית (מס' 19,20,21) והמיחד אותם מהמבחנים האחרים הינו ידיעת השפה האנגלית. במקרה זה ידיעת השפה מהווה גורם מרכזי, יותר מאשר סוג המטלה או רמת המורכבות של הפריטים.

האשכול השלישי, אותו ניתן לכנות "הבנה מילולית", מכיל שני תת-מבחנים ממבחן ההבנה: השלמת משפטים (מס' 14) והבנת הנקרא (מס' 9). שני תת-מבחנים אלו הם מילוליים ומבוססים על הבנה והסקה מתוך הקשר. סוג ההסקה הנדרש בהם הוא פשוט יחסית, מבוסס על הבנה פסיבית, ואינו דורש מניפולציות מורכבות. מעניין לציין כי שני תת-מבחנים מילוליים אחרים ממבחן ההבנה: היסקים וטענות דומות, אינם מצטרפים להקבצה זו וזאת אולי משום שהם טעונים הרבה יותר בחשיבה לוגית ובהסקה מורכבת. באשכול מבחנים זה משתקפת מידת הקירבה הממוצעת הגדולה יחסית בין תת-מבחני ההבנה המילולית לבין יתר המבחנים ("משתנים מרכזיים").

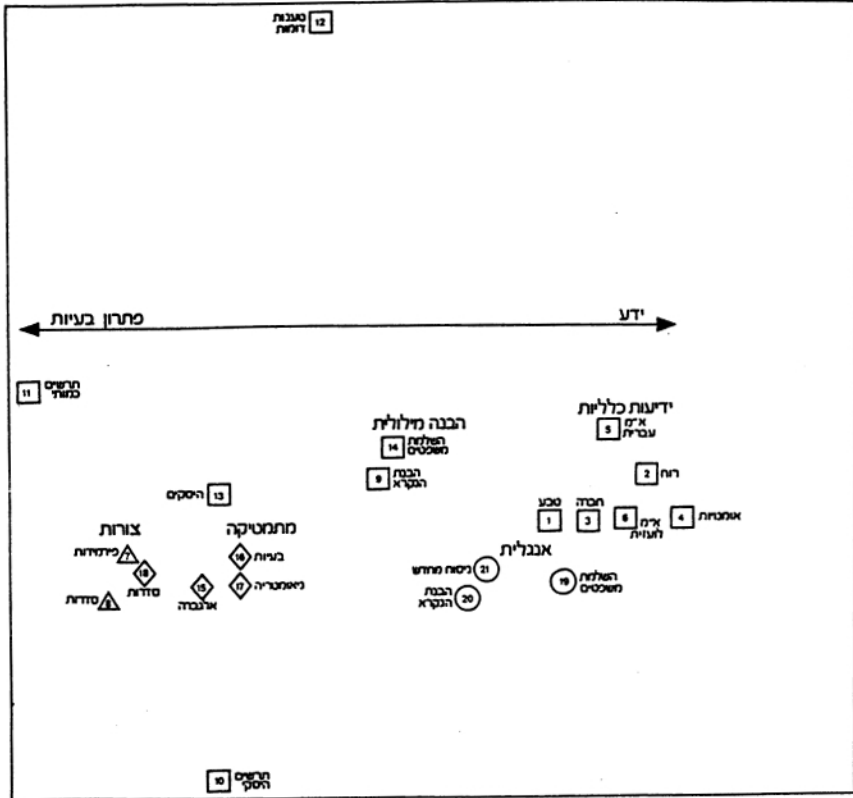
תרשים מס' 2 - יצוג ADDTREE עבור 21 תת-המבחנים בסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה.



$R M = .972$

$R L = .959$

תרשים מס' 3 - יצוג SSA/2D עבור 21 תת המבחנים בסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה



המבנה הכללי המתקבל באמצעות יצוג ה- ADDTREE מתיישב עם המבנה ההירארכי של הכשרים האינטלקטואליים שהוצע על ידי קטל (Cattell, 1971). הכשרים הנמדדים במבחנים המבוססים על ידע, מתאימים למה שקטל כינה: "יכולת מגובשת", ואילו הכשרים הנמדדים במבחני פתרון בעיות מתאימים למה שהוא כינה "יכולת נזילה".

