

דו"ח מסכם לתקופה ספטמבר 1996 - ספטמבר 1997

מחקר מס' 6-123

**הקשר בין תנאי בית הגידול והתגובה הביולוגית  
של דגים בנחל הירקון.**

ע"י

שריג גפני, מנחם גורן, אביטל גזית



המכון לחקר שמירת הטבע והמחלקה לזואולוגיה  
אוניברסיטת תל-אביב

מוגש למשרד לאיכות הסביבה

דצמבר, 1997

דו"ח מסכם לתקופה ספטמבר 1996 - ספטמבר 1997

מחקר מס' 6-123

# הקשר בין תנאי בית הגידול והתגובה הביולוגית של דגים בנחל הירקון.

ע"י

שריג גפני, מנחם גורן, אביטל גזית

המכון לחקר שמירת הטבע והמחלקה לזואולוגיה  
אוניברסיטת תל-אביב

מוגש למשרד לאיכות הסביבה

דצמבר, 1997

## תוכן הענינים

עמוד	
1	תקציר
3	מבוא
4	מטרת המחקר
5	שיטות
5	א. תחנות הדיגום
5	ב. אפיון התנאים האביוטיים
5	ג. אפיון אסופת הדגים
5	ד. אפיון המצב הבריאותי של הדגים
8	ה. ניתוח נתונים סטטיסטי
10	תוצאות
10	א. אפיון הדינמיקה המרחבית והעונתית של התנאים האביוטיים
	בבתי גידול שונים בירקון
10	1. טמפרטורת המים
10	2. מוליכות חשמלית
15	3. חמצן מומס
20	4. עומס אורגני
27	5. ההשפעה המשולבת של איכות המים על בתי הגידול השונים
29	ב. חברת הדגים
29	1. עושר המינים
33	2. שפיעות הפרטים
34	3. ביומסת הדגים
37	4. מבנה חברת הדגים בתחנות שונות לאורך הירקון
40	ג. אוכלוסיות הדגים
40	1. אוכלוסיית האמנון המצוי
47	2. אוכלוסיית לבנון הירקון
50	3. אוכלוסיית הקרפיון המצוי
50	4. אוכלוסיית הגמבוזיות
50	5. אוכלוסיית הסיפנים
53	6. אוכלוסיית הצלופחים
53	7. אוכלוסיית אמנון הגליל
53	8. אוכלוסיית השפמנונים
54	9. אוכלוסיית הבורים
54	ד. המצב הבריאותי של הדגים
58	דיון מסכם
66	בביליוגרפיה

## רשימת האיורים

עמוד	האיור
6	מפת תחנות הדיגום ממקורות הירדן במזרח ועד שפך הירקון לים במערב
11	טווח, חציון, ממוצע וסטיית תקן של ערכי הטמפרטורה והמוליכות שנמדדו בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997
12	השתנות הטמפרטורה בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997
13	פונקציית האוטוקורלציה בנתוני הטמפרטורה מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני ואחרי הפעלת מודל ה-ARIMA
14	דינמיקה עונתית מדומה ואמיתית של נתוני הטמפרטורה מתחנות שונות לאורך הירקון
16	השתנות המוליכות החשמלית בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997
17	פונקציית האוטוקורלציה בנתוני המוליכות החשמלית מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני ואחרי הפעלת מודל ה-ARIMA
18	דינמיקה עונתית מדומה ואמיתית של נתוני המוליכות החשמלית מתחנות שונות לאורך הירקון
19	טווח, חציון, ממוצע וסטיית תקן של ערכי החמצן המומס והעומס האורגני שנמדדו בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997
21	השתנות ריכוזי החמצן המומס בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997
22	פונקציית האוטוקורלציה בנתוני חמצן המומס מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני ואחרי הפעלת מודל ה-ARIMA
23	דינמיקה עונתית מדומה ואמיתית של נתוני החמצן המומס מתחנות שונות לאורך הירקון
24	השתנות ריכוזי העומס האורגני בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997
25	פונקציית האוטוקורלציה בנתוני העומס האורגני מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני ואחרי הפעלת מודל ה-ARIMA
26	דינמיקה עונתית מדומה ואמיתית של נתוני העומס האורגני מתחנות שונות לאורך הירקון
28	ניתוח רמת הדמיון באיכות המים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון
30	טווח, חציון ממוצע וסטיית תקן של עושר המינים, שפיעות הפרטים והביומסה בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997
31	השתנות עושר המינים עם הזמן (1996-1997) בתחנות לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון

עמוד	האיור
35	השתנות שפיעות הפרטים עם הזמן לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון
36	העומס האורגני במורד מפגש נחל קנה עם נחל ירקון בהשוואה לשפיעות הפרטים בתחנה זו ובתחנה סמוכה הממוקמת לפני מפגש הנחל לפני ואחרי הפעלת מכון הטיפול לשפכי הוד השרון וכפר סבא.
38	תוצאות אנליזה רב משתנית (PCA) של אסופת הדגים בתחנות שונות בנחל הירקון
39	תוצאות אנליזה PCA נפרדת של נתוני הדגים בתקופה אוגוסט 1996 - פברואר 1997 שבה חל שיפור באיכות המים בקטע הנחל שבין מפגש ירקון קנה למפגש ירקון הדרים
41	תוצאות ניתוח רמת הדמיון בשכיחות היחסית הממוצעת (MDS ע"פ מרחק אויקלידי) של מיני הדגים השונים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון
42-43	השכיחות היחסית של מיני הדגים השונים בתחנות שונות לאורך הירקון בתקופה 1994-1997
44	התפלגות אורך הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
45	התפלגות משקל הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
46	השתנות טווח, חציון, ממוצע וסטטית התקן עם הזמן של אורך הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון
48	התפלגות אורך הגוף של דגי לבנון הירקון מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
49	התפלגות משקל הגוף של דגי לבנון הירקון מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
51	התפלגות אורך הגוף של דגי קרפיון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
52	התפלגות אורך הגוף של דגי גמבוזיה מתחנות שונות לאורך נחל הירקון
55	ההבדל במקדם השונות (C.V.) בכמות ה-DNA בדגי אמנון מצוי שנאספו בנחל הירקון מאתרים נקיים, מזוהמים ואתר שאיכות המים בו משוקמת חלקית
56	מספר התאים בעלי גרעינים פגועים בדגי אמנון מצוי שנאספו בנחל הירקון מאתרים נקיים, מזוהמים ואתר שאיכות המים בו משוקמת חלקית
57	הכמות היחסית של DNA פגוע (חד גדילי) בתאי אמנונים מאתרים נקיים, ומזוהמים בנחל הירקון ומאתר שבו איכות המים משוקמת חלקית

## תקציר

הדו"ח הנוכחי מסכם ומנתח את מכלול הנתונים על הקשר בין איכות בית הגידול לבין אסופת הדגים שנחל הירקון בהיבט עונתי ורב שנתי. סכירת מקורות הירקון בסוף שנות החמישים, והזרמת קולחין עירוניים ברמת טיפול שונה לנחל העובר בליבו של האזור הצפוף ביותר באוכלוסייה בישראל, הביאה לירידה באיכות המים בקטעי נחל נרחבים ולהפיכת הנחל למטרד לאוכלוסייה המתגוררת בקרבתו. המטרה הכוללת של מחקר זה הייתה לבחון את התגובות הביולוגיות של חברת הדגים שנחל (עושר המינים, שפיעות יחסית, מגוון המינים והרכב הגדלים) לתנאי סביבה שונים, המשתנים במרחב ובזמן, זאת כבסיס לבחינת הדרישות האקולוגיות לשיקום הנחל.

אסון התמוטטות גשר המכבייה בקיץ 1997 גבה מחיר יקר בחיי אדם והצביע על חריפות הבעיה של זיהום המים בנחלים בכלל ובירקון בפרט. אסון זה הגביר את הרלוונטיות של המחקר הנוכחי. המחקר בוחן את השלכות תנאי בית הגידול על חברת הדגים שנחל הירקון בשלוש רמות נפרדות: רמת החברה העוסקת בכלל הדגים בנחל, רמת האוכלוסייה הבוחנת את השפעת הזיהום על כל מין בנפרד, ורמת הפרט הבודד הבוחנת את השפעות הזיהום על מצבם הבריאותי של דגים המאכלסים את הנחל ובכלל זה השפעות ברמה התאית והמולקולרית.

החלק הראשון של המחקר אפיין דגמים בזמן ובמרחב באיכות המים שנחל הירקון. ממצאי המחקר מצביעים על דמיון רב בטמפרטורות ובריכוזי החמצן המאפיינים קטעי נחל נקיים ומזוהמים. לעומת זאת, נמצא הבדל מובהק במוליכות החשמלית ובעומס האורגני בין קטע הנחל הנקי למזוהם. אנליזה רב משתנית מצביעה על חלוקה של התחנות לאורך הנחל לשתי קבוצות עיקריות: האחת של תחנות הממוקמות בקטע הנחל הנקי והשניה של תחנות הממוקמות בקטע הנחל המזוהם. העומס האורגני היה המדד העיקרי שהשפיע על חלוקה זו. בנוסף לחלוקה הנ"ל נמצאה גם חלוקה משנית של התחנות בירקון הנקי לצמדים על בסיס מיקומן הגיאוגרפי.

מבין מדדי איכות המים שבדקנו נמצא כי טמפרטורת המים הוא המדד היחיד המראה דגם עונתי אמיתי לכל אורך הנחל. לא ניתן להבחין בדגם עונתי של ריכוזי החמצן המומס ובתקופת המחקר היו ריכוזי החמצן לאורך הירקון אחידים ובמרבית המיקרים גבוהים יחסית (70%-60% רוויה) במשך כל השנה. בירקון המזוהם ניתן להבחין בדגם עונתי אמיתי של מוליכות גבוהה יחסית בקיץ ועומס אורגני גבוה בחורף. דגם זה הוא ככל הנראה ביטוי להשפעתם של שטפונות החורף המוהלים את מי הירקון במי גשמים אך במקביל מסייעים כמויות גדולה של מזהמים אורגניים לאורך הנחל.

היבט אחר של המחקר בוחן את דגמי ההשתנות של חברת הדגים ואוכלוסייתיהם בזמן ובמרחב ואת תגובת חברת הדגים לשינויים באיכות הקולחין המוזרמים לנחל. נמצא כי לאיכות המים בבית הגידול השפעה רבה על מבנה והרכב חברת הדגים בנחל. בתי גידול נקיים מתאפיינים בעושר מינים ובשפיעות פרטים גבוהים בהשוואה לבתי גידול מזוהמים. בתי גידול מזוהמים חלקית מתאפיינים בביומסה גבוהה בהשוואה לבתי גידול נקיים. תופעה זו מוסברת בכך שבבתי גידול מזוהמים חלקית נמצאים בעיקר דגים גדולים. האנליזה הרב משתנית של נתוני אסופת הדגים בירקון מצביעה על חלוקה ברורה של בתי הגידול בנחל לשתי קבוצות נפרדות, האחת של תחנות בירקון הנקי והשניה של תחנות בירקון המזוהם. דמיון רב נמצא בין תוצאות האנליזה של אסופת הדגים שנחל לבין תוצאות האנליזה של איכות המים אך גם על הבדל בחלוקת התחנות בירקון הנקי לקבוצות ביניים. בעוד שמהיבט של איכות המים מתקבצות תחנות אלו על פי מיקומן לאורך הנחל מההיבט של אסופת הדגים בולטת חשיבותו של בית גידול נדירבירקון - מפלים המפריד בין אסופות אופייניות - מעל או מתחת מפלים. ממצא זה משקף ככל הנראה את ההשפעה שיש למדדים אחרים של בית הגידול (למשל, עוצמת הזרימה) על

אופן התקבצות הדגים. נדרש מחקר נוסף על מנת לברר את האופן בו משפיעים גורמים נוספים על תפוצת הדגים בנחל.

מבין המדדים השונים של איכות המים שבדקנו נמצא כי העומס האורגני הוא הממד המראה את המתאם הגבוה ביותר למדדי חברת הדגים. כאשר רמת העומס האורגני גבוהה יחסית (מעל 15 מ"ג לליטר) נעדרים הדגים לחלוטין מבית הגידול. כאשר רמת הזיהום מתונה יחסית (10-15 מ"ג לליטר) מאכלסים מינים אחדים (למשל: קרפיון ושפמנון) את בתי הגידול המזוהמים חלקית. התדרדרות מהירה באיכות המים ועליה חדה בעומס האורגני גורמת להעלמות מהירה של הדגים ולעתים קרובות היא מלווה בתמותות דגים המוניות. התדרדרות כזו מתרחשת בדרך כלל בזמן שטפונות החורף והעלייה בעומס האורגני הנגרמת מהם. השפעת שטפונות החורף על חברת הדגים מתבטאת בדיכוי בתמותות דגים המוניות. השפעה שלילית זו יכולה להימשך עד אמצע הקיץ שלאחר השטפונות. ההתדרדרות הדרגתית יותר באיכות המים גורמת להעלמות דגים הדרגתית. מיני דגים קטני גוף נעלמים ראשונים ולאחריהם נעלמים מינים גדולי גוף. שיפור באיכות המים מביא לאכלוס מחדש של בתי הגידול, אך תהליך האכלוס המחודש הוא איטי יחסית ובדרך כלל מפגר במספר חודשים אחרי השיפור באיכות המים.

גלישות קולחין ברמת טיפול נמוכה ממכוני טיהור לירקון עקב תקלות תפעוליות יש השפעת דומה להשפעת שטפונות החורף. לפיכך, מותנה שיקום הנחל במינימום של גלישות ביוב למשל על ידי יצירת כושר איגום מספיק במכוני הטיהור.

הקשר בין איכות המים לבין אסופת הדגים בנחל הירקון מתבטא גם ברמת האוכלוסייה. התגובה הבולטת ביותר ברמת האוכלוסייה לאיכות המים בבית הגידול היא של שינויים במבנה הגדלים בתוך האוכלוסיות השונות. בתי גידול נקיים מתאפיינים באוכלוסיות המוטות לכיוון הפרטים הקטנים בעוד שהאוכלוסיות בבתי הגידול המזוהמים מתאפיינות בשליטת פרטים בוגרים וגדולי גוף. כמו כן קיימת השפעה על דגמי פיזור של אוכלוסיות ומינים שונים מראים העדפה לבתי גידול שונים (למשל לבנון וסיפן - העדפה לבתי גידול נקיים, צלופח וגמבוזיה - העדפה לבתי גידול נקיים או עם זיהום מתון וכד').

הזיהום בנחל הירקון משפיע גם על בריאותם של מאכלסי הנחל. דגים מבתי גידול מזוהמים ומשוקמים חלקית הם בעלי מנגנוני הגנה כגון הפרשת ריר מוגברת ע"פ העור ובחלל הזימים. למינים כדוגמת שפמנון קרפיון ואמנון יכולת לצמצם חדירות חומרים קסנוביוטים וכן מנגנוני סילוק יעילים. דגים מבתי גידול מזוהמים פיתחו גם סימפטומים בריאותיים המעידים על היחשפות למזוהמים ופגיעות פתולוגיות ברמת האיבר, ברמה התאית וברמה המולקולרית. המחקר מלמד כי שיפור באיכות המים המביא ברמת החברה לאכלוס מחדש של קטעי נחל בדגים אינו מבטיח בהכרח כי האוכלוסיות המאכלסות לא יהיו חשופות לפגיעה ברמת הפרט הבודד. זאת גם כאשר רמת הזיהום נמוכה יחסית. תפוצת הדגים בקטעי נחל נקיים ובאזורים מזוהמים ברמות שונות התאימה לכושר התמודדותם ברמה הביוכימית עם גורמי זיהום. המין העמיד ביותר היה שפמנון ולאחריו בסדר עמידות יורד קרפיון אמנון ולבנון.

לסיכום, ממצאי המחקר מצביעים על קשר הדוק בין איכות המים בנחל הירקון לאסופת הדגים בנחל. הקשר בא לידי ביטוי הן ברמת החברה הן ברמת האוכלוסייה והן ברמת הפרט הבודד. שיפור באיכות המים עקב העלאת תקני האיכות של הקולחין המוזרמים לנחל משפיע בעיקר ברמת החברה והאוכלוסייה בעוד שהשפעתו על רמת בריאות הפרט הבודד שנחשף בעבר לזיהום כבד נמצאה נמוכה. יתכן ששיפור ארוך טווח באיכות המים יביא גם להתמתנות ההשפעות השליליות שיש לקולחין על הדגים ברמת בריאות הפרט הבודד.

## מבוא

המחקר שלהלן בוחן את השלכות תנאי בית הגידול על חברת הדגים בנחל הירקון. אחת מההנחות המובילות במדע העוסק בממשק משאבי מים היא שנחלים שבתי הגידול בהם מופרעים מתאפיינים גם בחברות ביולוגיות מופרעות. חשיבות השימוש במרכיבים ביולוגיים לניטור ואפיון השפעת האדם במערכות אקוטיות הולכת וגוברת בשנים האחרונות (למשל: Loeb, 1994; Davis and Simon, 1995; Scott and Hall, 1997). הקשר בין תנאי בית הגידול לבין התגובה הביולוגית של אסופת הדגים (fish assemblage) משמש כמדד מקובל לבחינת השפעות אדם על מערכות נחלים מאחר ונמצא כי מבנה אסופת הדגים משתנה באופן ניכר כאשר תנאי בית הגידול משתנים (למשל: Angermeier and Karr, 1986; Li et al. 1987; Rutherford et al., 1987).

הירקון הוא הדרומי בנחלי מישור החוף של ישראל. אורכו 28 ק"מ ושטח אגן הניקוז שלו הוא כ- 1805 קמ"ר. כמות המשקעים הממוצעת באגן הניקוז של הירקון היא כ- 600 מ"מ בשנה. סכירת מקורות הירקון בסוף שנות החמישים הביאה לשינוי ניכר במשטר הזרימה של הנחל וסך כל זרימת המים (ממקורות ואיכויות שונים) בנחל כיום מגיעה לכדי פחות מאחוז אחד מהכמות המקורית שזרמה בו לפני סכירת מקורותיו (Gasith, 1992). את מקום המים השפירים שזרמו בירקון לפני סכירת מקורותיו תפסו קולחין עירוניים ברמת טיפול שונה. קולחין אלה, שהזיהום בהם הוא אורגני בעיקרו, מהווים את המקור העיקרי למים הזורמים בנחל הירקון כיום. כתוצאה מהזרמתם של הקולחין לנחל קיימת ירידה באיכות המים בקטעי הנחל המזוהמים. בנוסף לירידה בספיקות המים כתוצאה מסכירת מקורות הירקון הורידה הקטנת השפיעה של מים נקיים בנחל גם את יכולת הדילול של הקולחין הנכנסים לנחל. מאידך, חל בשנים האחרונות גידול ניכר באוכלוסייה האנושית לאורך הנחל ובהתאם בכמות השפכים שאוכלוסייה זו מייצרת. בתחילת קיץ 1996 נכנס לפעולה מכון טיהור חדש המטפל בקולחי הוד השרון וכפר סבא לפני כניסתם לנחל הירקון דרך נחל קנה. מכון טיהור זה אמור להעלות את איכות הקולחין המוזרמים לנחל ולהעמידם בסטנדרט גבוה יחסית של 20 מ"ג/ל צח"ב מכסימאלי ורמת עכירות שלא עולה על 30 NTU. לעומת זאת ההתקדמות שחלה בתכנון והקמת מכון טיהור דומה לטיפול בשפכי רמת השרון הייתה מועטה. לפיכך השפעתו המטיבה של מכון טיהור כפר סבא, הוד-השרון על איכות המים הזורמים בירקון צפויה להתפוגג עם כניסת קולחי רמת השרון בנחל הדרים.

אסון התמוטטות גשר המכבייה שאירע בקיץ 1997 וגבה מחיר יקר בחיי אדם הצביע על חריפות הבעיה של זיהום המים בנחלים והגביר את הרלוונטיות של המחקר הנוכחי. תוצאות קודמות של מחקר זה שהוצגו בדר"חות קודמים הצביעו על כך שבמרבית חודשי השנה הזיהום האורגני הכבד אינו מאפשר לאוכלוסיות דגים להתקיים בקטע הירקון המזוהם. לעומת זאת אוכלוסיות דגים עשירות יחסית מתקיימות בקטע הנחל הנקי וכן בקטע הנחל שבמורד הירקון "המתוק" בו איכות המים משופרת חלקית (מורד סכר שבע טחנות).

הדו"ח הנוכחי מסכם ומנתח את מכלול הנתונים על הקשר בין איכות בית הגידול לבין אסופת הדגים בנחל הירקון בהיבט עונתי ורב שנתי. המחקר בוחן קשר זה ברמת החברה, ברמת האוכלוסייה וברמת הפרט הבודד (כולל הרמה התאית והמולקולרית). כמו כן נבחנה השפעת הפעלת מכון הטיהור



החדש המטפל בשפכי כפייס והוד השרון על איכות מי הנחל ועל אסופת הדגים בנחל ונדונה השפעת שטפונות החורף על תפקוד מערכת הנחל.

### מטרות המחקר

הנחת היסוד למחקר זה היא שמבנה ותפקוד מערכת הירקון הם ביטוי לתנאי בית הגידול השוררים בנחל. איכות מים, משטר הידרולוגי ותשתית הנחל הם המרכיבים היסודיים של בית הגידול. אוכלוסיות בעלי החיים בירקון מושפעות מתנאי הגבול במערכת, כלומר מתנאי העקה הקיצוניים ומשקפות את עמידות מאכלסי המערכת לחשיפה חוזרת לתנאי עקה. עוצמת העקה שונה בקטעי הנחל השונים. בהתאם צפויים הבדלים ניכרים במבנה חברת הדגים בבתי גידול דומים שאיכות המים בהם שונה. שיפור באיכות המים הזורמים בנחל וירידה בעוצמת העקה בקטעי נחל שונים צפויים להביא לעליה באיכות בית הגידול ולשיקום מערכת הנחל.

המטרה הכוללת של מחקר זה הייתה לבחון את התגובות הביולוגיות של חברת הדגים בנחל (עושר המינים, שפיעות יחסית, מגוון המינים והרכב הגדלים) לתנאי סביבה שונים, המשתנים במרחב ובזמן, זאת כבסיס לבחינת הדרישות האקולוגיות לשיקום הנחל. הבחירה בדגים כמיצגים את התגובה הביולוגית של מערכת הנחל מתבססת על כך שהדגים נמצאים בראש מארג המזון האקוטי בנחל והם צפויים לשקף את מכלול ההשפעות. בתקופה שבין החודשים אוגוסט - דצמבר 1996 התמקד המחקר בשינויים שחלו באיכות המים עקב הפעלתו של מכון הטיהור החדש לקולחי הוד השרון וכפר סבא, וכן באפיון השפעות הזיהום בקטעי נחל שונים על בריאות הדגים.

**בהתאם נקבעו המטרות המחקר:**

- א. אפיון הבדלים במרחב (spatial differences) באיכות המים לאורך נחל הירקון.
- ב. אפיון שינויים בזמן (temporal differences) של איכות המים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון תוך דגש על הדינמיקה העונתית ועל ההשפעה של שטפונות החורף על התנאים האביוטיים באתרים מיצגים בקטעי הנחל השונים.
- ג. אפיון השינויים שחלו בתנאים האביוטיים בנחל מאז הפעלת מכון הטיהור-החדש לשפכי הוד השרון כפר סבא.
- ד. בחינת משתני חברת הדגים ואוכלוסיותיהם במרחב ובזמן בקטעי נחל בהם תנאי בית הגידול שונים.
- ה. בחינת תגובת חברת הדגים לשינויים באיכות הקולחין המוזרמים לנחל ממכון הטיהור החדש.
- ו. בחינת השפעת שטפונות החורף על משתני חברת הדגים.
- ז. בחינת הקשר בין תנאי בית הגידול למצב הבריאותי של הדגים כפי שמשקף בתגובות ברמה הפיסיולוגית תאית.