יצוג הנתונים בעזרת SSA/2D עפ"י המתאמים המתוקנים מופיע בתרשים מס' 3. טיב התאמה של יצוג זה גבוה במידת מה מיצוג ה- SSA המקביל, עבור המתאמים הנצפים ( $R^2_L = .842$  לעומת  $R^2_L = .813$  בהתאמה). המבנה המתקבל דומה למבנה על פי המתאמים הנצפים, בשינויים אחדים. בדומה למה שראינו ביצוג העצי, ההשפעה של תיקון המתאמים

עבור חוסר מהימנות הינה חזקה יותר במבחנים בעלי מהימנות נמוכה וכתוצאה מכך מתחדדת התמונה במידת מה.

המבנה הכללי של תת-המבחנים ניתן לתאור בעזרת ציר מאוזן הנע בין מבחני "ידע" למבחני "פתרון בעיות" (מבנה זה נמצא גם ביצוג עפ"י מתאמים נצפים). בקצה האחד של הציר ממוקמים תת-המבחנים של ידיעות כלליות (הבודקים ידע) ובקצהו השני ממוקמים תת-המבחנים של צורות (הבודקים הסקה ואינס דורשים כל ידע). לאורכו של הציר, מסתדרים תת-המבחנים המערבים מרכיבי הסקה וידע במידות שונות, ומיקומם לאורך הרצף מתאים לאיפיוניהם. בסמוך לידיעות כלליות נמצאים תת-מבחני האנגלית, בהם קיים גורם של הבנה; אחריהם תת-המבחנים הבנת הנקרא והשלמת משפטים; בסמוך לצורות, תת-מבחני המתמטיקה. ניתן אף לומר כי הסידור של מרכיבי האנגלית והמתמטיקה השונים תואם את דרגות הטעיונות היחסיות בידע ובהסקה. חלוקה לאורך ציר זה מתיישבת עם חלוקת תת-המבחנים לפי שפת הצגתם: מילולית, מספרית, צורנית. נראה כי עיקר השונות מוסברת ע"י הציר המאוזן וקשה למצוא פשר למימד שני.

האשכולות המתקבלים ביצוג זה דומים מאוד לאלה שהתקבלו ותוארו בתרשים ה-ADDTREE. במילים אחרות, מפת SSA/2D מתיישבת עם התמונה הכללית שהתקבלה ביצוג ה-ADDTREE, ללא המשמעות ההירארכית של מבנה האשכולות.

ביצוג זה של תת-המבחנים באמצעות SSA קשה לשחזר את חלוקת המפה לפי שטחות הרדקס: שפת הפריט (מילולית, מספרית, צורנית) והאופרציה הנדרשת לפתורנו (הסקת/הפעלת כלל), כפי שהתקבלו ביצוג סוללות מבחני משכל דומות (לדוגמה, Schlesinger & Guttman, 1969).

יצוג ה- SSA/2D של המבחנים על-פי המתאמים המתוקנים (כמו יצוג ה- ADDTREE) מצביע על מבנה דומה מאד לזה שנתקבל מיצוג הסוללה של האוניברסיטה העברית (ראה בלר, 1982). קיים דמיון רב בין מפות ה- SSA של שתי הסוללות מבחינת פיזור המבחנים השונים לאורך הציר בו דנו, בפרט לגבי המיקום המרכזי של מבחני "הבנה מילולית" - הבנת הנקרא, השלמת משפטים, אנלוגיות מילוליות.

במסגרת זו וגם בהמשך בחרנו שלא להציג את תרשימי EXTREE ו- SSA/3D של הנתונים וזאת בשל העובדה שיצוגים אלה הם מורכבים יחסית ובמקרה זה תורמים אך מעט להבנת הנתונים.

#### ניתוח המבנה הפנימי של הפריטים המרכיבים את המבחנים

לוח מס' 4 מסכם את נתוני טיב ההתאמה של היצוגים השונים עבור הפריטים המרכיבים כל אחד ממבחני הסוללה. גם הפעם, מוצגים בלוח מקדמי טיב התאמה נוספים, מלבד  $R^2_L$ .

עקב מגבלות טכניות של תכנית ה- EXTREE לגבי מספר המשתנים עבורם ניתן לבצע את העיבוד, אין בידניו יצוגים אלה עבור מבחנים בעלי 40 פריטים או יותר.



לוח מס' 4 - טיב התאמה של יצוגי הפריטים במבחנים

SSA/3D		EXTREE		SSA/2D		ADDTREE		שיטת היצוג	
COA	R <sup>2</sup> L	R <sup>2</sup> M	R <sup>2</sup> L	COA	R <sup>2</sup> L	R <sup>2</sup> M	R <sup>2</sup> L	מס. פריטים	מבחן מיצג
.201	.742	-	-	.301	.624	.814	.801	60	ידע כללי
.170	.727	.951	.929	.228	.655	.917	.884	22	צורות
.172	.647	-	-	.246	.543	.906	.888	40	הבנה
.174	.881	.929	.907	.243	.728	.904	.884	30	חשיבה מתמטית
.139	.862	-	-	.188	.806	.929	.917	50	אנגלית

מבט בלוח מס' 4 מגלה, כי בעוד שטיב השחזור של יצוגי העצים עבור המבחנים הינו בדרך כלל גבוה, טיב השחזור של יצוגי ה-SSA הוא נמוך מאוד, אפילו עבור מבחן קצר כמו צורות. עולה כאן המגבלה הרצינית שבשימוש ב-R<sup>2</sup>L בתור מדד לטיב התאמת ה-SSA, אולם נציין כי גם המדד COA, המותאם מלכתחילה לשיטה זו, אינו מצביע על התאמה גבוהה. המבחן היחיד עבורו SSA מראה שחזור נאמן הוא מבחן האנגלית, אשר משוחזר היטב גם על-ידי העץ. ההצוגים בתלת-מימד הם כולם בעלי טיב התאמה גבוה בהרבה.

המשותף לכל היצוגים של פריטי המבחנים, בהשוואה ליצוגים של תת-המבחנים בסוללה, הוא בכך שביצוגים המתקבלים אין כמעט אשכולות מובחנים: השונות המשותפת לפריטים הבודדים בתוך מבחן היא יחסית קטנה, ואילו השונות היחודית לכל פריט היא יחסית גדולה. ממצא זה מתקשר עם העובדה, שהמבחנים בנויים מפריטים הומוגניים יחסית ולכן השונות ביניהם היא בעיקרה שונות ספציפית לכל פריט.