**שיטות:****א. תחנות הדיגום**

אפיון הפרמטרים האביוטיים והדינמיקה של חברת הדגים התבצע אחת לחודש. בשנים 1994-1995 התבצע אפיון חודשי ב-6 אתרים המיצגים קטעי נחל בעלי רמת זיהום שונה לפי הפרוט הבא: א. 3 אתרים (1, 2, וחלק מאתר 3) בירקון הנקי, 3 אתרים (חלק מאתר 3, ואתרים 4 ו-5) בירקון המזוהם. במורד סכר שבע טחנות, בקטע הנחל בו איכות המים משוקמת חלקית כתוצאה מתהליכי טיהור עצמי, נדגם אתר אחד (6b). בכל אתר נדגמו כמה תחנות דיגום משניות. בתקופה הנ"ל נדגם בכל חודש צבר אתרים שונה. לאור ממצאי השנתיים הראשונות שהצביעו על העדר מוחלט כמעט של דגים מהירקון המזוהם הופחת ב- 1996-1997 מספר אתרי הדיגום לשלושה בלבד (אתרים 2, 3 ו-6b) אך מספר תחנות הביניים בכל אתר גדל. מבנה הדיגום שונה אף הוא כך שכל האתרים והתחנות נדגמו אחת לחודש. שינוי זה הגביר את יעילות עבודת השדה ושיפר את יכולת הניתוח של ממצאי המחקר. פרוט האתרים, תחנות הדיגום ומיקומן מובא באיור 1 ותואר במפורט בדו"ח המסכם מסי' 123-5/8/96 (גזית ועמיתיו 1996).

**ב. אפיון התנאים האביוטיים**

אפיון התנאים האביוטיים באתרים הנ"ל נמשך והתבצע אחת לחודש תוך שימוש בשיטות לימנולוגיות סטנדרטיות. (APHA, 1990). פרוט המדדים האביוטיים ושיטות הדיגום שנמדדו פורטו בדו"ח מסכם מסי' 123-5/8/96 (גזית ועמיתיו, 1996).

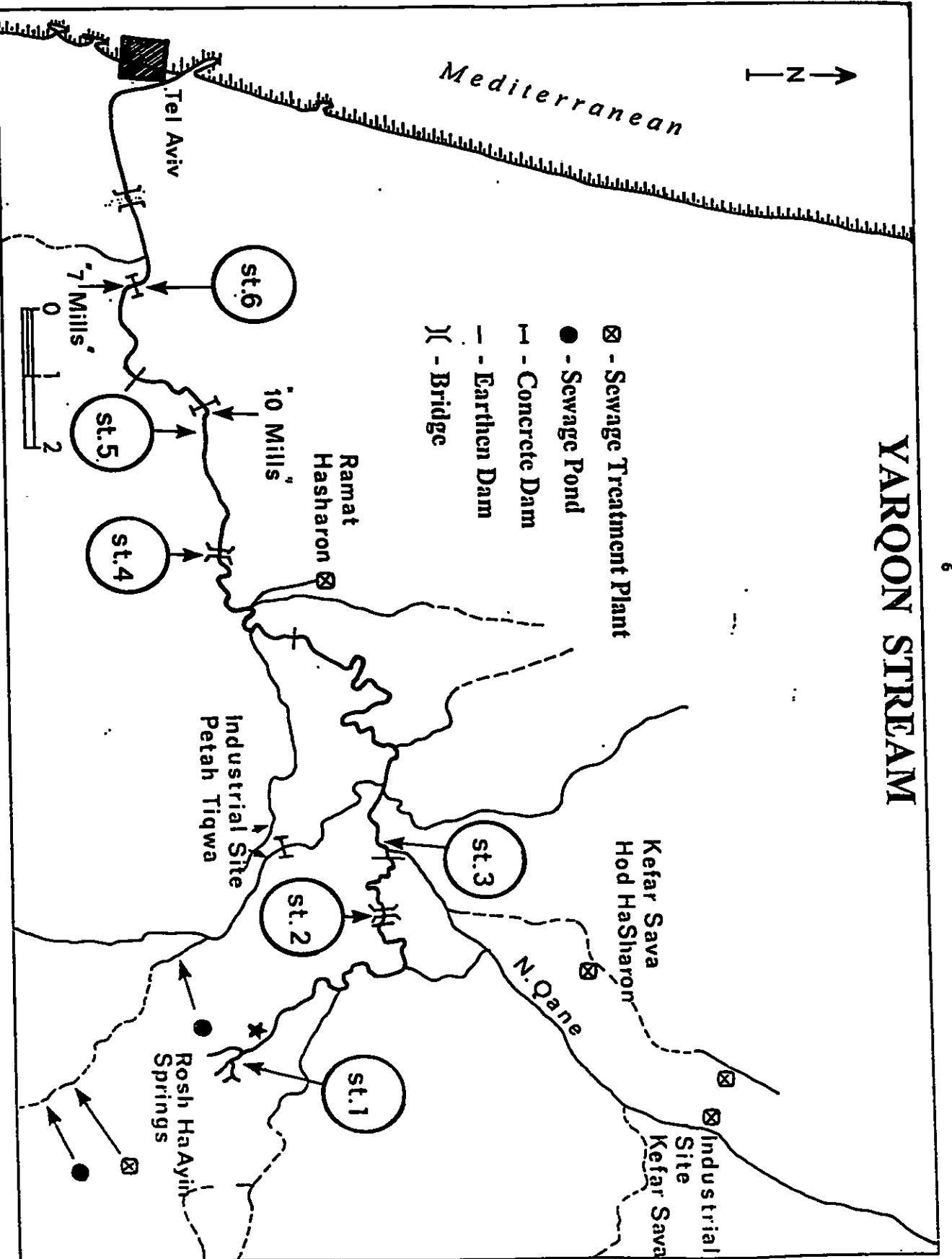
**ג. אפיון אסופת הדגים**

אוכלוסיית הדגים אופיינה בתחנות השונות תוך שימוש בדיג חשמלי באמצעות אלקטרושוקר כמפורט בדו"ח המסכם מסי' 123-5/8/96 (גזית ועמיתיו, 1996). בנוסף לאפיון הטקסונומי ואפיון אורך ומשקל הדגים שנאספו נבחנו מדדים חברתיים ואוכלוסיתיים נוספים ונבדק מצבם הבריאותי של הדגים כמפורט להלן (ראה גם: Bresler and Fishelson, 1994).

**ד. אפיון המצב הבריאותי של הדגים**

מדדים של מצבם הבריאותי של הדגים הקשורים באיכות בית הגידול ובחשיפה למזהמים ובמיוחד סימנים לשינויים גנטיים ופתולוגיים כתוצאה מחשיפה למזהמים נבחנו באופן מפורט בדגי אמנון מצוי *Tilapia zillii* שנאספו בתחנות בירקון הנקי (תחנות 2a, 2b, 3a), המזוהם (תחנות 3b, 3bc, 3c) ובמורד סכר שבע טחנות (תחנה 6b). בסה"ך נבדקו 190 אמנונים מתחנות בירקון הנקי, 59 אמנונים שנאספו בירקון המזוהם ו-56 אמנונים שנאספו במורד סכר שבע טחנות. בנוסף נבדקו קרפיונים מבתי גידול מזוהמים ומשוקמים למחצה וצלופחים, קיפונים ושפמנונים ממורד סכר שבע טחנות. המדדים לאפיון המצב הבריאותי של הדגים מפורטים בטבלה 1.

# YARQON STREAM



איור 1: מפת תחנות הדיגום ממקורות הירקון ומזרע ועד שפך הירקון לים במערב

על מנת לאתר סימנים לפגיעה פתולוגית כתוצאה מחשיפה למזהמים ולהעריך את בריאות הדגים מהתנתות השונות לאורך הירקון ביצענו בדיקה היסטולוגית ותאית מקיפה של הדגים באמצעות שיטת contact fluorescent-microscopy ושיטת contact epi-microscopy. בנוסף התבצעו בדיקות ברמה הכרומוזומאלית וברמה המולקולארית כמפורט להלן:

א. מדד אחד שנבחר כמאפיין את מצבם הבריאותי של הדגים הוא רמת הפגיעה והשבירה הכרומוזומאלית. על מנת להעריך מדד זה נבחנו גרעיני אריתרוציטים אינדיבידואליים ע"י שימוש באלקטרודה פלואורוצנטית מיוחדת ל-DNA (fluorescent intercalating probe), אקרידין אורנג' (acridine orange) ומיקרופלואורומטריה. תדירות האריתרוציטים הפגועים (micronucleated erythrocytes) חושבה תוך שימוש במיקרוסקופיה פלואורוצנטית (fluorescent microscopy).

ב. מדד אחר שנבחר הוא השונות בכמות ה-DNA (clastrogenicity). בחינה זו מסתמכת על המידע הקיים שסינתזת ה-DNA באריתרוציטים מעוקבת כתוצאה מחשיפה למזהמים. כמות ה-DNA שבגרעין אריתרוציטים נורמאליים היא בדרך כלל יציבה ומייצגת סט דיפלואידי של כרומוזומים. פגיעה כרומוזומאלית בתאי האריתרובלסטים הנגרמת על ידי חשיפה למזהמים גורמת לווראיביליות ניכרת בכמות ה-DNA בגרעינים אינדיבידואלים ובהתאם עולה ערך קואופוצינט השונות (CV).

טבלה 1: פרוט המדדים והשיטות ששימשו להערכת המצב הבריאותי של דגים מבתי גידול שונים בנחל הירקון

PARAMETER	METHOD
Cell and tissue respiration: Metabolic state of mitochondria in living cells and tissues <i>in situ</i>	Microfluorometry of inherent blue and green fluorescence of NADH and FAD
DNA, RNA, proteins and lipids content and dynamics	Quantitative fluorescent cytochemistry
Enzyme activity in living cells <i>in situ</i> a. non-specific esterases, b. detoxifying enzymes, c. marker enzymes	Fluorogenic substrates, specific inhibitors and microfluorometry Determination of main enzyme kinetic parameters: $K_M$ , $K_i$ and $V_{max}$
Permeability of plasma membranes, epithelial layers and histohaematic barriers	Fluorescent markers of permeability and microfluorometry
Carrier-mediated transport systems for xenobiotic elimination: System of active transport of organic acids (SATO) and multixenobiotic resistance (MXR) transporter	Fluorescent substrates, specific inhibitors and microfluorometry Determination of main transport kinetic parameters: $K_M$ , $K_i$ and $V_{max}$
Xenobiotic-binding proteins	Fluorescent analogs of ligands and microfluorometry
Intra- and extracellular depot for xenobiotic accumulation and storage	Fluorescent analogs of xenobiotics and microfluorometry
State of lysosomes and cell viability	Vital test with acridine orange or neutral red and microfluorometry
Functional state of nuclear chromatin and cell cycle phases	Staining with acridine orange and microfluorometry at 530 and > 590 nm
Complete pathological and histopathological examination	Section and macroscopic examination. Organo-somatic index Staining of tissue blocks and contact fluorescent and epi-microscopy
Cytogenetic examination	Functional activity of nuclear chromatin, one- or two-stranded DNA break, apoptosis, micronucleus test, anaphase chromosome aberrations

אבחון נזקי שבירה של גדילי ה- מתאפשר ע"י בחינת תגובת הצביעה בצבע פלורוצנטי אינדיקטורי (lacidine orange). ב-DNA אינטקטי (דו-גדילי) הצבע הוא ירוק ואילו בגדיל שקיימת בו שבירה, ולכן הפרדה לגדיל בודד, הצביעה היא באדום. האבחון המיקרופלורומטרי מבוצע בהתאם בשני אורכי הגל הנ"ל.

הפרקציה של ה-DNA החד-גדילי ( $F_{os}$ ) מבטאת ע"י הנוסחה:

$F_{os} = OS / (OS + DS)$  כאשר OS הוא רמת הפלואורוסצנסיה של ה-DNA החד-גדילי ו-DS הוא רמת הפלואורוסצנסיה של ה-DNA הדו-גדילי. הפרקציה של ה-DNA הדו-גדילי ( $F_{ds}$ ) מבטאת ע"י הנוסחה:  $F_{ds} = DS / (OS + DS)$ . המספר היחסי הממוצע ( $n$ ) של פגיעה המיוחסת לחשיפה ממזהמים ב-DNA ליחידות בלתי מפותלות יכולה להיות מבטאת ע"י הנוסחה:  $n = [(-\ln F_{ds\ pol}) : (-\ln F_{ds\ clean})] - 1$ .

### ה. ניתוח נתונים סטטיסטי

ניתוח סטטיסטי של הנתונים האביוטיים והביוטיים נעשה תוך שימוש בתוכנות הסטטיסטיות Systat for Windows (1992) ו-Statistica (1996). מובהקות סטטיסטית נקבעה ברמה של  $P < 0.05$

**אפיון בית הגידול:** בנוסף למדדים תיאוריים של התנאים האביוטיים (טווח, חציון, ממוצע וסטית תקן) ומבחני שונות פרמטריים (ANOVA) אופיינה הדינמיקה העונתית של התנאים האביוטיים ע"י ביצוע אנליזה של סדרות זמן (ARIMA model; Diggle, 1990; Lathrop, and Carpenter 1992) עם קפיצות זמן (time lag) של חודש אחד (101 model).

סדרות זמן מתארות בדרך כלל שינויים בזמן של נתונים סביבתיים סטוכסטיים והן ביטוי של שינויים הנגרמים מגורמים מקומיים המאפיינים את האתר ממנו נילקחה הדגימה ושל שינויים שמקורם בגורמים עונתיים. לגורמים אלו מתווספים בדרך כלל גם גורמי טעות כגון: אוטוקורלציה (autocorrelation) הנובעת מכך שביטוי רציף של מדידות בדידות וחוזרות בזמן גורם ליצירת תלות מלאכותית בין המדידות (Diggle, 1990), טעויות מכך שמדידות חוזרות בתחנות קבועות אינן אקראיות ולפיכך אינן חזרות אמיתיות (Hurlbert, 1984; pseudo-replication) וטעויות שמקורם בגורמים שאריתיים נוספים (רעש לבן - white noise). הצטברותם של גורמי הטעות הללו עלולה להוביל להסקת מסקנות מוטעות במיוחד כאשר בדעתנו לאפיין דגמי השתנות עם הזמן על מנת לבצע תחזיות לעתיד. מטרתה של האנליזה של סדרות הזמן להפריד בין הגורמים האמיתיים לבין גורמי הטעות, לנקות מנתוני השטח את האוטוקורלציה ואת הגורמים השאריתיים ולסייע בזיהוי הדגמים האמיתיים והדינמיקה העונתית של הנתונים (Jassby and Powell, 1990).

על מנת להעריך את ההשפעה המשולבת של תנאי איכות המים על בתי הגידול השונים נותחו ממצאי איכות המים תוך שימוש בשתי טכניקות של אנליזה רב משתנית. השיטה הראשונה PCA (Bernstein et al., 1988 ; Principal Component Analysis) בונה בהסתמך על השונות בנתוני איכות המים וקטורים הממקמים את התחנות השונות במערכת צירים ליניארית. התרומה היחסית באחוזים של כל ציר להסברת השונות בין התחנות השונות (Eigenvalues Variance Prop.) משתרעת בין 0 ל-100 (בדומה ל- $r^2$  ברגרסיה) ורמת המובהקות של האנליזה נבחנת סטטיסטית ע"י מבחן שונות אפרמטרי (Bartlett's Chi Square). השיטה הרב משתנית השנייה (monotonic Multi MDS) (Everitt and Dunn, 1991 ; Dimensional Scaling) ממקמת את תחנות הדיגום השונות במרחב רב מימדי על סמך המרחק האויקלידי בינהן המחושב על פי השונות בנתוני איכות המים. בנוסף לאפשרות להכליל בשיטה זו מספר רב של משתנים ללא תלות באופים יתרונה של שיטה זו בכך שהיא אינה מתבססת על הנחות יסוד כגון אקראיות בדיגום והתפלגות נורמאלית הנדרשות באנליזת שונות קונבנציונאלית (ANOVA) ולכן היא חזקה ביותר. האינדקטורים הסביבתיים ששמשו באנליזת ה-MDS היו ערכי המינימום, המקסימום והחציון של המדדים הבאים: טמפרטורה, מוליכות חשמלית, צחי"ב, חמצן מומס, עכירות ועומק סקי (שקיפות המים) שנמדדו בתחנות הדיגום השונות במהלך כל תקופת המחקר.

**אסופת הדגים:** הנתונים על מבנה חברת הדגים (עושר מינים, שפיעות פרטים, ביומסה) בתחנות השונות לאורך הירקון נבחנו במבחן שונות פרמטרי (ANOVA). באופן דומה נבחנה השונות במדדים הני"ל בתוך כל קטע נחל (נקי, מזוהם) בנפרד. כמו כן נותח הרכב אסופת הדגים בתחנות השונות סטטיסטית (השכיחות היחסית הממוצעת של מיני הדגים השונים) בשתי השיטות השונות של האנליזה רב משתנית שתוארו לעיל (אנליזת PCA ; Bernstein et al., 1988 ; ואנליזת MDS ; Everitt and Dunn, 1991). שיטות אנליזה אלו מקובלות בשנים האחרונות כמתקדמות ביותר לניתוח הקשר בין בתי גידול אקוטיים לבין אסופת הדגים בהם (למשל: Paller, 1994 ; Maret et al., 1997 ; Scott and Hall, 1997). ממצאי אנליזת ה-MDS של אסופת נדגים הושלכו (superimposing) על ממצאי האנליזה של נתוני איכות המים ונבחנה איכותית מידת הדמיון בין ממצאי שתי האנליזות.

על מנת להעריך את מידת ההשפעה שיש לאיכות בית הגידול על אוכלוסיות הדגים השונות בירקון נבחנה מידת ההטרוגניות בתפוצת כל מין ומין בתחנות שונות לאורך נחל הירקון במבחן  $\chi^2$  (single classification test for goodness of fit). השפעת איכות בית הגידול על מבנה הגדלים (size structure) באוכלוסייה נבחנה על ידי בחינת הסטייה של התפלגות הגדלים באוכלוסייה מהתפלגות נורמאלית.

**תוצאות**

הדו"ח הנוכחי מסכם את ממצאי המחקר בתקופה שבין אוגוסט 1996 לספטמבר 1997 וכולל גם ניתוח כלל הנתונים שנאספו מאז תחילת מחקרנו בירקון באפריל 1994. ממצאים נוספים שנאספו בשנים 1994-1196 נכללו בדו"ח מסכם מס' 123-5/8/96 (גזית ועמיתיו, 1996) ובדו"ח ביניים שהוגש בדצמבר 1996.

### א. אפיון הדינמיקה המרחבית והעונתית של התנאים האביוטיים בבתי גידול שונים בירקון.

#### 1. טמפרטורת המים

אנליזה ראשונית של נתוני טמפרטורת המים בתחנות שונות לאורך הירקון (בכל תקופת המחקר) מצביעה על דמיון רב במשרעת הטמפרטורות, בערך החציון, בטמפרטורה הממוצעת ובסטיית התקן של הטמפרטורות בתחנות השונות (איור 2a). עליה מסוימת נרשמה רק במורד סכר שבע טחנות (תחנה 6b) אך עליה זו לא הייתה מובהקת סטטיסטית (טבלה 2).

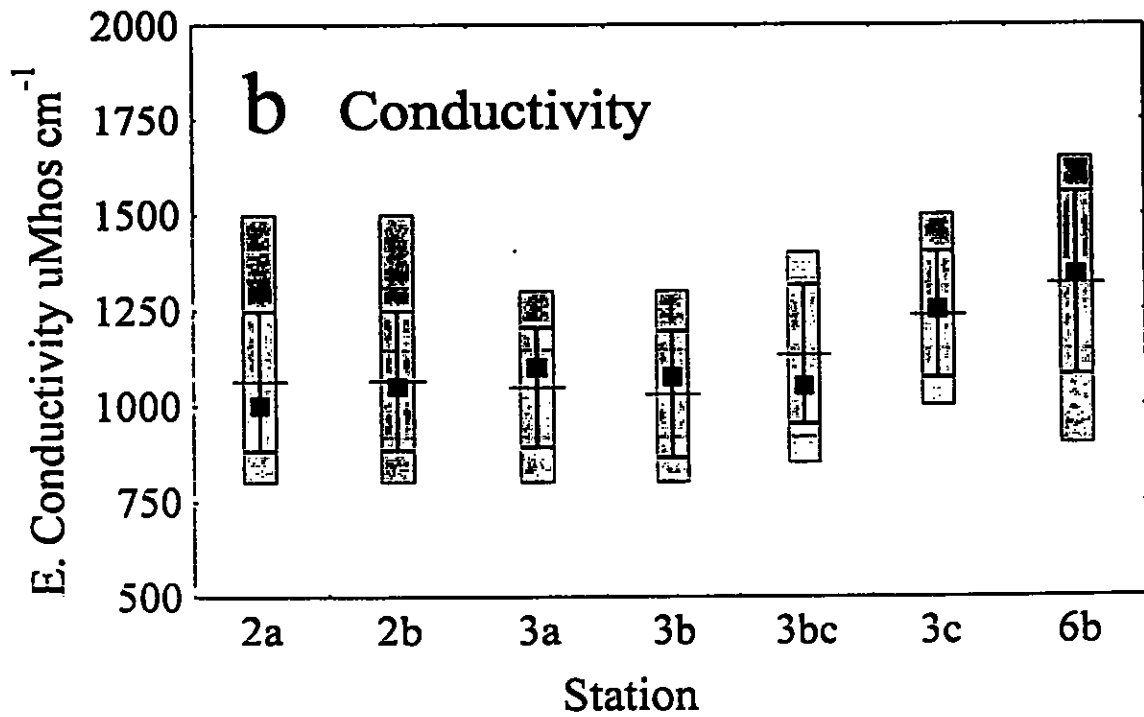
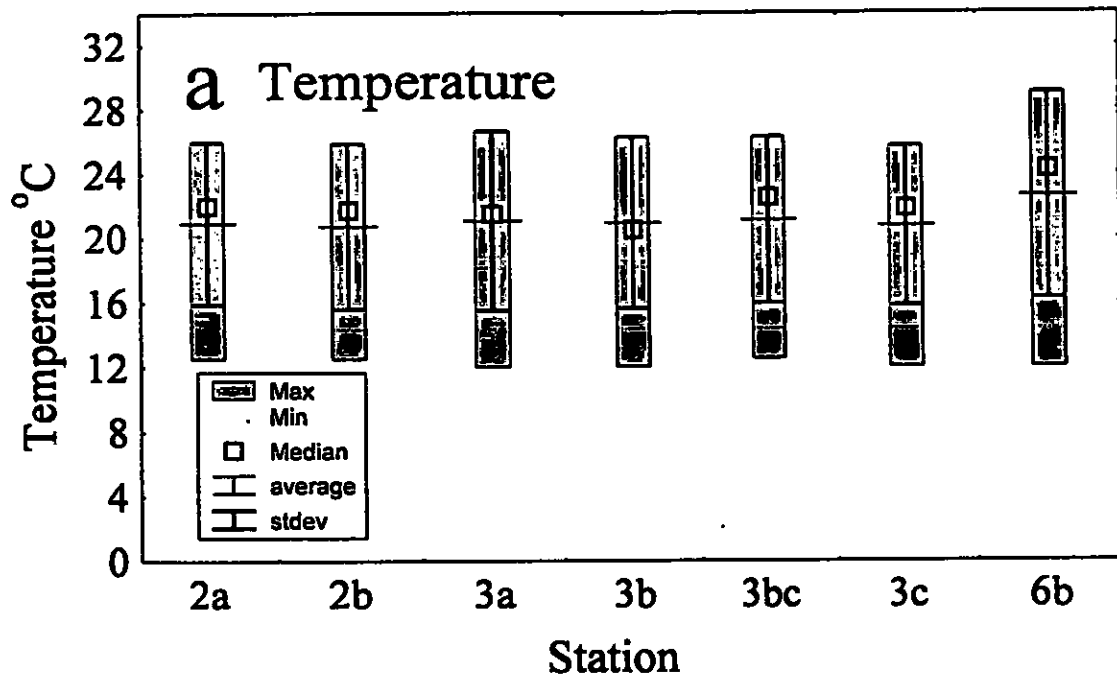
טבלה 2: מאפיינים סטטיסטיים של השונות בין תחנות שונות לאורך נחל הירקון של טמפרטורת המים, המוליכות החשמלית, החמצן המומס והעומס האורגני.

Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	P
Temperature	50.9	6	8.48	3463.8	119	29.1	0.29	0.94
Conductivity	1078241.0	6	179706.8	3146759.9	92	34203.9	5.25	0.00011
D. Oxygen	170.5	6	28.4	2734.0	118	23.2	1.33	0.30
BOD	1920.1	6	3270.0	20877.9	103	202.7	16.1	<0.00001

בחינת הדגם השנתי של השתנות הטמפרטורה בתחנות השונות (1996-1997) מצביעה כצפוי על דגם עונתי מובהק של מקסימום בחודשי הקיץ ומינימום בחודשי החורף (איור 3). ואולם, אנליזת ה-ARIMA שביצענו מצביעה על רמה גבוהה של אוטוקורלציה בנתונים (איור 4a). גם לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA על סדרת נתוני הטמפרטורה והפחתת האוטוקורלציה (איור 4b) נשמר הדגם העונתי של נתוני טמפרטורת המים (איור 5).

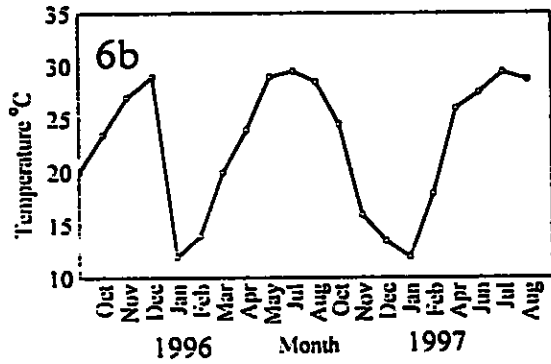
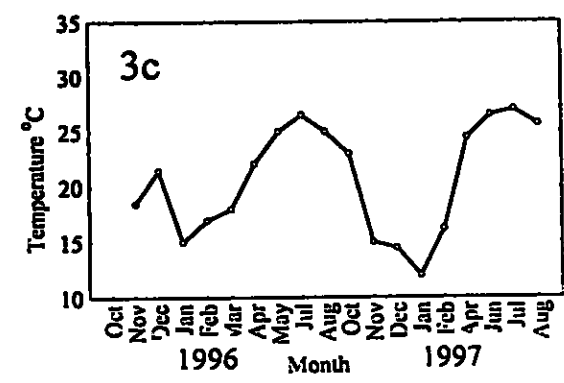
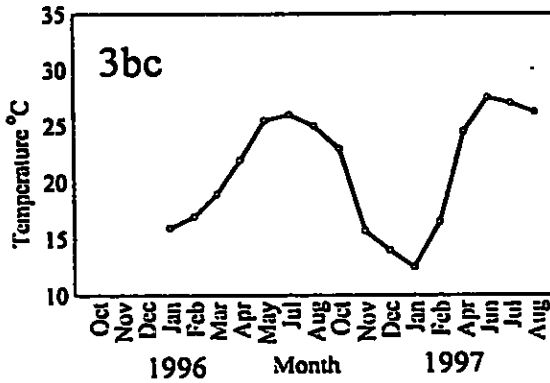
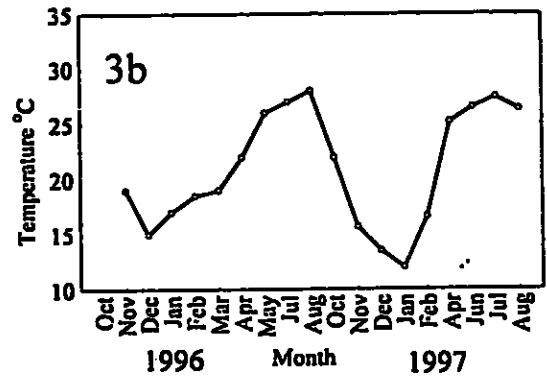
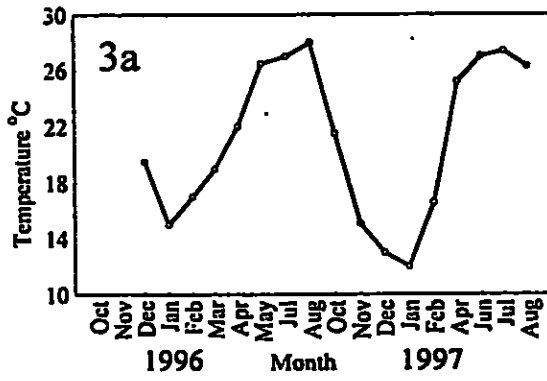
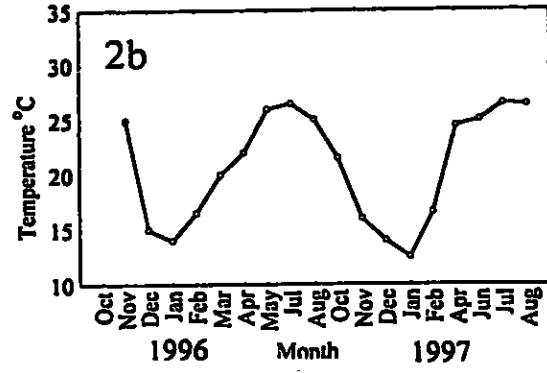
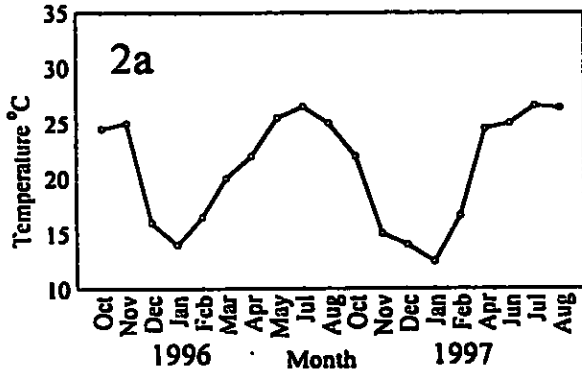
#### 2. מוליכות חשמלית

בקטע הירקון הנקי הייתה המוליכות החשמלית של המים (בתקופת המחקר) דומה ( $P=0.959$ ), ונעה בין ערכים של  $800 \mu\text{Moh cm}^{-1}$  ב- $20^{\circ}\text{C}$  בחורף ל- $1520 \mu\text{Moh cm}^{-1}$  ב- $20^{\circ}\text{C}$  בקיץ. בתחנות המזוהמות (בעיקר בתחנות 3c ו-6b) עלו הערך התחתון, ערך החציון הממוצע וסטיית התקן של המוליכות החשמלית (איור 2b). ההבדל במוליכות החשמלית בין התחנות השונות לאורך כל הירקון היה מובהק (טבלה 2). הבדל זה נבע מעליות במוליכות החשמלית בשני אתרים: האחד בכניסת הזיהום במפגש נחל הירקון עם נחל קנה והשניה במורד סכר שבע טחנות. הערכים הגבוהים יותר של המוליכות החשמלית



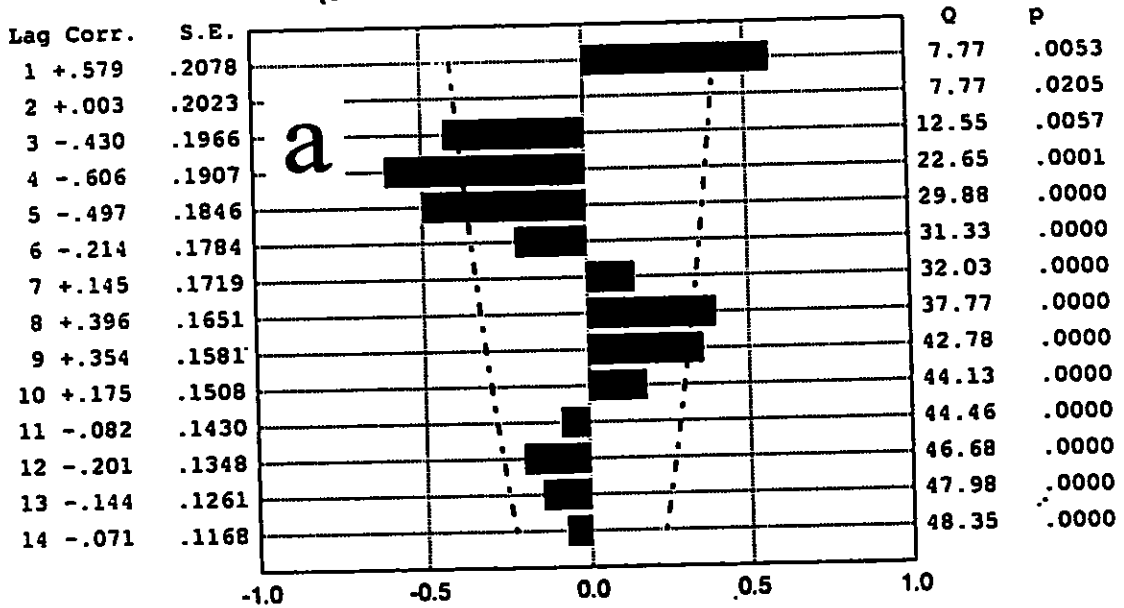
איור 2: טווח (Max Min), חציון, ממוצע וסטיית תקן (stdev) של ערכי הטמפרטורה (a) והמוליכות (b) שנמדדו בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997



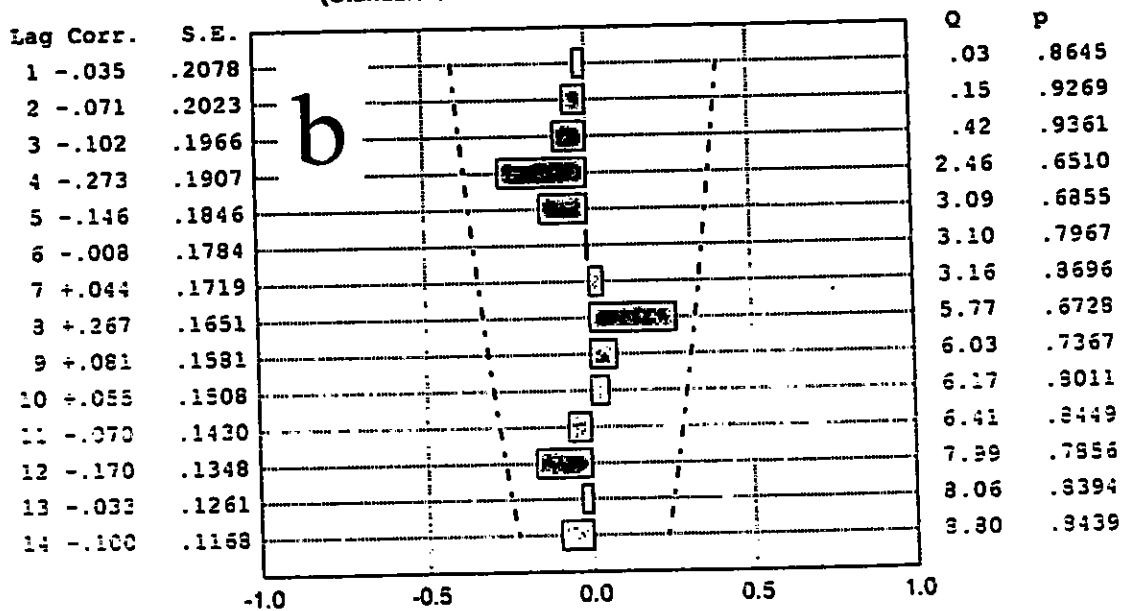


איור 3 : השתנות הטמפרטורה בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997.

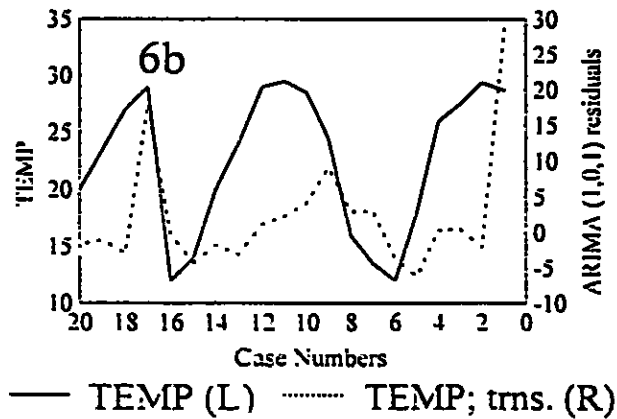
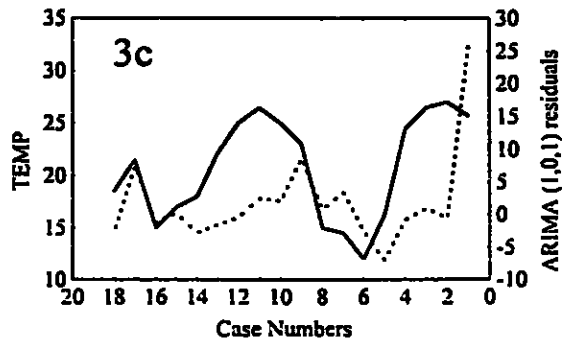
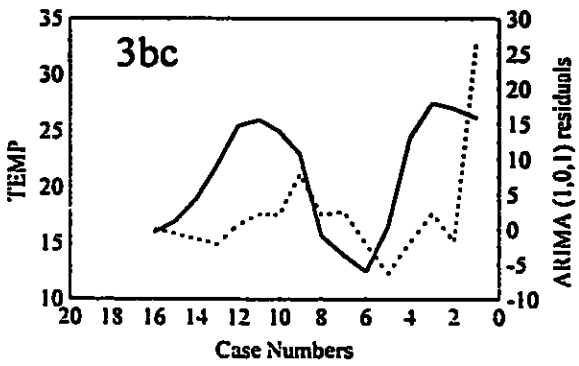
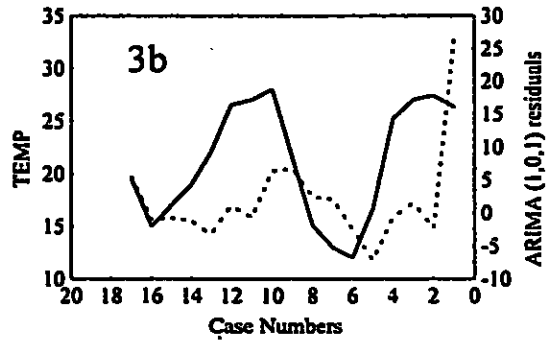
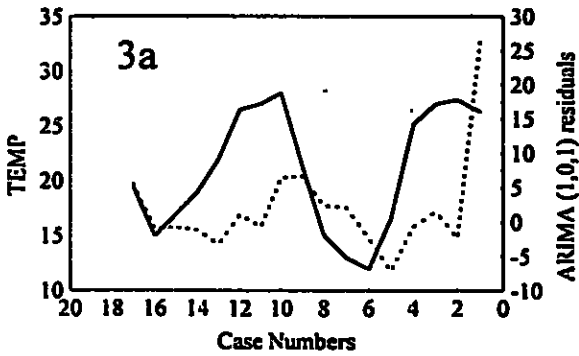
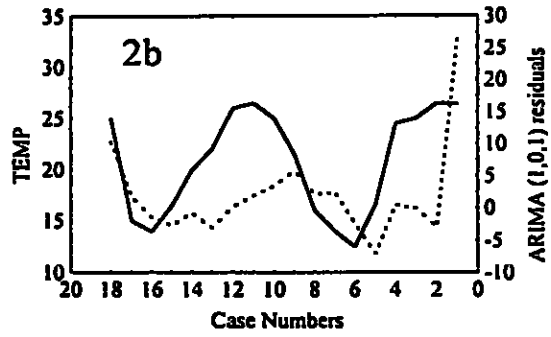
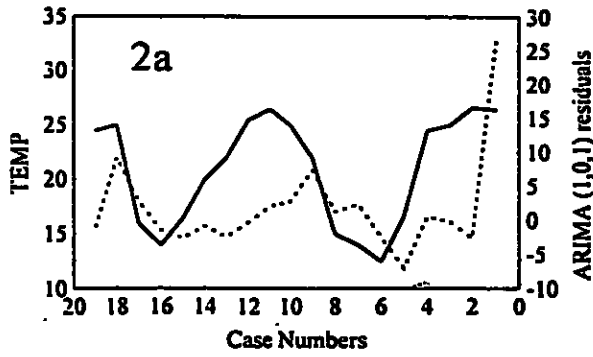
Autocorrelation Function  
TEMP  
(Standard errors are white-noise estimates)



Autocorrelation Function  
TEMP : ARIMA (1,0,1) residuals;  
(Standard errors are white-noise estimates)



איור 4: רמת האוטוקורלציה בנתוני הטמפרטורה מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני (a) ואחרי (b) הפעלת מודל ה-ARIMA



איור 5: דינמיקה עונתית מדומה (L) ואמיתית (R); לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA של נתוני הטמפרטורה מתחנות שונות לאורך הירקון.

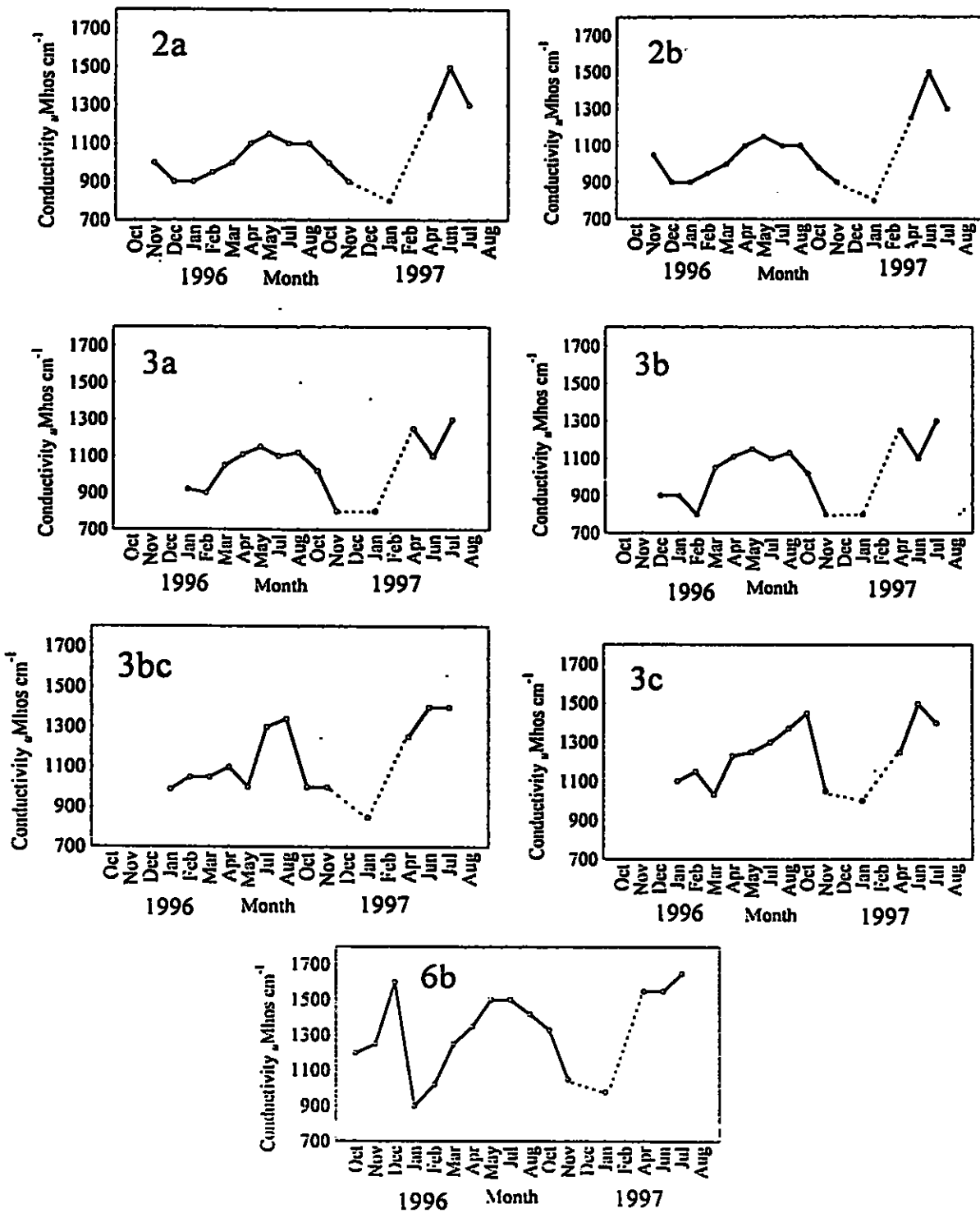
במורד סכר שבע טחנות (תחנה b6) יכולים להיות מוסברים על ידי תרומה מסוימת של מלח ממי ים החודרים עד לאתר המפגש של מים מתוקים ומלוחים במורד סכר שבע טחנות. לעומת זאת העלייה המובהקת במוליכות החשמלית בתחנה 3c הנמצאת בסמוך לכניסת הזיהום מנחל קנה מרמזת על כניסת מים עשירים יותר במלחים שמקורם בשפכים החודרים לירקון מנחל קנה. כצפוי, הפעלת מתקן הטיפול בשפכים (מאי 1996) לא שינתה את תכולת המלחים בשפכים הנכנסים לירקון דרך נחל קנה ולא היה הבדל בערכי המוליכות בתחנת המפגש ירקון קנה (תחנה 3c) בעשרת החודשים שלפני ( $\bar{X}=1280\pm 161$ ) ואחרי ( $\bar{X}=1276\pm 252$ ) הפעלת מכון הטיהור החדש ( $t=0.1009, P=0.92$ ).

בחינת הדגם השנתי של השתנות המוליכות החשמלית של המים בתחנות השונות (בשנתיים האחרונות) מצביעה גם היא על דגם עונתי מובהק של מקסימום בחודשי הקיץ ומינימום בחודשי החורף, אך בהשוואה לטמפרטורת המים הדגם העונתי של המוליכות בולט פחות וניכרות גם תנודות תוך עונתיות (איור 6). גם בנתוני המוליכות החשמלית נמצאה אוטוקורלציה רבה (איור 7a). הפחתתה ע"י מודל ה-ARIMA הביאה להעלמות כמעט מוחלטת של הדגם העונתי של נתוני המוליכות בירקון הנקי בעוד שהדגם העונתי בירקון המזוהם נשאר (איור 8).

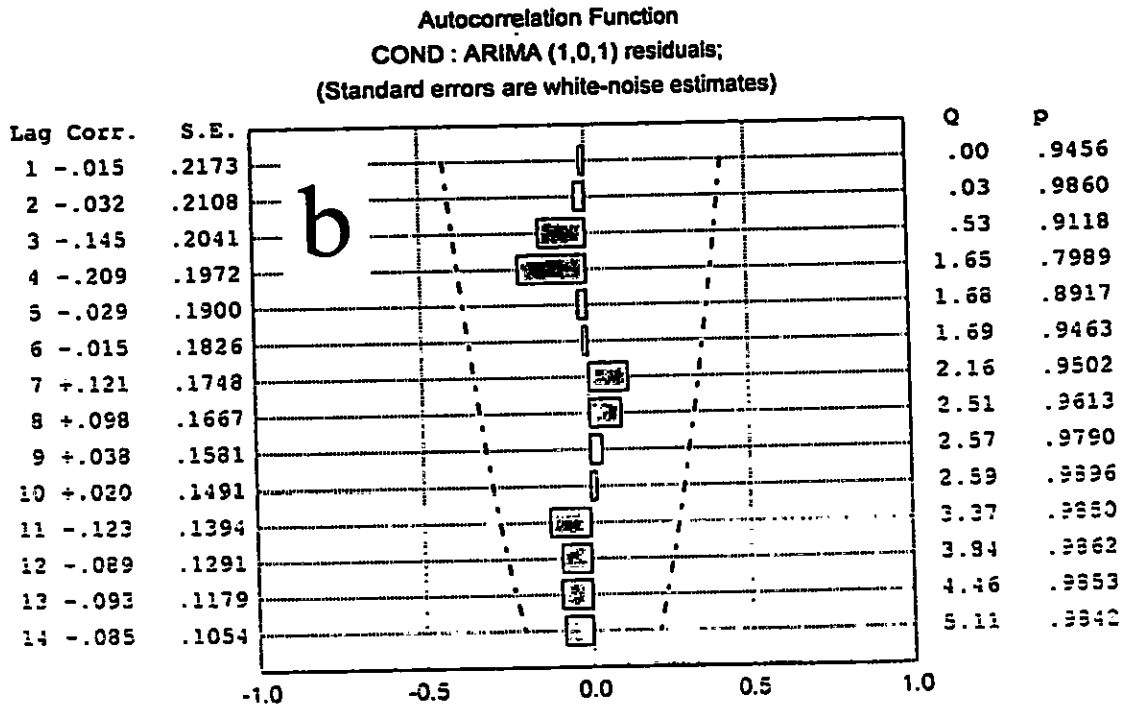
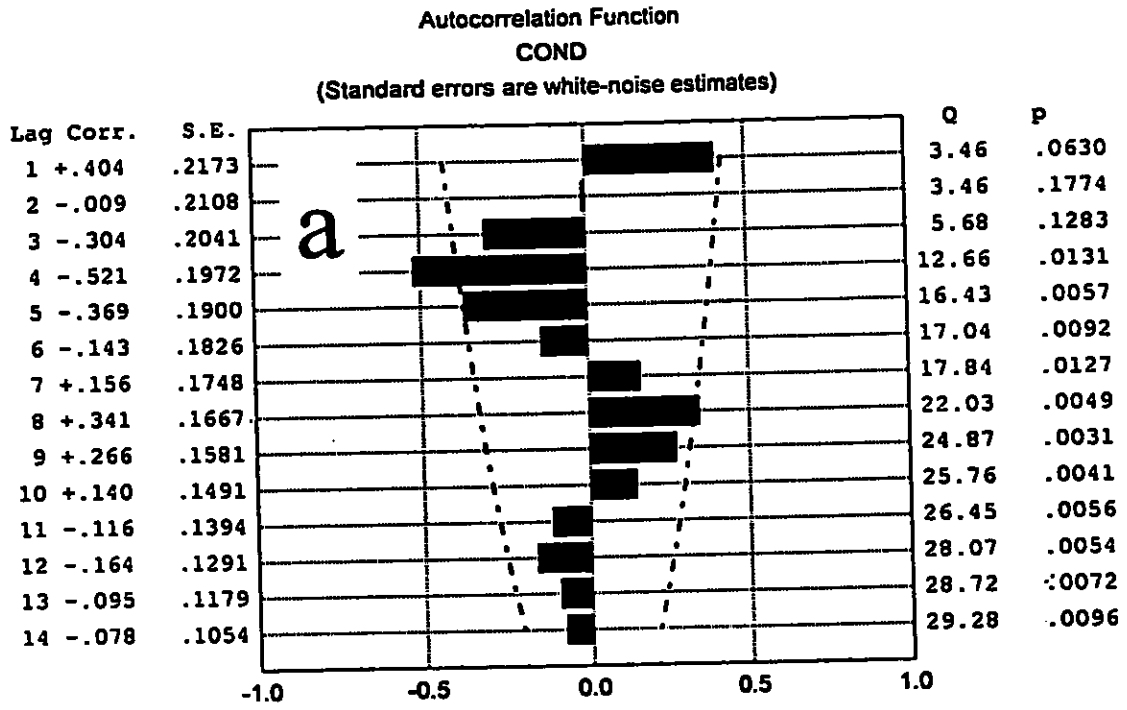
### 3. חמצן מומס

בארבע שנות המחקר לא נמצאו בנחל הירקון רמות חמצן נמוכות שאינן מאפשרות קיום בעלי חיים. בדרך כלל נע טווח ריכוזי החמצן המומס בין 3.5 ל-9 מ"ג לליטר (איור 9a). ריכוזי החמצן הנמוכים ביותר (2.0-3.5 מ"ג לליטר) נרשמו בתחנה הסמוכה לכניסת השפכים מנחל קנה (3c) בשלושת החודשים שלאחר האירוע השטפוני הגדול שהתרחש בנחל קנה בחורף 1996, אך בדרך כלל היה ריכוז החמצן בתחנה זו גבוה יותר. ההבדל בריכוזי החמצן בין כל התחנות השונות לאורך הירקון לא היה מובהק (טבלה 2). באופן דומה, ריכוזי החמצן המומס בתחנות הדיגום הנמצאות בקטע הנחל המזוהם היו דומים ( $F=0.655$ ,  $P=0.524$ ,  $SS=2622.5$ ,  $df=50$ ). לעומת זאת בירקון הנקי היו ריכוזי החמצן בתחנות שבמורד מפלים (2b; 3b) גבוהים באופן מובהק בהשוואה לתחנות במעלה המפלים (2a; 3a). ראוי לציין כי כל מדידות החמצן נערכו במהלך היום ולפיכך אין להסיק מהן כי לא קיים בירקון מצב של חוסר בחמצן בשעות הלילה או בשעות הבוקר המוקדמות.

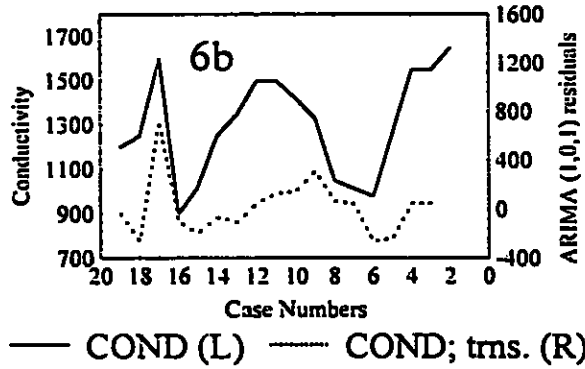
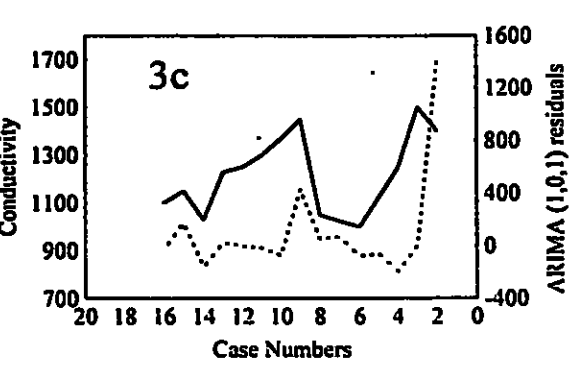
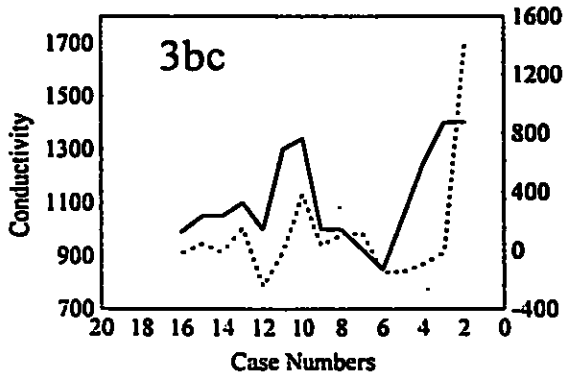
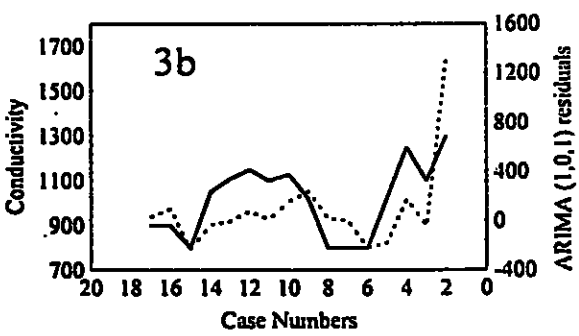
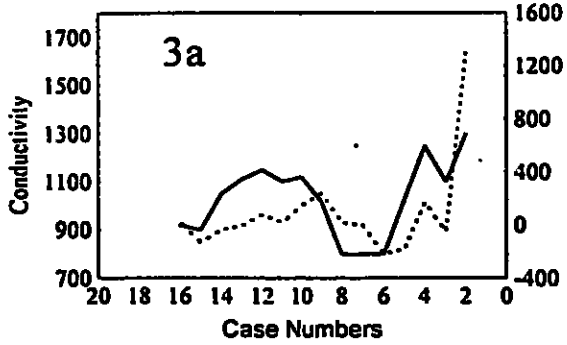
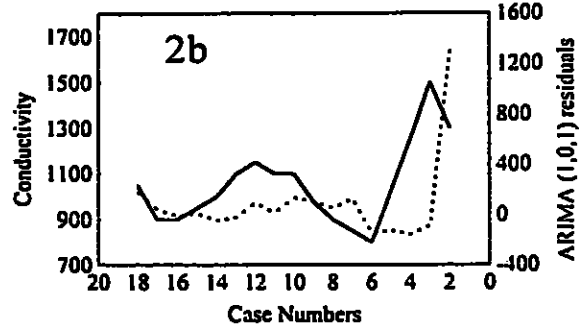
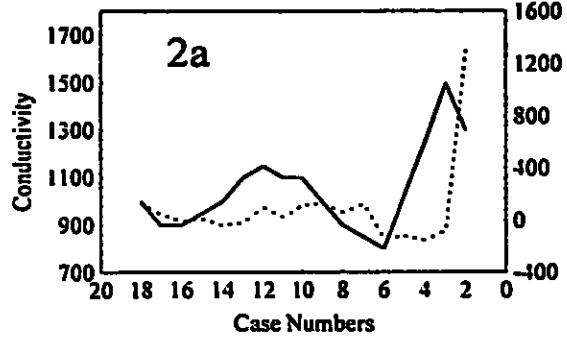
בבחינת הדינמיקה העונתית של ריכוזי החמצן בירקון ניתן להבחין בדגם עונתי של מקסימום חורפי ומינימום קיצי בקטע הירקון הנקי שמעל סכר מפגש ירקון קנה (2a; 2b; 3a, איור 10). הדגם העונתי נעלם בתחנות הממוקמות ממערב לסכר מפגש ירקון קנה (3b; 3bc; 3c, איור 10) המראות תנודות מרובות בריכוזי החמצן שלהן אך שב ומופיע במורד סכר שבע טחנות (6b, איור 10). גם בנתוני ריכוזי החמצן נמצאה אוטוקורלציה (איור 11). הסרתה גרמה להעלמות המודל העונתי של החמצן המומס בירקון הנקי ולא סייעה בהדגשת מודל עונתי בירקון המזוהם (איור 12). מכך ניתן להסיק כי הדגם העונתי של ריכוזי החמצן המומס, שנצפה בירקון הנקי, אינו בהכרח מובהק והוא יכול להיות תוצאה של גורמים מקומיים שאינם תלויים בזמן.



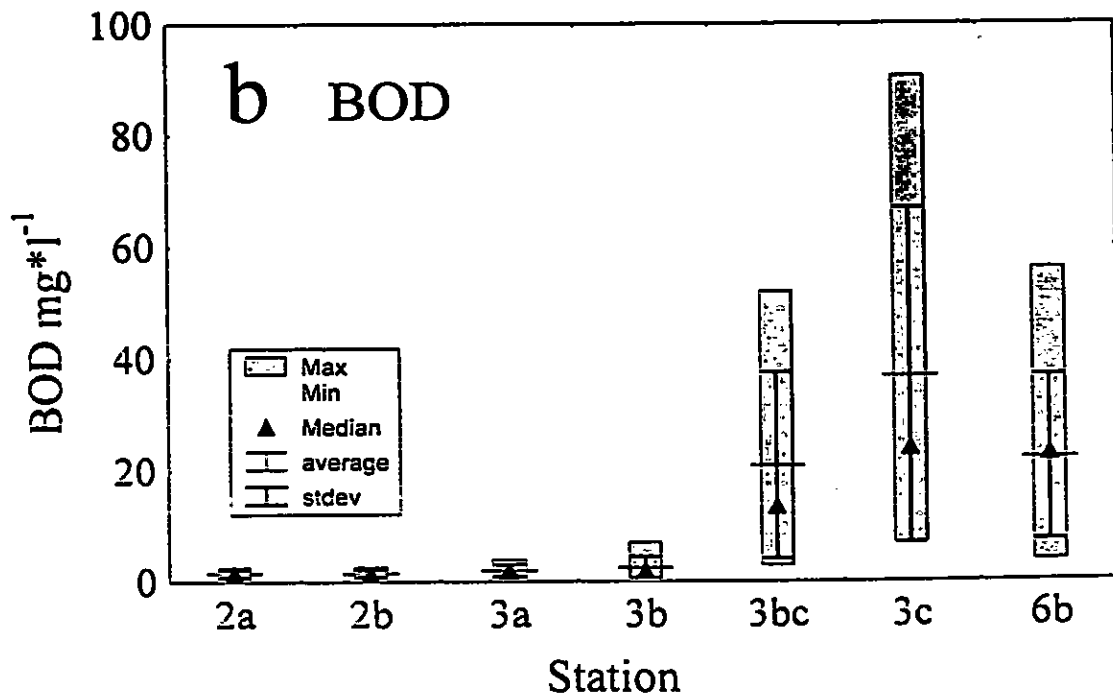
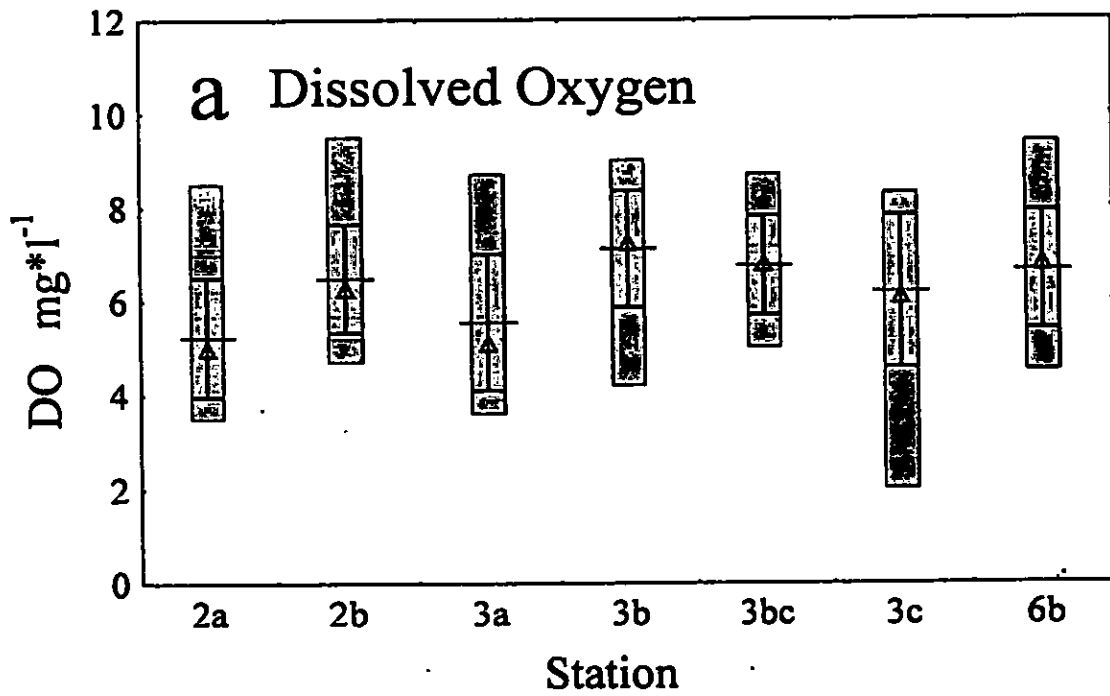
איור 6 : השתנות המוליכות החשמלית בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997.



איור 7: רמת האוטוקורלציה בנתוני הטמפרטורה מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997  
לפני (a) ואחרי (b) הפעלת מודל ה-ARIMA



איור 8: דינמיקה עונתית מדומה (L) ואמיתית (R); לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA של נתוני המוליכות החשמלית מתחנות שונות לאורך הירקון.



איור 9: טווח (Max Min), חציון, ממוצע וסטיית תקן (stdev) של ריכוזי חמצן מומס (a) ועומס אורגני (b) שנמדדו בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997



בחינת השפעת הפעלת מכון הטיהור החדש לשפכי הוד השרון וכפר סבא (מאי 1996) על ריכוזי החמצן במורד מפגש קנה ירקון (האזור המזוהם) מלמדת כי ב-18 החודשים מאז הפעלת מכון הטיהור היו ריכוזי החמצן בתחנה זו גבוהים באופן מובהק בהשוואה לריכוזי החמצן בקטע נחל זה בשנתיים שלפני הפעלת מכון הטיהור ( $t=2.26, P=0.035$ ). העלייה בריכוזי החמצן לאחר הפעלת מכון הטיהור הייתה מובהקת למרות שבנתוני התקופה שלאחר הפעלת המכון ששימשו לאנליזה הנ"ל נכללו גם ריכוזי חמצן נמוכים מאד שנמדדו בקטע נחל זה בעקבות שטפונות החורף החזקים שאירעו בנחל קנה בחורף 1997.

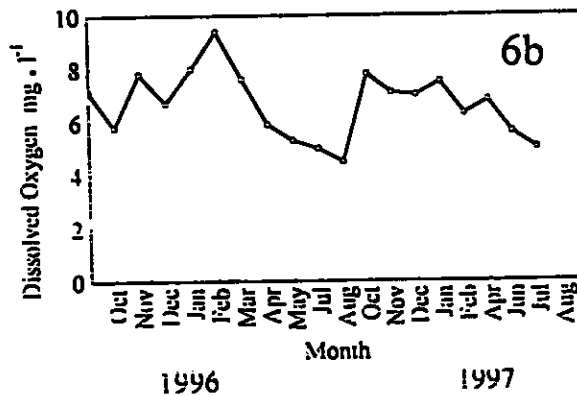
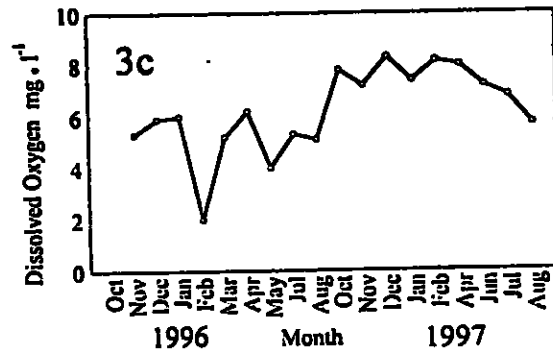
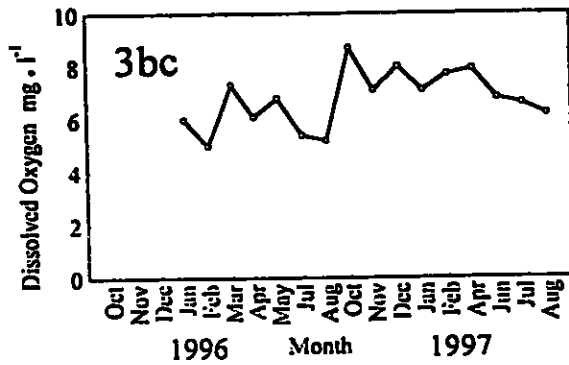
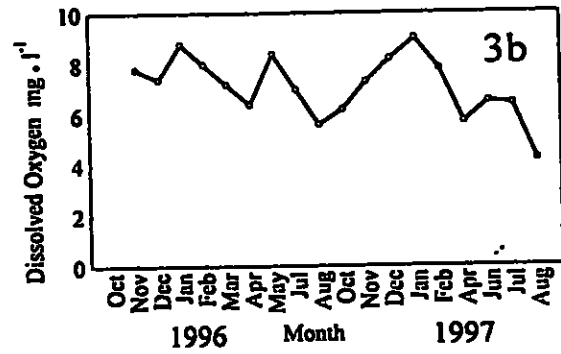
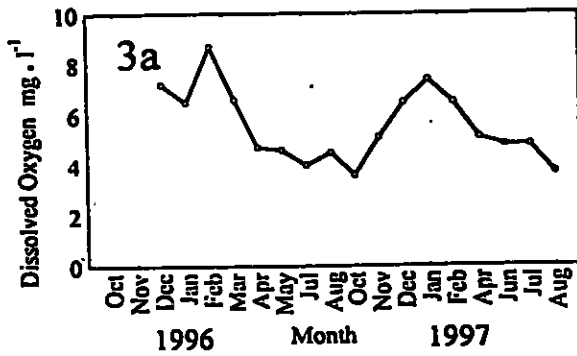
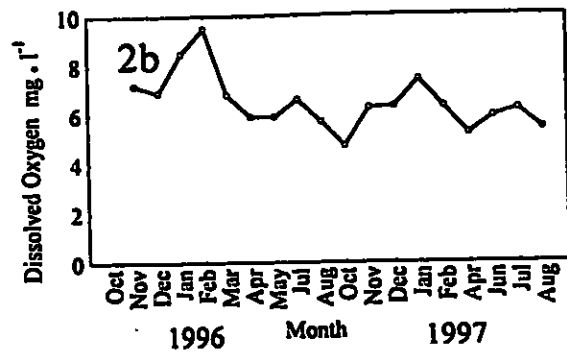
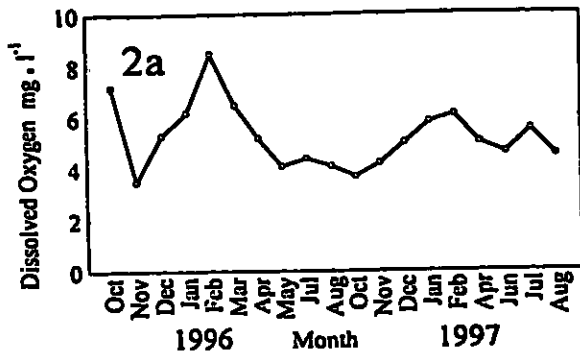
#### 4. עומס אורגני

במשך כל שנות המחקר היו ערכי העומס האורגני שנמדדו בתחנות שבקטע הירקון הנקי נמוכים באופן מובהק בהשוואה לערכים שנמדדו בתחנות שבקטע הנחל המזוהם ובמורד סכר שבע טחנות (טבלה 2). בתחנות שלפני מפגש הנחלים ירקון וקנה היו ערכי הצחי"ב המכסימאליים נמוכים תמיד מ-10 מ"ג חמצן לליטר בעוד שבירקון המזוהם נמדדו ערכי צחי"ב גבוהים מ-50 מ"ג לליטר (איור 9b). יחד עם זאת, היו גם מקרים בודדים בהם רמת העומס האורגני בתחנות בירקון המזוהם היו נמוכים מ-10 מ"ג לליטר. עוד עולה מניתוח הנתונים, שערכי החציון בתחנות בירקון המזוהם היו נמוכים מערכי הממוצע באותן תחנות. מכאן שאירועים של רמות גבוהות מאד של חומר אורגני הם ככל הנראה נדירים יחסית. העדויות שבידינו מלמדות כי אירועים אלו מתרחשים בעיקר בעקבות שטפונות חורף המסיעים רמות גבוהות של זיהום לאורך הנחל. מאידך אירועים חריגים אלו הם המגדירים את מגבלות המערכת.