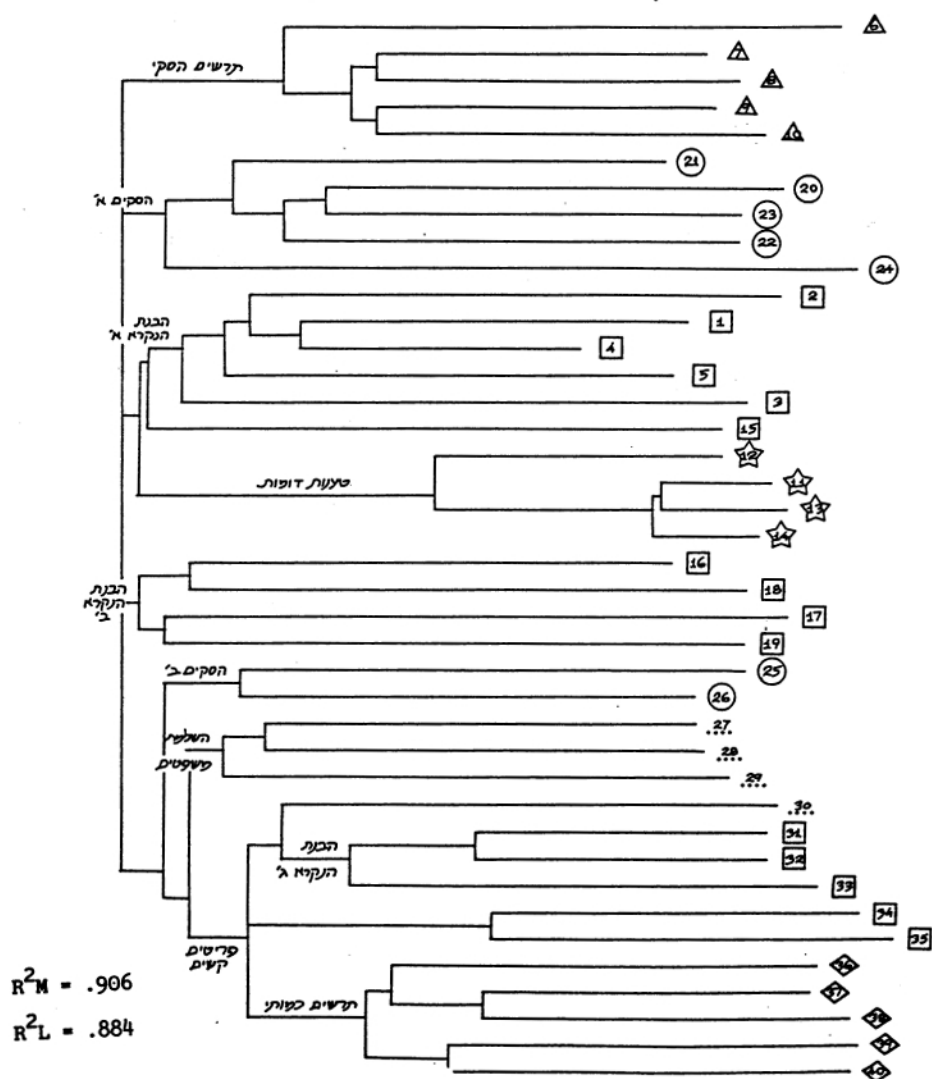
מטעמי חסכון נסתפק כאן בהצגת תוצאות יצוגי ה-ADDTREE וה-SSA/2D של מבחן ההבנה.

**מבחן הבנה**

כהדגמה לניתוח מבנה הקשר בין פריטים נציג את פריטי מבחן ההבנה: בתרשים מס' 4 מופיע יצוג של פריטי מבחן הבנה, באמצעות ADDTREE. טיב ההתאמה במקרה זה הוא גבוה יחסית ( $R^2L = .888$ ). זהו המבחן המראה את מבנה האשכולות הברור ביותר. בולטים בו האשכולות הנוצרים על ידי שלושה מתת-המבחנים: טענות דומות (מס' 11-14) תרשים היסקי (מס' 6-10), ותרשים כמותי (מס' 36-40). תת-מבחן ההיסקים נבדל אף הוא, אך התפצל לשנים (מס' 20-24, ומס' 25-26) בהתאם לשני סוגי הפריטים ומקורות הנתונים שהוא כלל. נראה, כי התלות במקור הנתונים או בתוכן

הנידון, אחראית לפחות בחלקה להתפלגות תת-מבחן הבנת הנקרא לשלושה אשכולות, בהתאם לשלושת הקטעים עליהם נשאלו השאלות (מס' 1-5, מס' 15-19, מס' 31-35). תת-מבחן השלמת משפטים יצר אף הוא מעין אשכול. יש לציין כי מעטים הפריטים אשר חורגים משיוכם המקורי ומצטרפים לאשכול של תת-מבחן אחר. עם זאת, מעניין כי כל פריט כזה, הצטרף לתת-מבחן המבוסס על מטלות דומות.