בתחנות הנמצאות בירקון הנקי קשה להצביע על דגם עונתי מובהק בולט. לעומת זאת, בתחנות שבקטע הירקון המזוהם ניתן להבחין בדגם עונתי של ערכים גבוהים בחורף וערכים נמוכים בהרבה בקיץ (איור 13). למרות שקשה להצביע על דגם עונתי חד משמעי בתחנות שבירקון הנקי, ניתן להגיד כי באופן כללי גם בתחנות אלו היו ערכי הצחי"ב החורפיים גבוהים יחסית בהשוואה לערכי הקיץ.

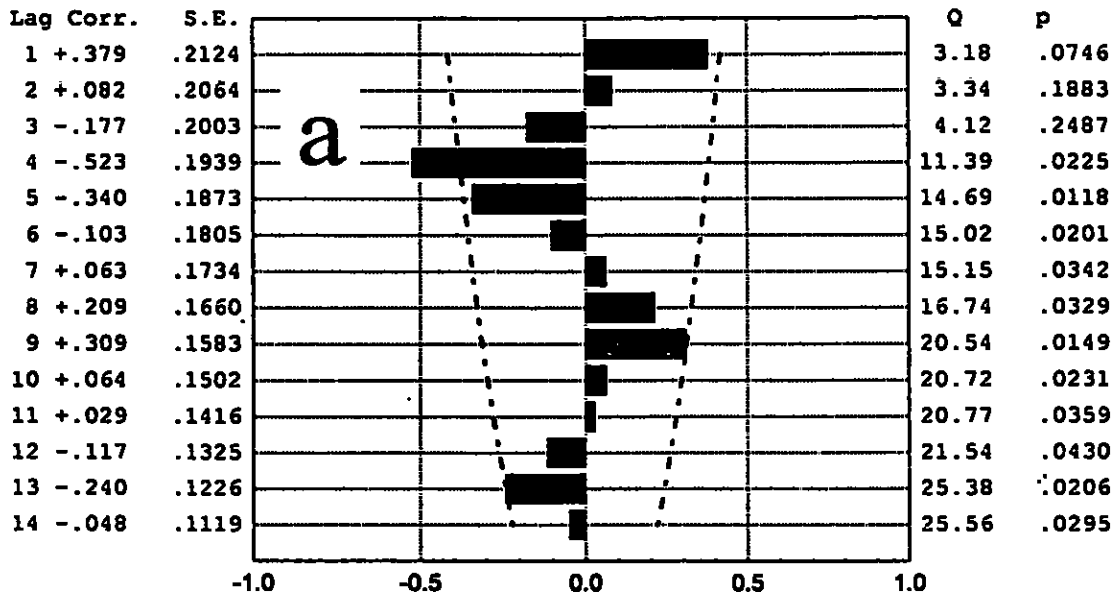
בניגוד למדדי איכות המים האחרים (טמפרטורה, מוליכות חשמלית, חמצן מומס) לא הצביעה אנליזת ה-ARIMA של נתוני העומס האורגני על רמה גבוהה של אוטוקורלציה (איור 14). נראה כי מדד איכות מים בירקון אינו אוטוגרסיבי ולפיכך הפעלת מודל ה-ARIMA על הנתונים המקוריים לא הביאה להפחתה משמעותית באוטוקורלציה שכאמור הייתה נמוכה מלכתחילה. ואכן, הדגם העונתי המשתקף מנתוני העומס האורגני לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA היה גם דומה לדגם העונתי של הנתונים המקוריים (איור 15).

הפעלת מכון הטיהור של שפכי הוד השרון וכפר סבא בחודש מאי 1995 הביאה להפחתה מיידית ומובהקת של העומס האורגני בתחנות שבמורד מפגש נחל קנה עם נחל ירקון ( $t=3.66, P=0.002$ ). למשל, הערך הממוצע של העומס האורגני בתחנה 3c, שהיה לפני הפעלת מכון הטיהור (אפריל 1994 - אפריל 1996)  $55.8 \pm 19.8$  מ"ג לליטר ירד לאחר הפעלת המכון (מאי 1996 - אוגוסט 1997) לכדי  $23.3 \pm 3.3$  מ"ג לליטר. הירידה בעומס האורגני בולטת יותר כאשר משווים את נתוני העומס האורגני בתקופה שלפני הפעלת המכון לנתונים שנאספו בין הפעלת המכון לבין שטפונות החורף של 1997 (מאי 1996 - פברואר 1997). העומס האורגני הממוצע בתחנה 3c בתקופה הנ"ל  $10.7 \pm 2.9$  ( $t=8.25, P<0.0001$ ). לממצאים אלו

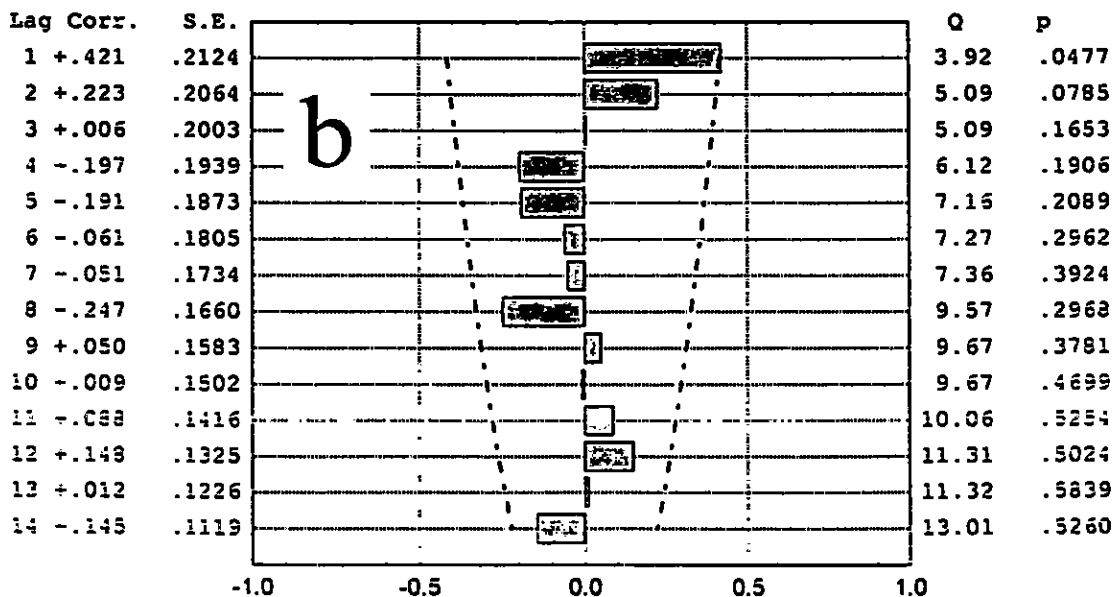


איור 10 : השתנות ריכוזי החמצן המומס (מ"ג לליטר) בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997.

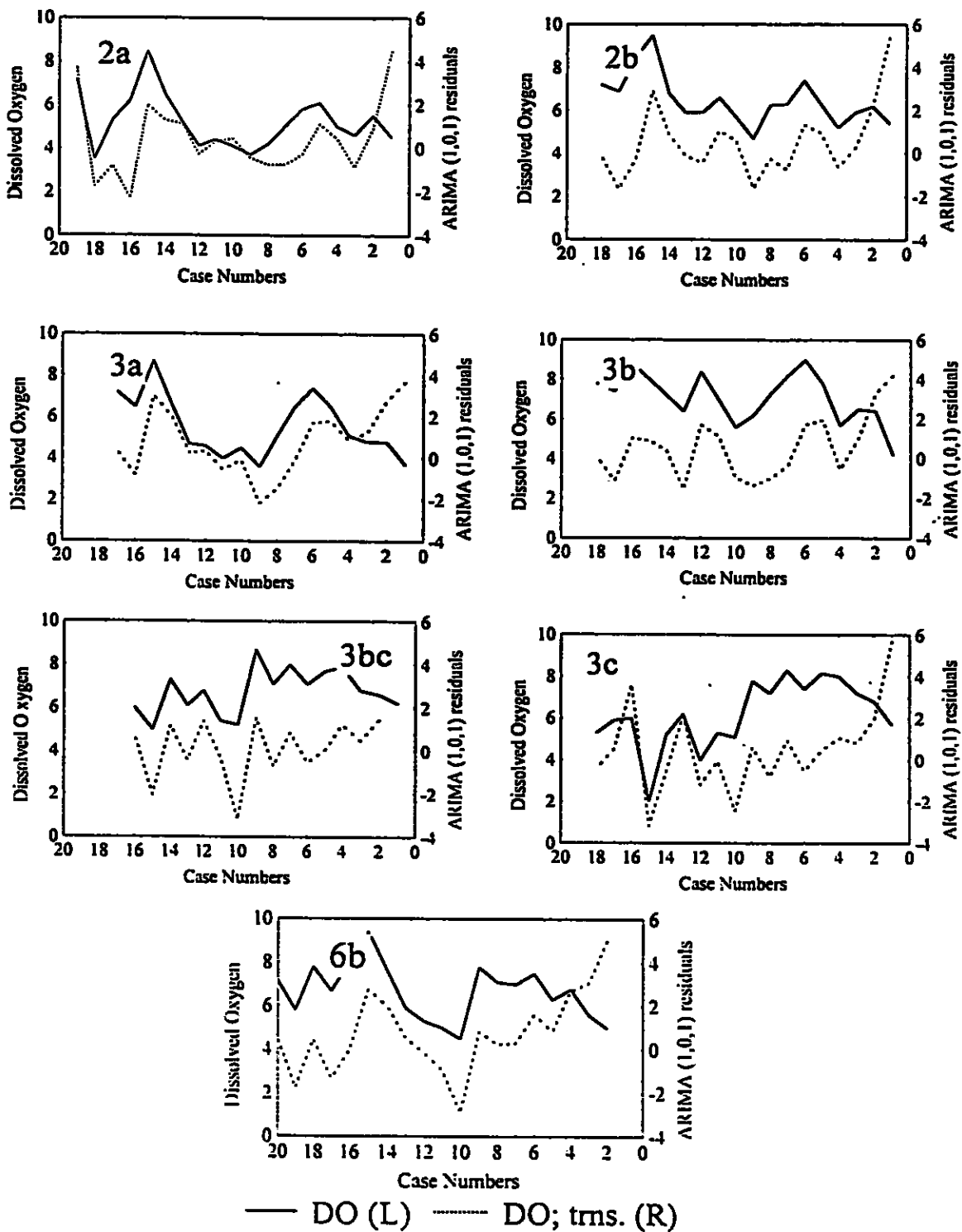
Autocorrelation Function  
DO  
(Standard errors are white-noise estimates)



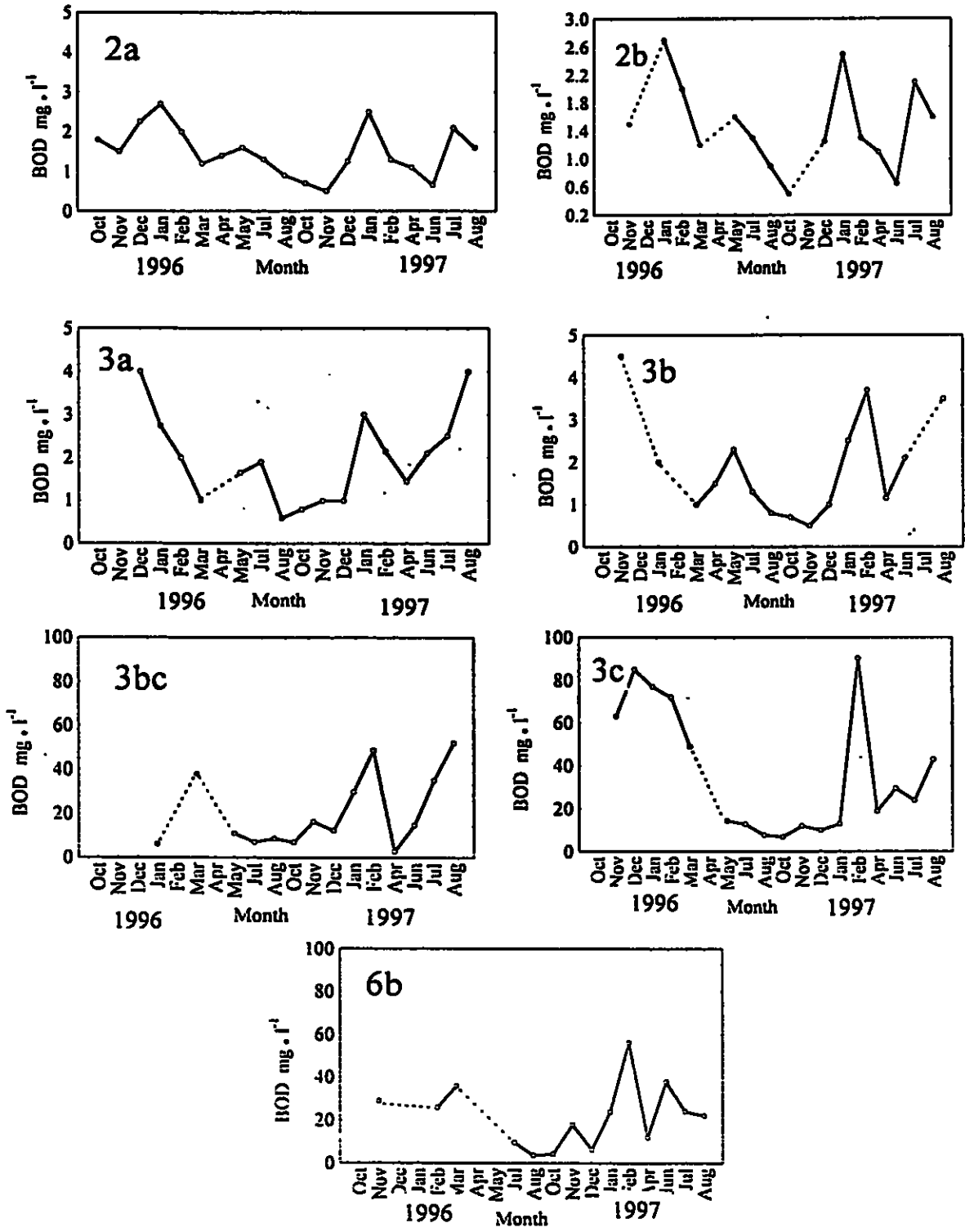
Autocorrelation Function  
DO : ARIMA (1,0,1) residuals;  
(Standard errors are white-noise estimates)



איור 11: פונקצית האוטוקורלציה בנתוני החמצן המומס מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני (a) ואחרי (b) הפעלת מודל ה-ARIMA.

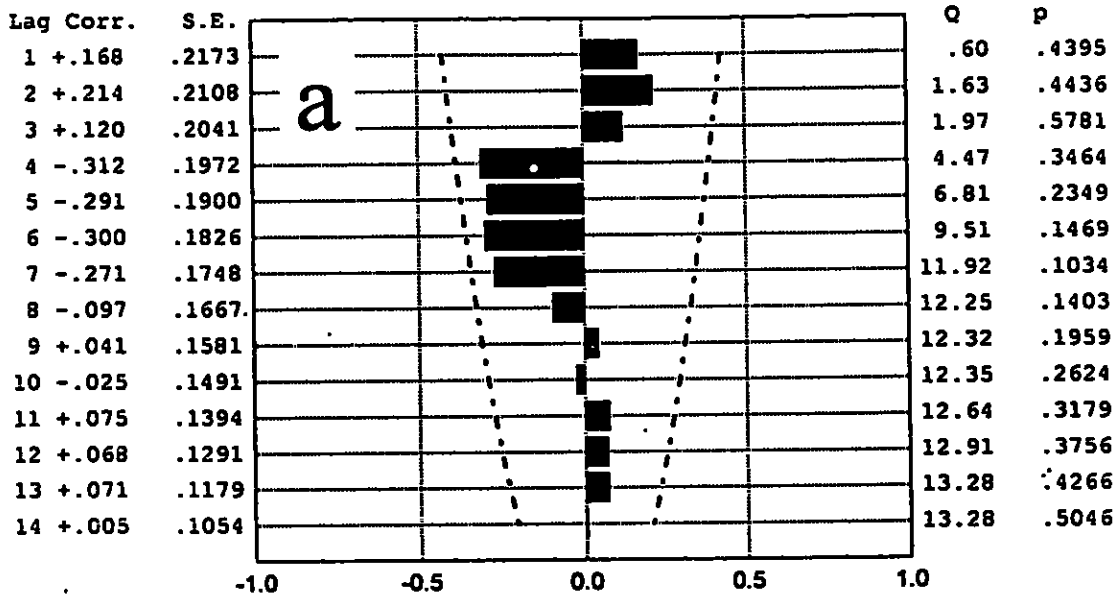


איור 12: דינמיקה עונתית מדומה (L) ואמיתית (R); לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA של נתוני החמצן המומס מתחנות שונות לאורך הירקון.

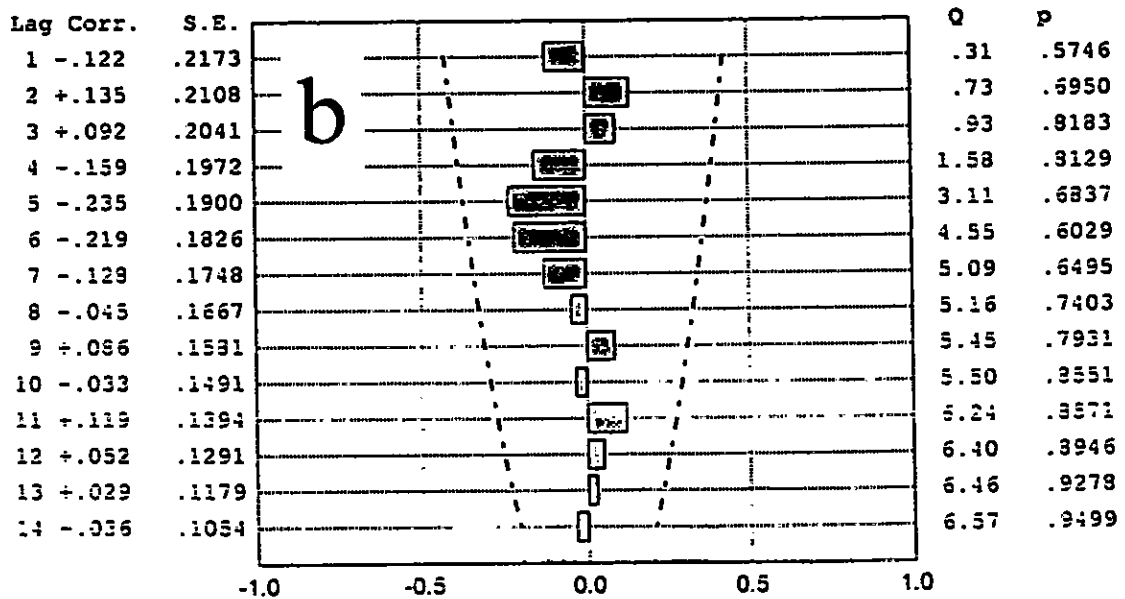


איור 13: השתנות ריכוזי העומס האורגני (מ"ג לליטר) עם הזמן בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997.

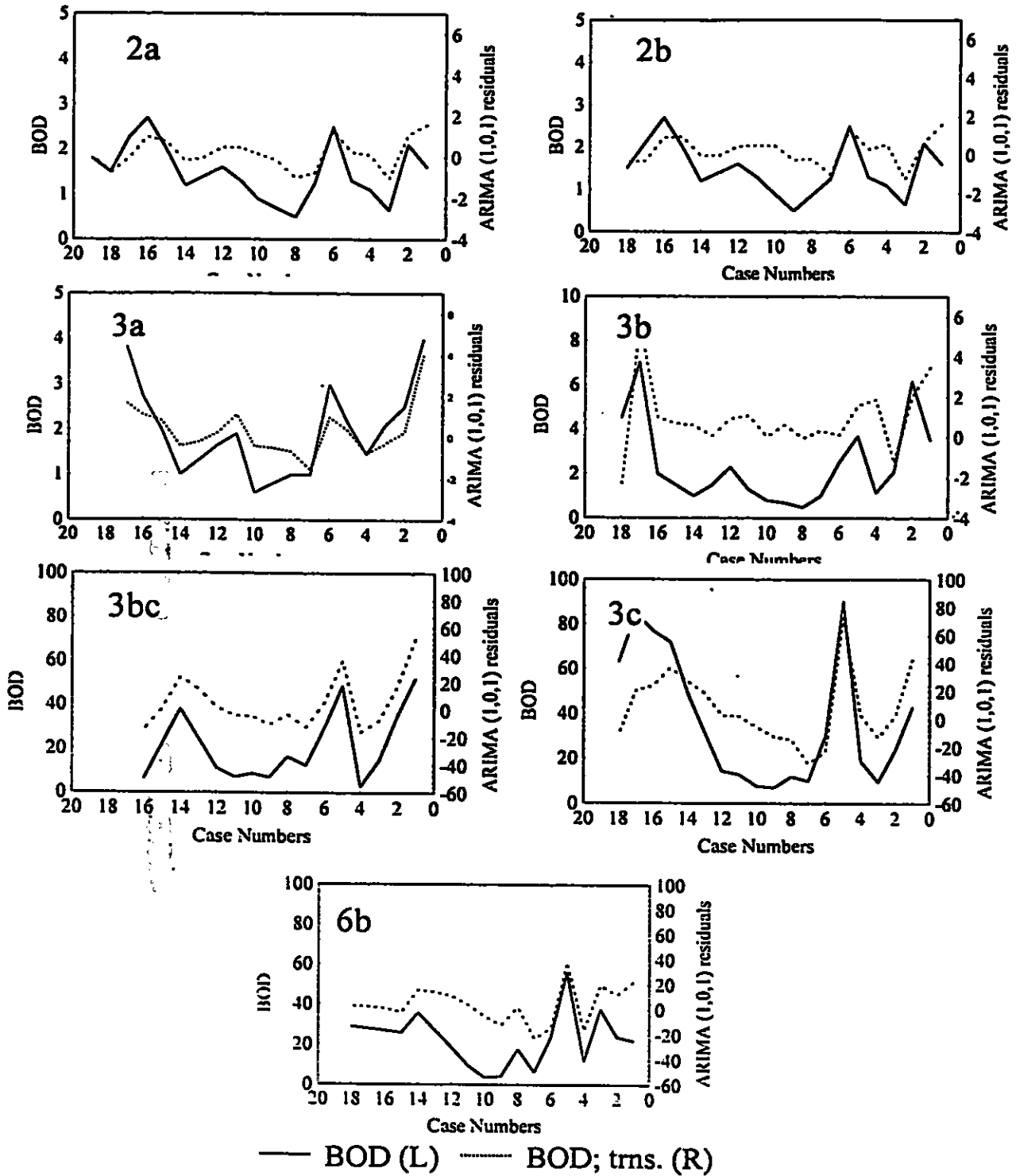
Autocorrelation Function  
BOD  
(Standard errors are white-noise estimates)



Autocorrelation Function  
BOD : ARIMA (1,0,1) residuals;  
(Standard errors are white-noise estimates)



איור 14 : פונקציית האוטוקורלציה בנתוני העומס האורגני מתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1996-1997 לפני (a) ואחרי (b) הפעלת מודל ה-ARIMA



איור 15: דינמיקה עונתית מדומה (L) ואמיתית (R) לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA של נתוני העומס האורגני מתחנות שונות לאורך הירקון.

משמעות מיוחדת מאחר וערכי העומס האורגני בתקופה הנ"ל הם באזור רמת הסף שנמצאה משמעותית לקיומן של אוכלוסיות דגים בירקון (ראה דו"ח מסכס 123-5/8/96; גזית ועמיתיו, 1996). לעומת זו כאשר משווים את העומס האורגני בתחנה 3c בתקופה שלאחר שטפונות החורף (פברואר 1997 - אוגוסט 1997) לעומס האורגני בתקופה שלפני הקמת מכון הטיהור ההבדל אינו מובהק ( $t=1.64, P=0.124$ ).

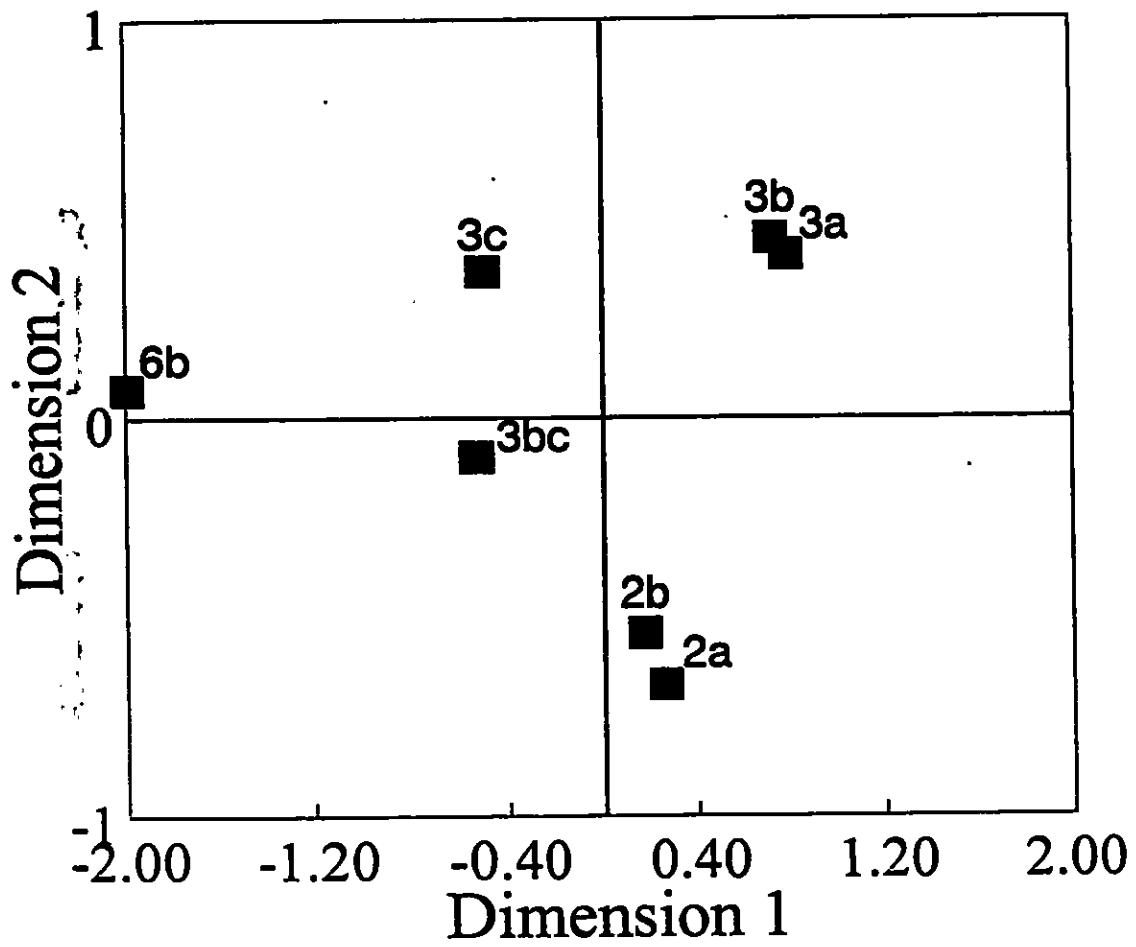
#### 5. ההשפעה המשולבת של איכות המים על בתי הגידול השונים

תוצאות אנליזת ה-PCA של נתוני איכות המים שנאספו לאורך כל תקופת המחקר בתחנות השונות מלמדת על חלוקה לשתי קבוצות עיקריות של תחנות לאורך הירקון. בקבוצה האחת התחנות שבקטע הירקון הנקי ובקבוצה השנייה תחנות מהירקון המזוהם. מרבית השונות באיכות המים בין התחנות (98%) יכולה להיות מוסברת ע"י הציר הראשון (Principal Component 1) ורק חלק ממזערי מהשונות מוסברת ע"י הציר השני (Principal Component 2). ממצא זה מוסבר ככל הנראה על ידי השונות הגבוהה בעומס האורגני בין תחנות בירקון המזוהם לתחנות בירקון הנקי, לעומת זהות גבוהה יחסית בין שאר מדדי איכות המים, והוא תומך בממצא שהובא בדו"ח הקודם (גזית ועמיתיו, 1996) שמתוך המדדים שבדקנו, מדד איכות המים היחיד החוזה באופן מובהק את עושר מיני הדגים ( $r^2=0.76$ ) ואת שכיחות הדגים ( $r^2=0.92$ ) בתחנות שונות לאורך הנחל הוא העומס האורגני. מקדמי הקורלציה בין התחנות השונות שהתקבלו מהאנליזה הרב משתנית של נתוני איכות המים היו גבוהים ביותר (טבלה 4).

טבלה 3: מטריצת מקדמי הקורלציה (PCA) של איכות המים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1994 - 1997.

	2a	2b	3a	3b	3bc	3c	6b
2a	1.000						
2b	1.000	1.000					
3a	0.993	0.995	1.000				
3b	0.993	0.995	1.000	1.000			
3bc	0.987	0.988	0.988	0.988	1.000		
3c	0.974	0.976	0.979	0.974	0.989	1.000	
6b	0.974	0.976	0.973	0.975	0.982	0.986	1.000





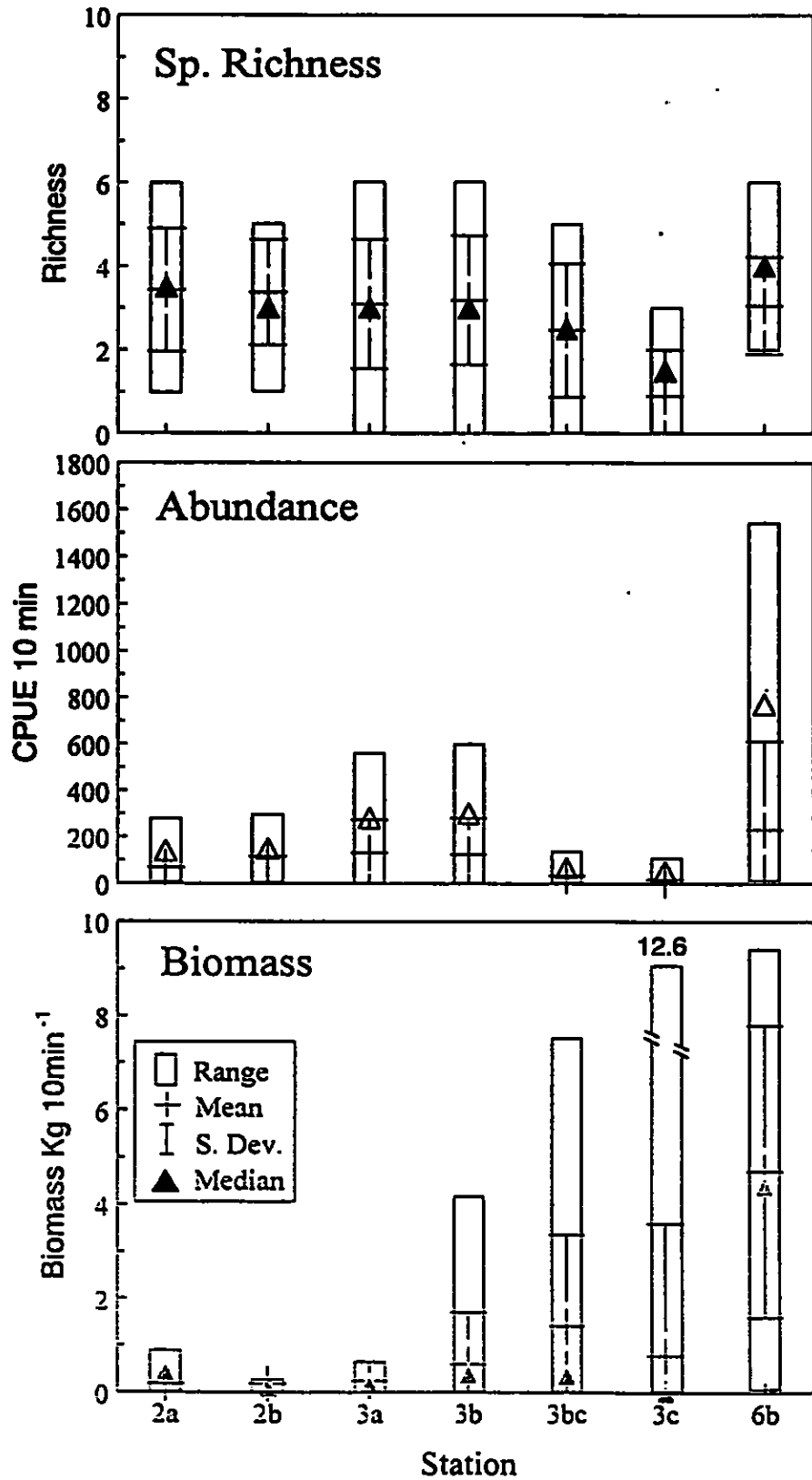
איור 16 : ניתוח רמת הדמיון באיכות המים ( MDS ע"פ מרחק אויסקלידי) בתחנות שונות לאורך נחל הירקון.

אנליזת ה-MDS מלמדת גם היא על קיומן של שתי קבוצות של תחנות הממוקמות משני צידיו של המימד הראשון (ציר ה-X; Dimension 1). קבוצת התחנות בירקון המזוהה ובמורד סכר שבע טחנות ממוקמת בצידו השני של המימד הראשון (איור 16). בתוך קבוצה זו התחנה הממוקמת במורד סכר שבע טחנות (6b) הייתה הרחוקה ביותר מכל שאר הקבוצות דבר המלמד על שוני באיכות המים בתחנה זו בהשוואה לתחנות האחרות. התחנות בירקון הנקי יצרו קבוצה אחרת, מצידו החיובי של המימד הראשון (איור 16). בקבוצה זו בלטה חלוקה לאורך המימד השני בין אתרים (2 ו-3) וזהות רבה בין תחנות שהיו קרובות זו לזו גיאוגרפית (2a ו-2b לעומת 3a ו-3b). ממצא זה מעניין במיוחד לאור הממצא שהוצג קודם לכן על ריכוזי החמצן גבוהים באופן מובהק בתחנות שבמורד מפלים (2b ; 3b) בהשוואה לתחנות במעלה המפלים (2a ; 3a). לפיכך, ניתן להסיק כי התרומה היחסית של ריכוז החמצן להבדל בין התחנות השונות נמוכה בהשוואה לשאר המדדים.

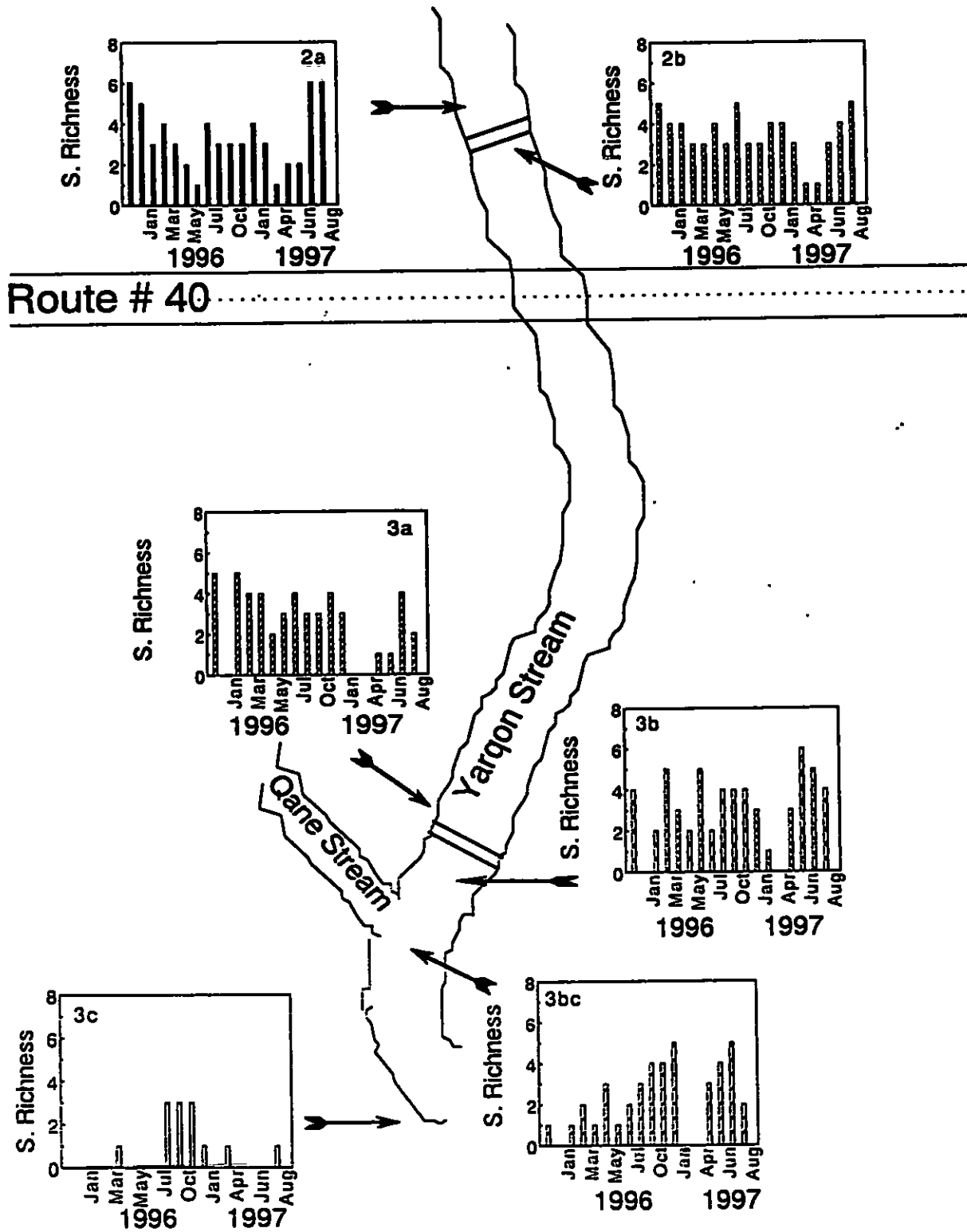
### 3. חברת הדגים

#### 1. עושר המינים.

עושר המינים בתחנות השונות לאורך קטע הירקון הנקי נע בין 2-6 מינים לדיגום סטנדרטי של 10 דקות בתחנות שליד גשר כביש 40 (2a, 2b) ובין 0 ל-6 מינים לדיגום סטנדרטי בתחנות שליד סכר מפגש קנה ירקון (3a, 3b). בתחנות בירקון המזוהה נע עושר המינים בין 0 ל-5 מינים לדיגום סטנדרטי ובתחנה שבמורד סכר שבע טחנות בה איכות המים משוקמת חלקית בין 2 ל-6 מינים לדיגום סטנדרטי (איור 17). במשך ארבע שנות המחקר היה עושר מיני הדגים שונה באופן מובהק בתחנות שונות לאורך הירקון (טבלה 4). עושר המינים בתחנות המייצגות קטע נחל נקי היה דומה אך נמצא ההבדל בין התחנות הממוקמות בקטע הנחל המזוהה והמשוקם חלקית (טבלה 4). עושר המינים השתנה עונתית של עושר מינים נמוך בסוף החורף ובאביב ועושר מינים גבוה יותר בקיץ בסתיו ובראשית החורף (איור 18). דגם עונתי זה היה בולט יותר בתחנות בירקון הנקי בהשוואה לתחנה שבשולי הירקון המזוהה (3bc) ולתחנה שבמורד סכר שבע טחנות (6b). ככלל היה עושר המינים בכל התחנות בירקון הנקי (המבטא את עושר המינים הכללי לארבע התחנות שבקטע נחל זה) גבוה באופן מובהק בהשוואה לכלל התחנות בירקון המזוהה (Pair analysis ;  $t=5.58$ ,  $P=0.000034$ ) לתקופה 1994-1997). ממצא זה הוא תוצאה של היעדרותם המוחלטת של מינים כגמבוזיה (*Gambusia affinis*), סיפן (*Xiphophorus sp.*) ולבנון הירקון (*Acantobrama telavivensis*) מתחנות בירקון המזוהה. אולם, למרות שבשנים 1996-1997 עדיין היה עושר המינים בכלל התחנות שבירקון הנקי גבוה באופן מובהק בהשוואה לכלל התחנות שבירקון המזוהה (Pair analysis ;  $t=3.04$ ,  $P=0.014$ ) הפער בין שני קטעי הנחל השונים הצטמצם. הסבר אחד להצטמצמות הפער בתקופה הנ"ל נעוץ בהיעדרות המוחלטת של דגי אמנון הגליל *Sarotherodon galilaeus* מהתחנות



איור 17: טווח, חציון ממוצע וסטית תקן של עושר המינים, שפיעות הפרטים והביומסה בתחנות שונות לאורך הירקון בשנים 1994-1997



איור 18 : השתנות עושר המינים עם הזמן (1996-1997) בתחנות לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון .

בירקון הנקי. ההסבר העיקרי להצטמצמות הפער בעושר המיניים בין תחנות בקטעי הנחל השונים קשור בתדירה של מינים האופייניים לקטע הנחל הנקי לקטע הנחל שבין מפגש קנה - ירקון למפגש הדריס - ירקון. הרחבת תחום מחיה זו הייתה תוצאה של שיפור בחלק ממדדי איכות המים (חמצן מומס, עומס אורגני) בקטע נחל זה בעקבות הפעלת מכון הטיהור לשפכי הוד השרון וכפר סבא. תגובת אסופת הדגים לשיפור הנייל הופיעה באיחור של שלושה חודשים מהתאריך בו נרשם לראשונה שיפור במדדי איכות המים הנייל. החל מאוגוסט 1996 ועד לשיטפונות החורף בפברואר 1997 חדרו דגים לקטע הירקון הנייל וכתוצאה מכך לא נמצא הבדל מובהק בעושר המיניים בכלל התחנות שבקטע נחל זה בהשוואה לכלל התחנות בקטע הנחל הנקי ( $t=1.58, P=0.17$ ).

תופעה דומה של שיפור באיכות המים ואחריו אכלוס קטע נחל זה בדגים נרשמה בחודשים מאי-יוני 1994, בעקבות חורף גשום במיוחד. בשני המיקרים המין השולט היה אמנון מצוי (*Tilapia zillii*) אך בעוד שב-1994 האמנונים שחדרו לקטע הנחל המזוהם היו כולם אמנונים גדולים ב-1996/7 חדרו לקטע הנחל המזוהם גם אמנונים קטנים. הבדל נוסף בין שני האירועים נעוץ במינים הנוספים שחדרו ביחד עם האמנון המצוי. ב-1994 נלוו לאמנונים רק קרפיונים (*Cyprinus carpio*; גדולים גם כן) האופייניים לבתי גידול מזהמים בירקון. באירוע של 1996/7 חדרו לנחל בנוסף לאמנונים גם מיני דגים קטני גוף שלא הופיעו בו במהלך כל תקופת המחקר ובכלל זה גמבוזיה, סיפן ופרטים בודדים של לבנון הירקון. בעקבות ההידרדרות באיכות המים בתקופה שלאחר שטפונות החורף בפברואר 1997 שב הפער בין התחנות בירקון הנקי לבין התחנות בירקון המזוהם והתרחב ועושר המינים בירקון הנקי שב להיות גבוה באופן מובהק מזה של התחנות בירקון המזוהם ( $t=3.97, P=0.0074$ ).

הרכב אסופת הדגים בתחנה 6b שבמורד סכר שבע טחנות היה שונה בהשוואה לאסופת הדגים בתחנות האחרות (בירקון הנקי והמזוהם גם יחד). לצד מינים משותפים (בעיקר אמנון מצוי וקרפיון) נמצאו בה מינים שמקורם במים מלוחים כגון קיפון בורי (*Mugil cephalus*) ומספר רב יחסית של צלופחים (*Anguilla anguilla*) צעירים (בוגרי צלופחים נמצאו גם בירקון הנקי). כמו כן התאפיינה תחנה 6b בנוכחות קבועה כמעט של פרטים גדולים של שפמנון מצוי (*Clarias gariepinus*) שנעדרו בדרך כלל מתחנות אחרות. לעומת זאת, נעדרו מתחנה 6b מינים שהיו אופייניים למעלה הירקון כגון לבנון הירקון וסיפן. מאפיין אחר של תחנה 6b היה חוסר יציבות בזמן של הופעת המינים השולטים. למשל במאי 1996 נלכדו בתחנה זו 186 בורים (93% מכלל הדגים שנלכדו בתחנה באותו תאריך) ואף לא אמנון מצוי אחד. חודש מאוחר יותר נלכדו באותה תחנה 693 אמנונים (91% מהשלל) ורק 50 בורים (6.5% מהשלל). האמנונים שלטו באסופת הדגים בתחנה במשך כ-5 חודשים ואחר כך נעדרו כמעט לחלוטין מאסופת הדגים למשך כ-5 חודשים בהם שלטו באסופת הדגים תחילה קרפיונים (שלושה חודשים) ואח"כ בורים (חודשיים). לאחריהם שוב הופיעו האמנונים ונעלמו המינים האחרים.