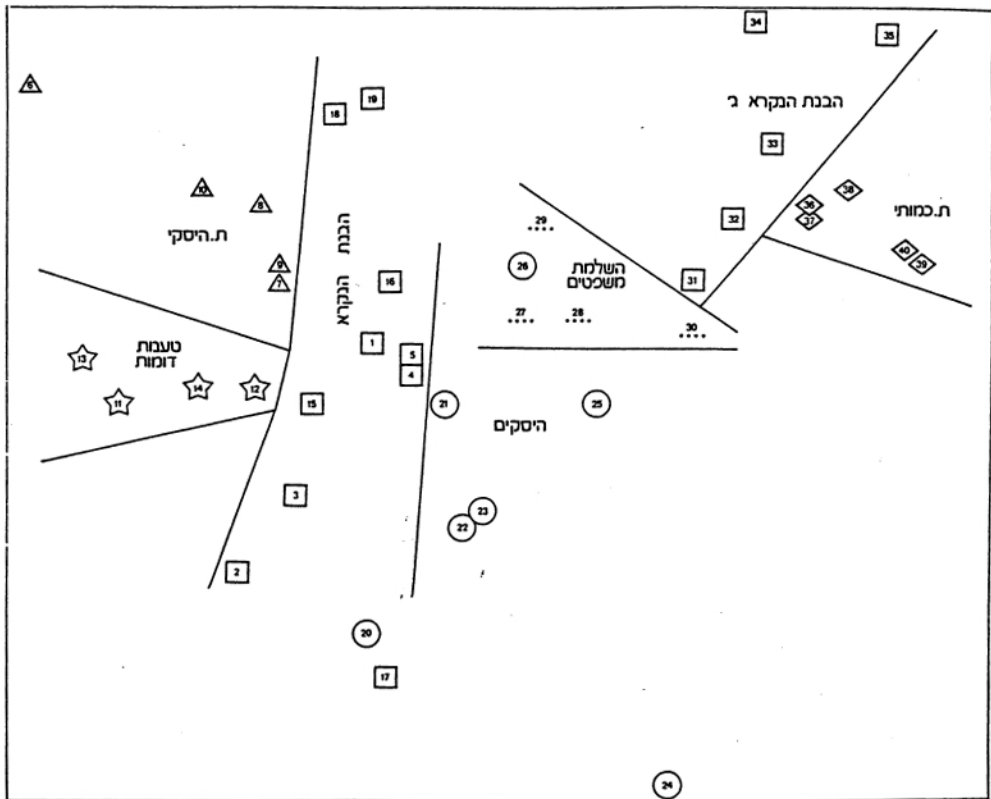
תרשים מס' 4 - יצוג ADDTREE עבור פריטי מבחן ההבנה בסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות והערכה.



מסתבר כי במבחן הבנה, כמו במבחנים אחרים, הפריטים ברבע האחרון של המבחן נוטים להתקבץ תחת אשכול אחד, על אף שתוכנם אינו בהכרח דומה (מס' 30-40). נראה כי הסיבה לכך נעוצה בדרגת הקושי של הפריטים ובהתערבות גורם מהירות.

היצוג של פריטי מבחן הבנה באמצעות SSA/2D מופיע בתרשים מס' 5. טיב ההתאמה של יצוג זה במונחי  $R^2L$  הוא נמוך מאוד ( $R^2L = .543$ ). בדומה לעץ, מפת ה-SSA המתקבלת עבור מבחן זה היא הברורה ביותר בחלוקתה לאיזורים על פי תת-המבחנים. בעיקר, מובחנים היטב האיזורים הנוצרים על ידי טענות דומות, התרשים ההיסקי, התרשים הכמותי והקטע השלישי של הבנת הנקרא. השניים האחרונים מראים גם כן קירבה גדולה זה לזה, המתישבת עם השערתנו על תפקידו של גורם הזמן והשפעתו על קושי הפריטים. לעומת דמיון זה לעץ, בולט כאן הפיזור הרב של פריטי ההיסקים.