טבלה 4: מאפיינים סטטיסטיים של השונות בעושר מיני הדגים, שפיעות הפרטים (מבוטאת כשלל ליחידת מאמץ של 10 דקות) והביומסה (מבוטאת ליחידת מאמץ של 10 דקות), בין תחנות שונות וקטעי נחל שונים לאורך נחל הירקון.

Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	P
<b>Whole Stream</b>								
Species Richness	90.97	6	15.16	254.75	131	1.95	7.8	0.00001
Abundance CPUE 10 min	571 E4	6	9525 E2	3762 E3	131	28718	3.32	0.00001
Biomass gr * 10 min <sup>-1</sup>	27359 E4	6	456 E4	3918 E5	129	3037 E3	15.0	0.00001
Log <sub>10</sub> Biomass	59.86	6	9.98	111.95	129	0.87	11.5	0.00001
<b>Clean section</b>								
Species Richness	497 E3	3	1656 E2	1203 E3	79	152 E3	1.09	0.36 ns
Abundance CPUE 10 min	1.55	3	0.52	168.6	79	2.13	0.24	0.87 ns
Biomass gr * 10 min <sup>-1</sup>	672 E4	3	224 E4	271 E5	78	347 E3	6.45	0.00058
Log <sub>10</sub> Biomass	3.83	3	1.28	49.9	78	0.64	2.0	0.12 ns
<b>Polluted Section</b>								
Species Richness	512 E3	2	256 E3	256 E4	52	492 E2	5.2	0.008
Abundance CPUE 10 min	45.2	2	22.6	86.1	52	1.66	13.65	0.000017
Biomass gr * 10 min <sup>-1</sup>	157 E6	2	782 E5	365 E6	51	715 E4	10.95	0.00011
Log <sub>10</sub> Biomass	54.3	2	27.2	62.1	51	1.22	22.4	0.00001

## 2. שפיעות הפרטים

מאפיינים סטטיסטיים תיאוריים של שפיעות הדגים (כלל הדגים שנלכדו בתחנה מסוימת בכל דיגום ביחידת מאמץ של 10 דקות) בתחנות השונות לאורך הירקון במשך ארבע שנות המחקר מובאים באיור 17. שפיעות הדגים הייתה שונה באופן מובהק בתחנות השונות שלאורך נחל הירקון (טבלה 4). הערך העליון והחציון של שפיעות הפרטים בשתי התחנות שבמעלה הירקון הנקי (תחנות 2a ו-2b) היה דומה אך נמוך באופן ניכר מהערך העליון והחציון של שפיעות הפרטים בתחנות שבמורד הירקון הנקי (תחנות 3a ו-3b). הערך העליון והחציון של שפיעות הפרטים בתחנות שבירקון המזוהם היו הנמוכים ביותר לאורך הנחל ואילו הערך העליון והחציון של התחנה שבמורד סכר שבע טחנות (6b) היו הגבוהים ביותר (איור 17). ההבדל בין התחנות הממוקמות בקטע הנחל המזוהם והמשוקם חלקית היה מובהק בעוד שההבדל בין התחנות הממוקמות בקטע הנחל הנקי לא היה מובהק (טבלה 4). ניתוח נתוני שפיעות הפרטים בשנים 1996-

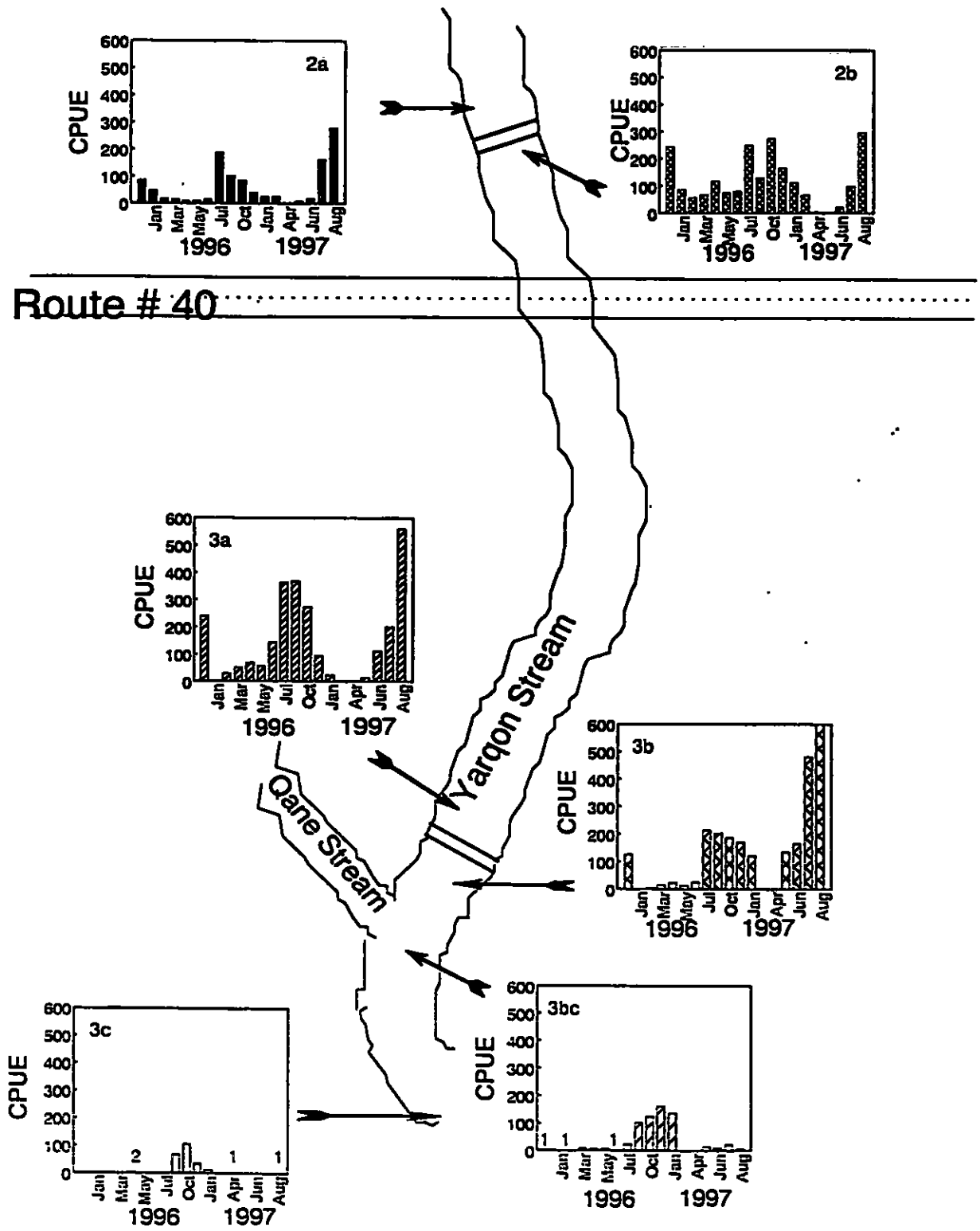
1997 בתחנות השונות לאורך הירקון מלמד על דגם עונתי של שפיעות גבוהה בחודשי הקיץ (יולי - אוקטובר) ושפיעות נמוכה בחודשי החורף (איור 19). הדגם העונתי של נתוני השפיעות היה בולט יותר בהשוואה לדגם העונתי של נתוני עושר המינים (איור 18) אך גם כאן הוא בא לידי ביטוי בעיקר בתחנות שבירקון הנקי. התחנות הירקון המזוהם התאפיינו בשכיחות פרטים נמוכה בהשוואה לתחנות בירקון המזוהם (למעט תחנה 6b שבמורד סכר שבע טחנות). הדגם העונתי הבולט הביא לשונות גבוהה ביותר בנתוני שפיעות הדגים ובכל התחנות הייתה השונות גבוהה בהרבה מהממוצע ( $CV > 150\%$ ). יחד עם זאת, כאשר נבחנו נתוני השפיעות במהלך כל תקופת המחקר לא נמצא הבדל מובהק בין תחנות סמוכות המצויות באותו קטע נחל (למשל בין תחנות 3a ו-3b:  $t=0.28, P=0.8$ ). לעומת זאת, כאשר הושו נתוני שפיעות הדגים מתחנות סמוכות הנמצאות בקטעי נחל שונים הייתה השפיעות בתחנה שבקטע הנחל הנקי גדולה באופן מובהק מזו של התחנה שבקטע הנחל המזוהם נחל (למשל בין תחנות 3a ו-3c:  $t=2.91, P=0.006$ ).

השפעת מכון הטיהור על שפיעות הדגים בקטע הנחל המזוהם שבין מפגש קנה ירקון למפגש הדרים ירקון מוצגת באיור 20. בתקופה שבין אוגוסט 1996 לפברואר 1997, במקביל לשיפור באיכות המים, אכלסו הדגים קטע נחל זה. שפיעות הפרטים בתחנות שבקטע הנחל הנקי עדיין הייתה בתקופה זו גבוהה באופן ניכר בהשוואה לשפיעות הפרטים בתחנות שבקטע הנחל המזוהם (איור 20). למשל, סך כל הדגים שנלכדו בתקופה הנדונה בתחנה 3a שבירקון הנקי (במעלה מפגש קנה ירקון) היה 723 בעוד שבתחנה 3c הנמצאת כ-50 מ' מערבה בירקון המזוהם (במורד מפגש קנה ירקון) נלכדו רק 223 דגים. למרות ההפרש הניכר בשפיעות הפרטים בין שתי התחנות לא היה ההבדל ביניהן מובהק ( $t=1.89, P=0.095$ ; Pair analysis), כנראה בשל השונות הגבוהה של נתוני השפיעות וגודל מדגם קטן (type 2 error) הגורמים לעוצמת מבחן נמוכה (Carpenter et al., 1995).

כתוצאה משטפונית החורף בפברואר 1997 שבו הדגים ונעלמו מקטע הנחל שבין מפגש קנה ירקון למפגש הדרים ירקון. מאחר וחלק מהזיהום עלה בעת השיטפון במעלה הירקון הנקי (תופעה שמצאה את ביטויה גם בעליית העומס האורגני בקטע הנחל הנקי) נעלמו הדגים בחודשיים שלאחר השיטפון גם מחלק מהתחנות הנקיות (תחנות 2b, 3a, 3b), אך בעוד שבתחנות שבירקון הנקי שבה חברת הדגים והתאוששה בהמשך העונה לא שבו הדגים לתחנה המזוהמת עד סיום המחקר באוגוסט 1997 (איור 20).

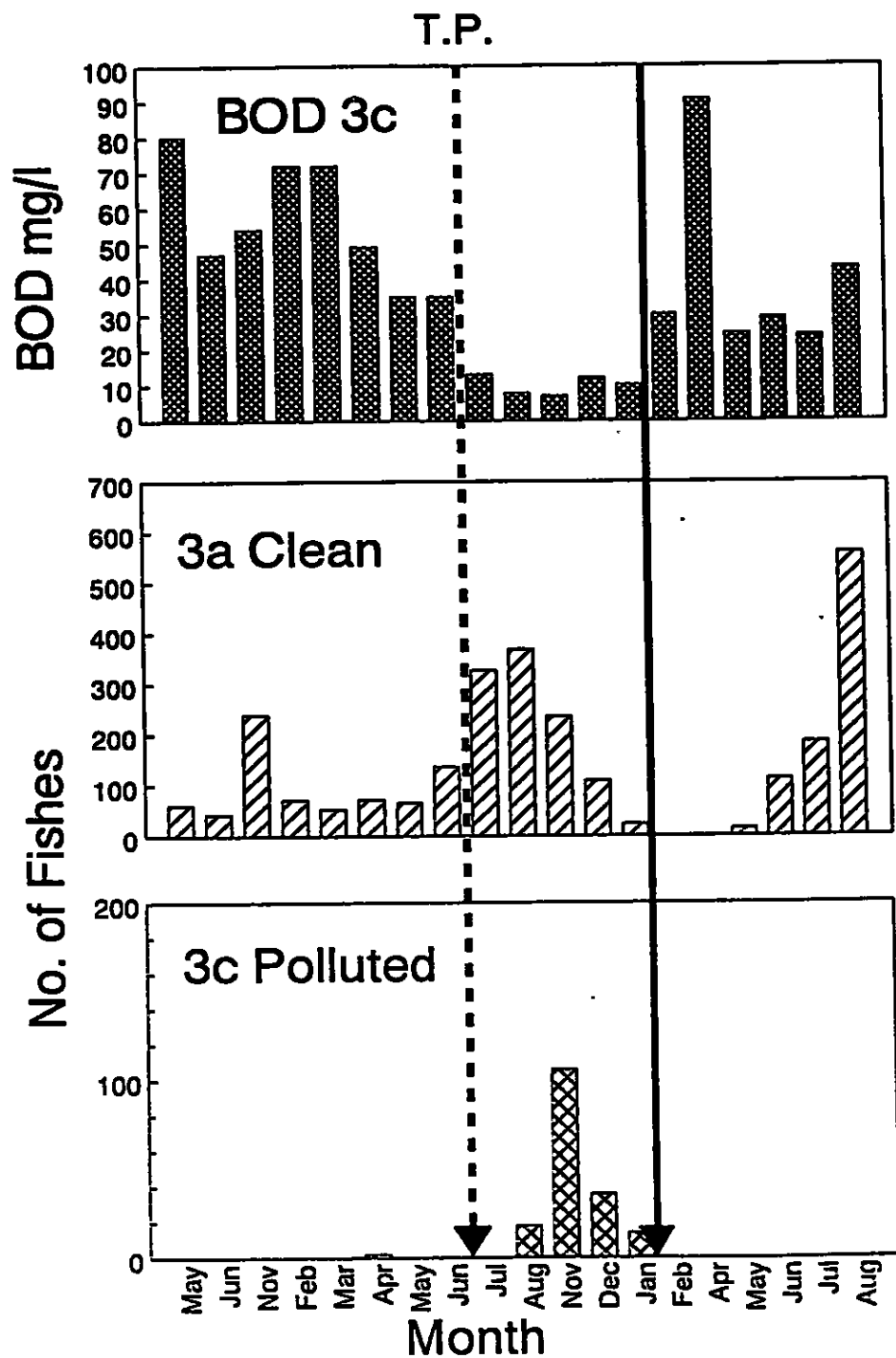
### 3. ביומסת הדגים

לאורך כל תקופת המחקר היה השונות בין תחנות בביומסת הדגים (מבוטאת ליחידת מאמץ של 10 דקות) הגבוהה ביותר מבין מדדי החברה אותם בדקנו במחקר הנוכחי (איור 17; טבלה 4). בניגוד לעושר המינים ושפיעות הפרטים ההבדל בביומסה בין התחנות הממוקמות בקטע הנחל הנקי היה גם כן מובהק, כנראה בשל נטייתו של מדד זה לעלות בחזקה שלישית. לאחר טרנספורמציה לוגריתמית של נתוני המשקל עדיין היו הבדלי הביומסה בין התחנות לאורך כל הנחל מובהקים וכן גם הבדלי הביומסה בתחנות שבירקון המזוהם והמשוקם חלקית. לעומת זאת, בדומה לנתוני עושר המינים ושפיעות הפרטים לא היו ההבדלים בביומסה בין תחנות לאחר טרנספורמציה לוגריתמית מובהקים (טבלה 4).



איור 19: השתנות שפיעות הפרטים (שלל ליחידת מאמץ של 10 דקות) עם הזמן (1996-1997) לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון.





איור 20 : העומס האורגני במורד מפגש נחל קנה עם נחל ירקון (תחנה 3c) בהשוואה לשפיעות הפרטים בתחנה זו ובתחנה סמוכה (3a) הממוקמת לפני מפגש הנחלים. החץ המקווקו מציין את מועד הפעלת מכון הטיהור לשפכי הוד השרון וכפר סבא והחץ הרציף מציין את השטפון הראשון בחורף 1997.

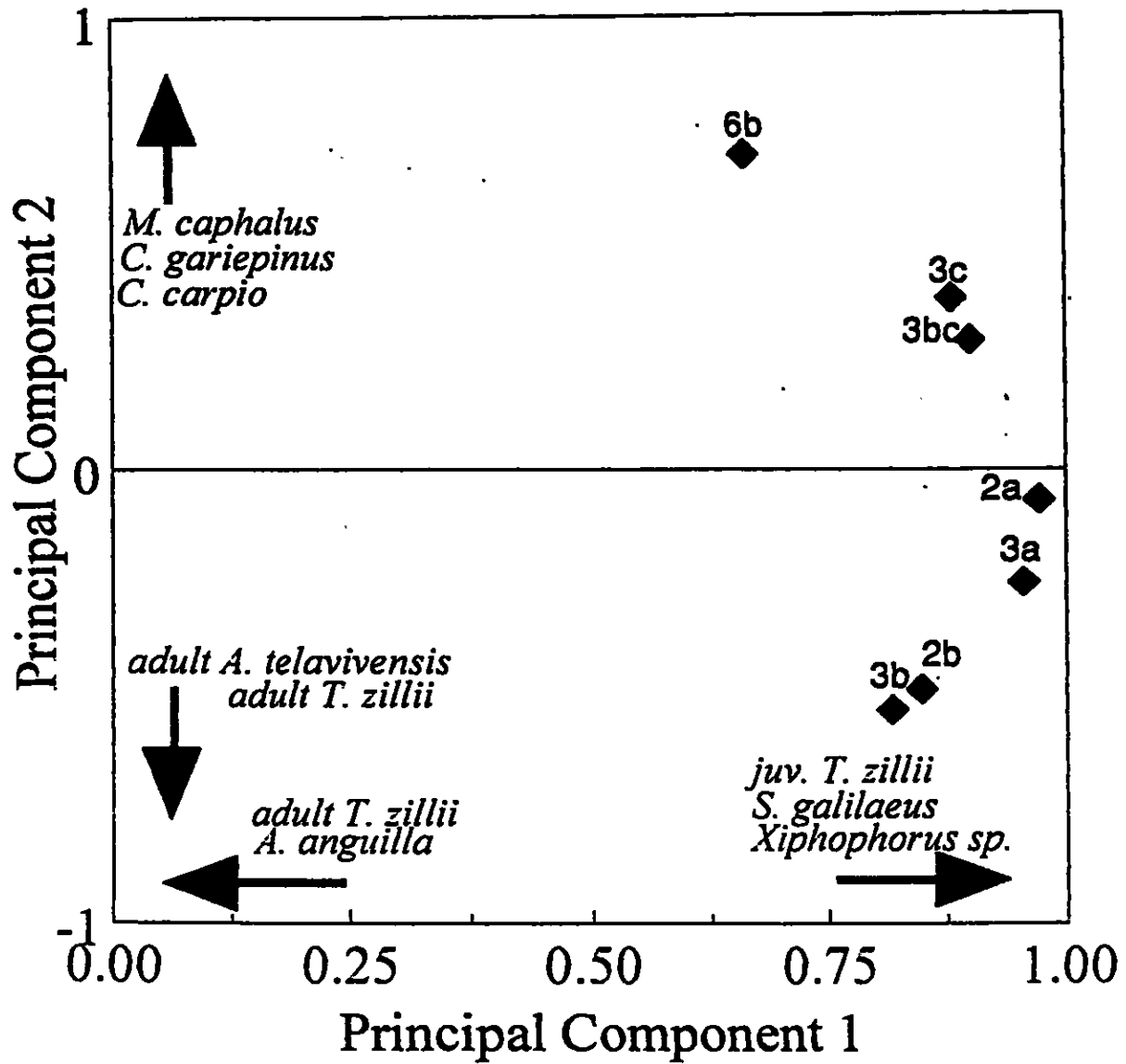
ככלל, כאשר הזיהום בתחנות השונות היה מתון ואיכות המים אפשרה קיום דגים, התאפיינו תחנות אלו (3b, 3bc, 6b) בביימוסה גבוהה בכסדר גודל בהשוואה לתחנות בירקון המזוהם ( $\bar{X}=387.42\pm 654$  גרם ל-10 דקות בכלל בתי הגידול הנקיים,  $\bar{X}=3483.76\pm 3274$  גרם ל-10 דקות בכלל בתי הגידול המזוהמים חלקית;  $t=6.27, P=5.91E-9$ ). דבר זה מוצא את ביטויו גם בערך העליון הגבוה של הביימוסה בתחנות המזוהמות (איור 17). שפיעות הפרטים הגבוהה ביותר נרשמה בתחנה 3c באביב 1994. אולם ערך התציון והממוצע בתחנה זו היו נמוכים ביותר ניתן להסביר תופעה זו בזמינות גבוהה יותר של מזון בבתי גידול מזוהמים כמדווח לגבי מינים אחרים של דגים הבוחרים בתי גידול עשירים במזון גם כאשר תנאים אחרים בבית הגידול (כגון ריכוז חמצן מומס) קשים יותר (Luecke and Teuscher, 1994). במשך התקופה בה חל שיפור באיכות המים בקטע הנחל שבין מפגש קנה ירקון למפגש הדרים ירקון לא היה ההבדל בביימוסה ליחידת מאמץ בין התחנה בירקון הנקי (3a) והתחנה הסמוכה בירקון המזוהם (3c) מובהק. (ב- $\bar{X}=239.4\pm 250$  וב- $\bar{X}=150.8\pm 134$  3c; Pair analysis;  $t=0.63, P=0.56$ ).