**תרשים מס' 5 - יצוג SSA/2D עבור פריטי מבחן ההבנה בסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה.**



מאמר זה מביא את היצוגים העציים (באמצעות ADDTREE) והיצוגים המרחביים (באמצעות SSA) של המבחנים בסוללה הפסיכומטרית של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה (1984).

ככלל, נראה שהמבנה העיקרי לפיו מתקבצים המבחנים לאשכולות, נשמר תחת שני המודלים ליצוג. ההקבצה העיקרית של המבחנים לאשכולות (המבטאים קירבה מתאמית גבוהה יחסית) נעשית עפ"י המטלה הקוגניטיבית הנדרשת על מנת לפתור את הפריטים במבחנים: מבחני "ידע" לעומת מבחני "פתרון בעיות". שפת ההצגה של הפריטים, שהיוותה גורם מרכזי בתאוריות של גוטמן (Guttman, 1965) ושל גילפורד (Guilford, 1967) אינה מוסיפה כמעט להבהרת מבנה הקשר בין המבחנים. הסבר חלקי לכך מהווה העובדה שבסוללת מבחנים זו, שפת הפריטים אינה בלתי תלויה לחלוטין במטלה הקוגניטיבית.

תוצאות הניתוח של סוללת המבחנים הנוכחית מתיישבות יפה עם מבנה העץ שנתקבל עבור המבחנים בסוללה הפסיכומטרית של האוניברסיטה העברית (ראה תרשים מס' 1) ועם החלוקה ההירארכית שהציע קטל (Cattell, 1971) לגבי מבנה מבחני המשכל. בפרט מתיישבים הנתונים שנתקבלו פה עם תוצאות נתוח גורמים שנערך ע"י בודסקו (בודסקו, 1985) על נתונים דומים ביותר (מדגם האנשים אצלו היה קטן במעט). נתוח מטריצת המתאמים בין תת-המבחנים בסוללת המרכז הארצי מצביע על שני גורמים עיקריים: גורם כמותי (מבחני המתמטיקה והצורות) וגורם מילולי (עליו טעונים מבחני ידיעות כלליות ואנגלית). מבחן ההבנה על כל מרכיביו נמצא טעון בשני הגורמים.

טיב ההתאמה של יצוגי ה-ADDTREE המופיעים פה הם גבוהים ביותר והמבנה ההירארכי ניתן לפרש בהיר וישיר. יצוג ה-SSA מספק נתוני טיב התאמה נמוכים יותר (דהיינו שיחזור מדוייק פחות של נתוני הקירבה - מתאמים - בין המבחנים). כמו כן, קשה למצוא ביצוגים אלה פשר למימד השני/שלישי ונראה כי מימד אחד מסביר את רוב השונות בפיזור המבחנים על המפה. עובדות אלה עשויות להצביע על כך שלגבי פריטי-מבחנים ומבחנים, מתקיים מה שנמצא על-ידי טברסקי והאצ'ינסון (Tversky & Hutchinson, 1986) כמאפיין סוג מסויים של משתנים: אפיון ע"י מספר רב של תכונות בדידות ולא ע"י מספר קטן של מימדים רציפים. דרך אפשרית אחת לפרוש יצוגי ה-ADDTREE בהקשר זה היא באמצעות מודל הקונטרסט (Tversky, 1977), שישומו למבחנים ופריטים מניח כי אומנם הללו מאופיינים ע"י מספר רב של תכונות בדידות (משותפות ומפרידות) וכי דימיון בין משתנים (הנמדד במקרה זה ע"י המתאמים) גדל ככל שגדל מספר התכונות המשותפות למבחנים/פריטים ולהיפך.

### רשימת מקורות

- בודסקו ד. (1985). ניתוח גורמים של מערכת מבחני הכניסה הכלל אוניברסיטאיים. דו"ח מס' 21 של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה, ירושלים.  
בלר מ. ובן-שחר ג. (1981). הערכת תהליך ברירת הסטודנטים באוניברסיטה העברית בירושלים. מגמות, כ"ז, 1, עמ' 23-36.  
בלר מ. (1982). יצוגים עציים ומרחביים ליחסי קירבה ויחסי דומננטיות בין פריטים ומבחנים. (חיבור לקבלת תואר דוקטור לפילוסופיה). האוניברסיטה העברית.  
כהן י. ומלמד א. (1984). בחינת אמריקל 1984 - סיכום. דו"ח מס' 3 של המרכז הארצי לבחינות ולהערכה, ירושלים.  
נבו, ב. רוזן א., ואיתן מ. (1984). בחינות קבלה פסיכומטריות לאוניברסיטאות, (מהדורה שנייה), המרכז הארצי לבחינות ולהערכה, ירושלים.
- Carroll, J.D. (1976). Spatial, non-spatial and hybrid models for scaling. Psychometrika, 41, 439-463.
- Carroll, J.D., & Pruzansky, S. (1980). Discrete and hybrid scaling models. In E.D. Lantermann, & H. Feger (Eds.), Similarity and choice. Bern: Hans Huber.
- Cattell, R.B. (1971). Abilities: Their structure, growth and action. Boston: Houghton-Mifflin.
- Cortner, J., & Tversky, A. (1986). Extended similarity trees. Psychometrika, 51, 429-451.
- Gati, I. (1982). Testing models for the structure of vocational interests. Journal of Vocational Behavior, 21, 164-182.
- Guilford, J.P. (1967). The nature of human intelligence. New York: McGraw Hill.
- Guttman, L. (1968). A general nonmetric technique for finding the smallest coordinate space for a configuration of points. Psychometrika, 33, 469-506.
- Harman, H.H. (1976). Modern factor analysis (3rd ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Hayes, W.L. (1981). Statistics (3rd ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- Johnson, E.J. & Tversky, A. (1984). Representation of perceptions of risks. Journal of Experimental Psychology: General, 113, 55-70.

- Johnson, S.C. (1967). Hierarchical clustering schemes. Psychometrika, 32, 241-254.
- Kruskal, J.B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a non-metric hypothesis. Psychometrika, 29, 1-27.
- Lingoes, J.C. (1970). An IBM 360/67 program for Guttman-Lingoes smallest space analysis - PI. Behavioral Science, 15, 536-540.
- Pruzansky, S., Tversky, A., & Carroll, J.D. (1982) Spatial versus tree representations of proximity data. Psychometrika, 47, 3-24.
- Sattath, S., & Tversky, A. (1977). Additive similarity trees. Psychometrika, 42, 319-345.
- Schlesinger, I.M., & Guttman, L. (1969). Smallest space analysis of intelligence and achievement tests. Psychological Bulletin, 71, 95-100.
- Shepard, R.N. (1962a). The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. Part I. Psychometrika, 27, 125-140.
- Shepard, R.N. (1962b). The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. Part II. Psychometrika, 27, 219-246.
- Shepard, R.N. (1974). Representation of structure in similarity data: Problems and prospects. Psychometrika, 39, 373-421.
- Shepard, R.N. (1980). Multidimensional scaling, tree-fitting and clustering. Science, 210, 390-398.
- Shepard, R.N., & Arabie, P. (1979). Additive clustering: Representation of similarities as combinations of discrete overlapping properties. Psychological Review, 86, 87-123.
- Spearman, C. (1927). The abilities of man. New York: Macmillan.
- Thurstone, L.L. (1938). Primary mental abilities. Psychometric Monographs, 1.
- Tryon, T.C., & Baily, D.E. (1970). Cluster Analysis. New York: McGraw Hill.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. Psychological Review, 84, 327-352.
- Tversky, A., & Hutchinson, J.W. (1986). Nearest neighbor analysis of psychological spaces. Psychological Review, 93, 3-22.
- Vernon, P.E. (1961). The structure of human abilities (2nd ed.). London: Methuen.