#### 4. מבנה חברת הדגים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון

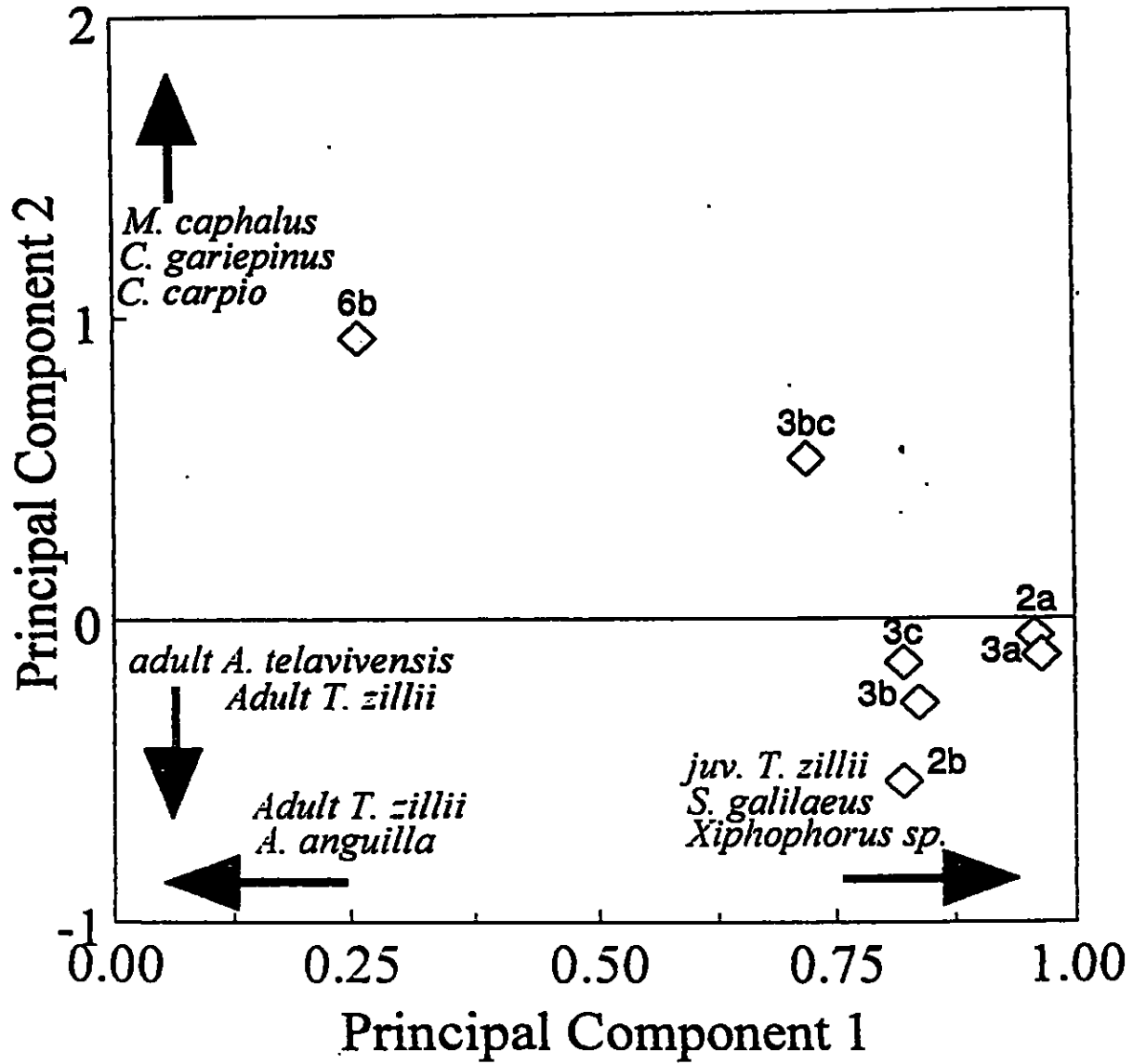
תוצאות אנליזת ה-PCA של נתוני הדגים מצביעות על חלוקה בולטת של בתי הגידול לאורך הירקון השונים לשתי קבוצות עיקריות. הקבוצה הראשונה היא של התחנות המושפעות מזיהום (3b, 3c, 6b) והקבוצה השנייה היא של תחנות בירקון הנקי (2a, 2b, 3a, 3b). חלק ניכר (84%) מהשונות במטריצת הקורלציה הרב משתנית של נתוני השכיחות היחסית הממוצעת של מיני הדגים השונים בתחנות השונות לאורך נחל הירקון מוסברת ע"י הציר האופקי (Principal Component 1) של אנליזת ה-PCA. הציר האנכי באנליזה הני"ל (Principal Component 2) מסביר 16% מהשונות (Bartlett's Chi Square=210.182,  $P<0.0001$ ,  $df=35$ ; איור 21). בתוך קבוצת התחנות מקט הנחל המזוהם תחנה 6b הייתה מרוחקת באופן ניכר מהתחנות האחרות (איור 21) כפי שעולה גם ממקדמי הקורלציה בין התחנות השונות (טבלה 4). בקבוצת התחנות הירקון הנקי ניתן לראות התאמה טובה יותר בין תחנות הנמצאות במעלה מפלים (3a, 2a) או במורד מפלים (3b, 2b) ואילו ההתאמה בין תחנות הנמצאות באותן אתר טובה פחות (איור 21; טבלה 4).

השלכת נתוני נוכחות הדגים על צירי ה-PCA מלמדת כי הכיוון החיובי של הציר הראשון מוסבר ע"י נוכחות צעירים של אמנון מצוי, ע"י נוכחות אמנון הגליל וע"י נוכחות סיפנים. הכיוון השלילי של ציר זה מוסבר ע"י נוכחות של בוגרי אמנון מצוי וצלופחים. הכיוון החיובי של הציר השני מוסבר ע"י נוכחות בורים, שפמנונים וקרפיונים והכיוון השלילי של ציר זה מוסבר ע"י בוגרים של לבנון הירקון ובוגרי אמנון מצוי (איור 21).

אנליזת PCA נפרדת שנעשתה לנתוני השכיחות היחסית של הדגים בתחנות השונות מהתקופה בה חל שיפור באיכות המים במורד מפגש קנה ירקון כתוצאה מהפעלת מפעל הטיהור של שפכי הוד השרון כפר סבא הביאה להצטרפות תחנה 3c אל קבוצת התחנות של הירקון הנקי (Bartlett's Chi Square=209.9,  $P<0.0001$ ,  $df=35$ ; איור 22) מסביר 0.794 מהשונות והציר השני מסביר 0.146 מהשונות.



איור 21: תוצאות אנליזה רב משתנית (PCA) של אסופת הדגים בתחנות שונות בנחל הירקון. המינים המשפיעים על כל ציר מוצגים על גבי הצירים.



איור 22: תוצאות אנליזת PCA נפרדת של נתוני הדגים בתקופה אוגוסט 1996 - פברואר 1997 שבה חל שיפור באיכות המים בקטע הנחל שבין מפגש ירקון קנה למפגש ירקון הדרים.

טבלה 4: מטריצת הקורלציות החלקיות בין חברות הדגים (שכיחות יחסית) בתחנות שונות לאורך נחל הירקון בשנים 1994 - 1997.

	2a	2b	3a	3b	3bc	3c	6b
2a	1.000						
2b	0.829	1.000					
3a	0.966	0.900	1.000				
3b	0.793	0.967	0.896	1.000			
3bc	0.800	0.641	0.777	0.598	1.000		
3c	0.798	0.606	0.714	0.518	0.959	1.000	
6b	0.591	0.230	0.451	0.212	0.739	0.799	1.000

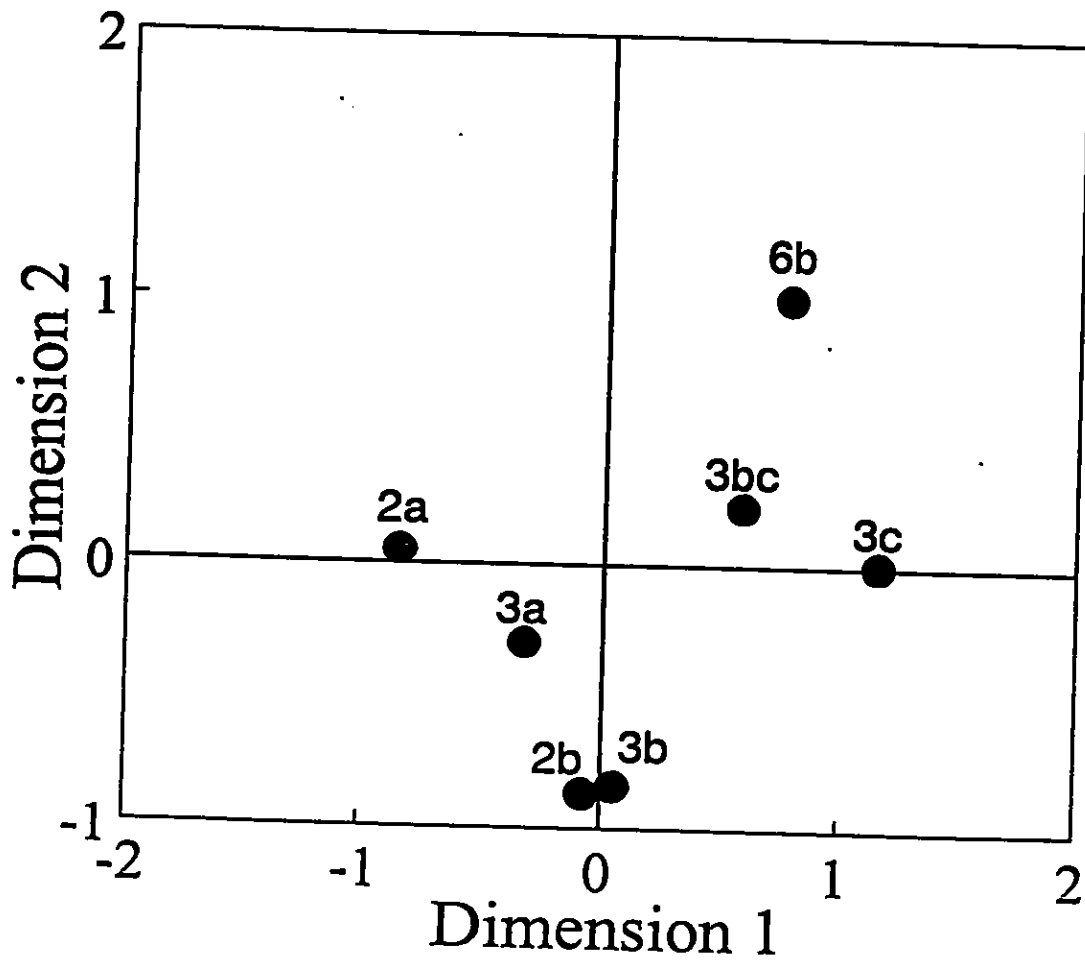
אנליזת ה-MDS של נתוני השכיחות הממוצעת של מיני הדגים השונים בתחנות השונות מצביעה אף היא על קיום שתי קבוצות נפרדות של תחנות. הקבוצה האחת, של התחנות בירקון המזוהם משתרעת על פני הרביע הראשון בעוד שהקבוצה של התחנות שבירקון הנקי משתרעת על פני הרביע השלישי וגבולותיו (איור 23). בדומה לממצאי אנליזת ה-PCA מצביעה גם אנליזת ה-MDS על כך שבקבוצת התחנות הירקון הנקי המרחק האויקלידי קטן יותר בין תחנות הנמצאות במעלה מפלים (2a, 3a) או במורד מפלים (2b, 3b) ואילו מרחק האויקלידי בין תחנות הנמצאות באותן אתר גדול יותר (איור 23; טבלה 4).

### ג. אוכלוסיות הדגים

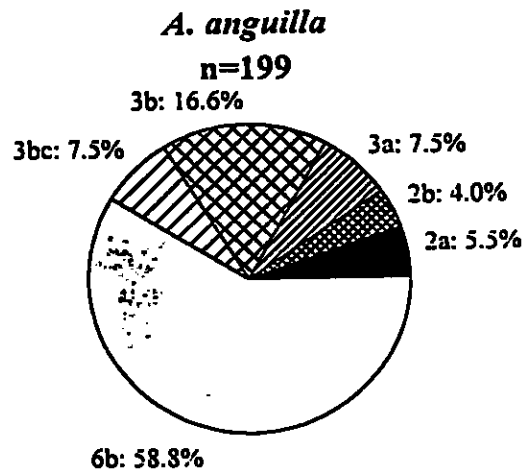
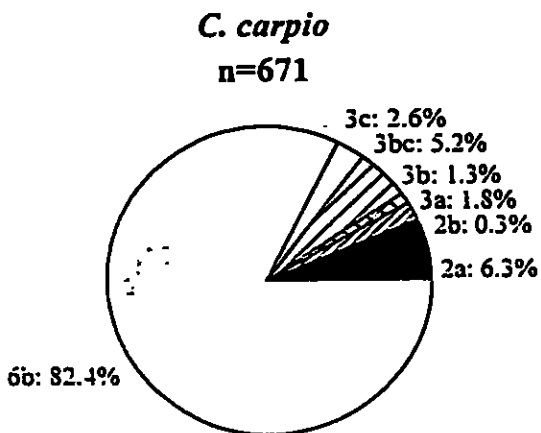
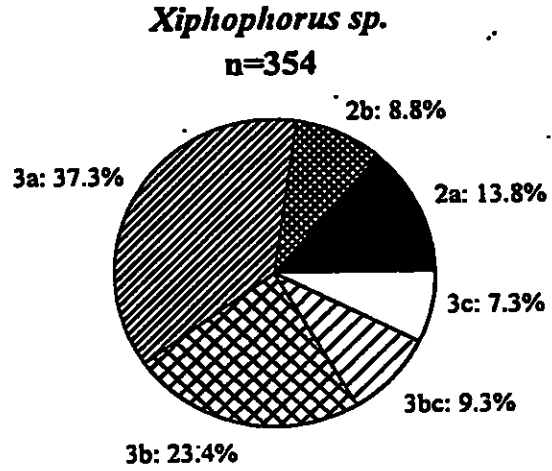
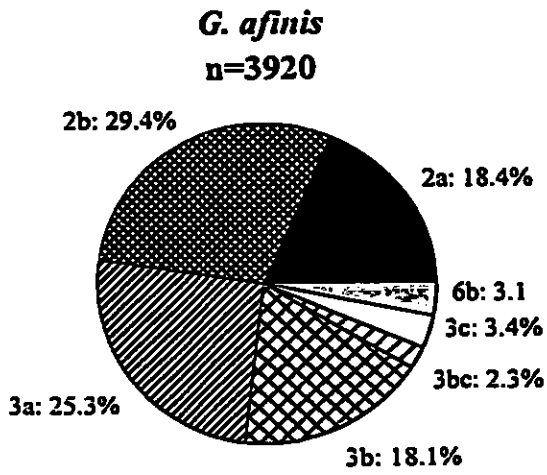
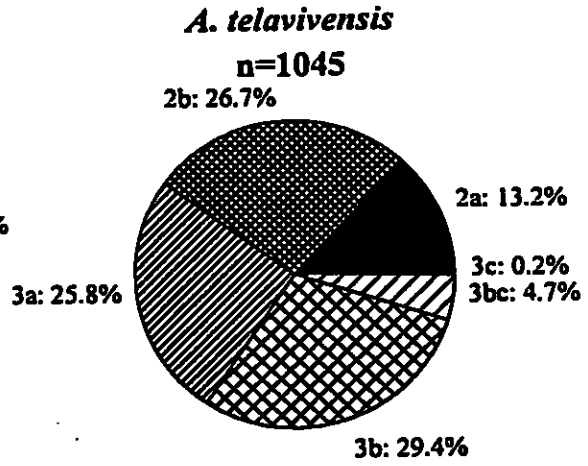
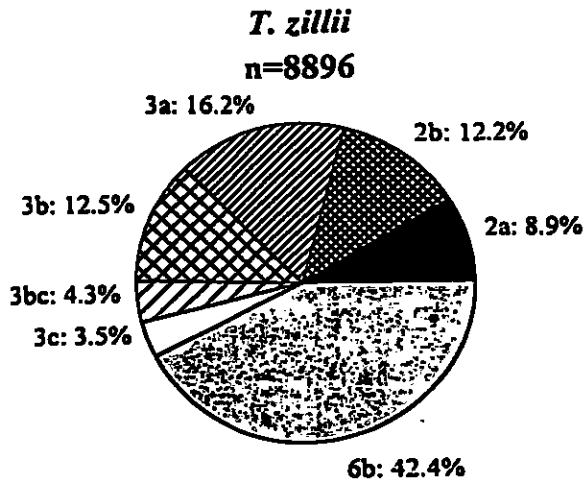
#### 1. אוכלוסיית האמנון המצוי

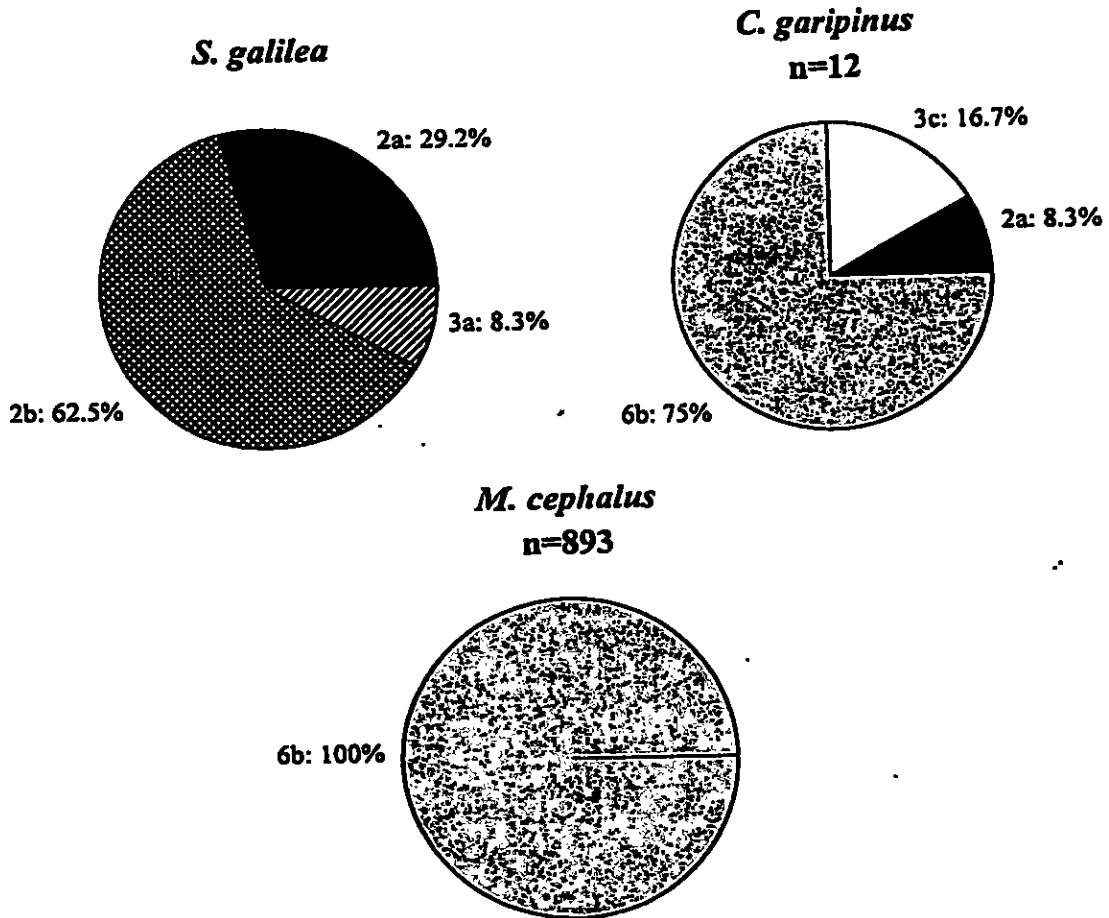
האמנון המצוי הוא המין הנפוץ ביותר בנחל הירקון. פרטים ממין זה נמצאו במהלך המחקר בכל התחנות לאורך הנחל (איור 24) אך תדירות הופעת האמנונים לא הייתה זהה. בתחנות שבירקון הנקי הופיעו אמנונים מצויים הופיעו אמנונים בכל הפעמים בהם נלכדו דגים בדיגום. תפוצת האמנונים בתחנות השונות לא הייתה הומוגנית ( $\chi^2=6525.8, P<<0.00001$ ). אוכלוסיית האמנונים הגדולה ביותר (כ-42% מכלל האמנונים שנלכדו במחקר) נמצאה בתחנה שבמורד סכר שבע טחנות (6b). כ-50% מכלל האמנונים המצויים נלכדו בארבע התחנות שבירקון הנקי (2a, 2b, 3a, 3b) ורק פחות מ-8% נלכדו בתחנות המזוהמות (3bc, 3c). גם בין ארבע התחנות שבירקון הנקי לא התחלקה אוכלוסיית האמנונים המצויים באופן הומוגני ( $\chi^2=194.2, P<<0.00001$ ).

ניתוח מבנה הגדלים (TL) של אוכלוסיות דגי האמנון המצוי בתחנות השונות מראה כי בתחנות בירקון הנקי (2a, 2b, 3a, 3b) היו קבוצות הגודל השולטות של דגים קטנים (31-40 מ"מ). התפלגות הגדלים בתחנות אלו סטתה מהתפלגות נורמאלית והייתה מוטיית לימין (איור 25). בתחנות המזוהמות היו



איור 23: תוצאות ניתוח רמת הדמיון בשכיחות היחסית הממוצעת (MDS ע"פ מרחק אויכלידי) של מיני הדגים השונים בתחנות שונות לאורך נחל הירקון.



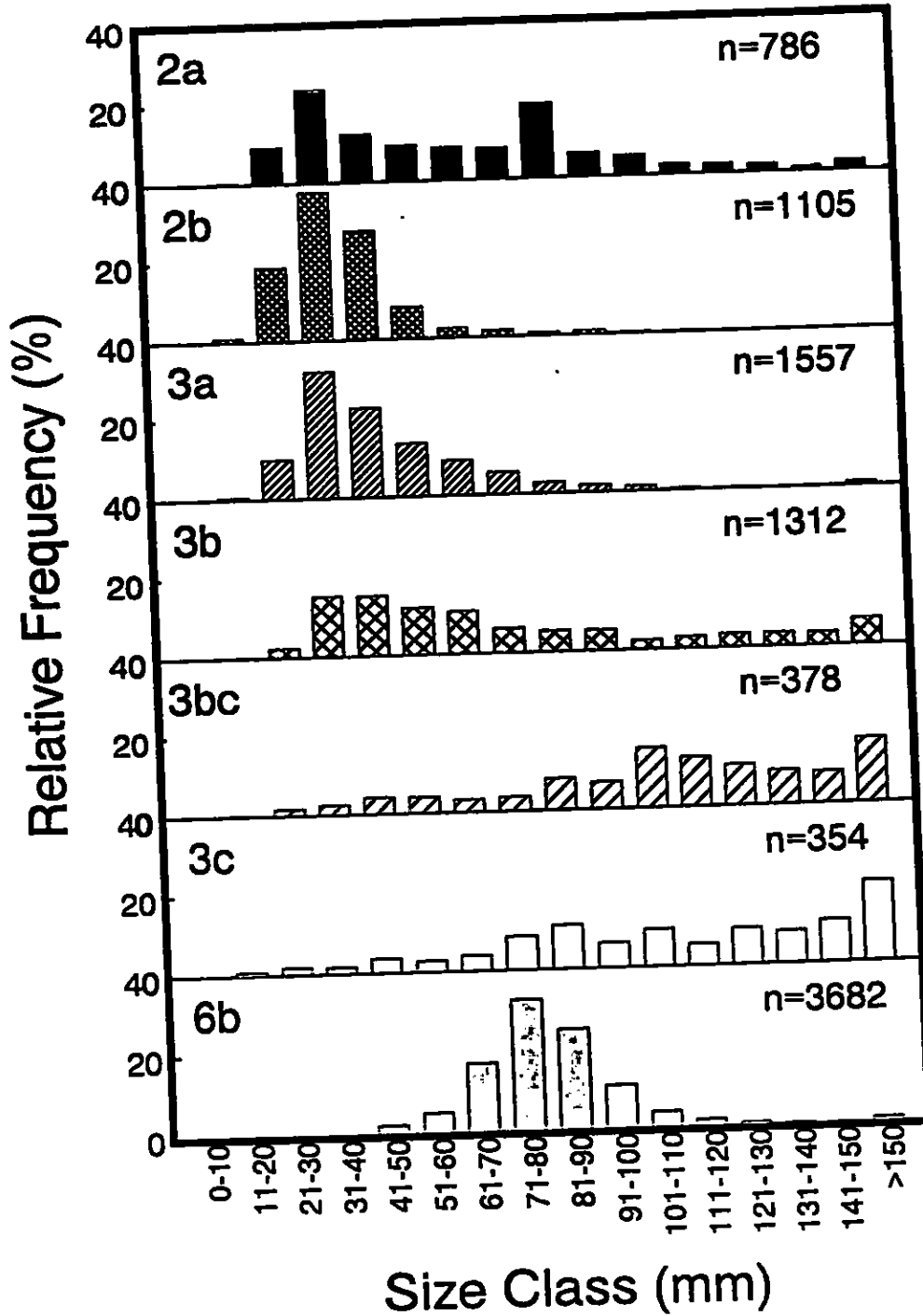


איור 24 : המשך.

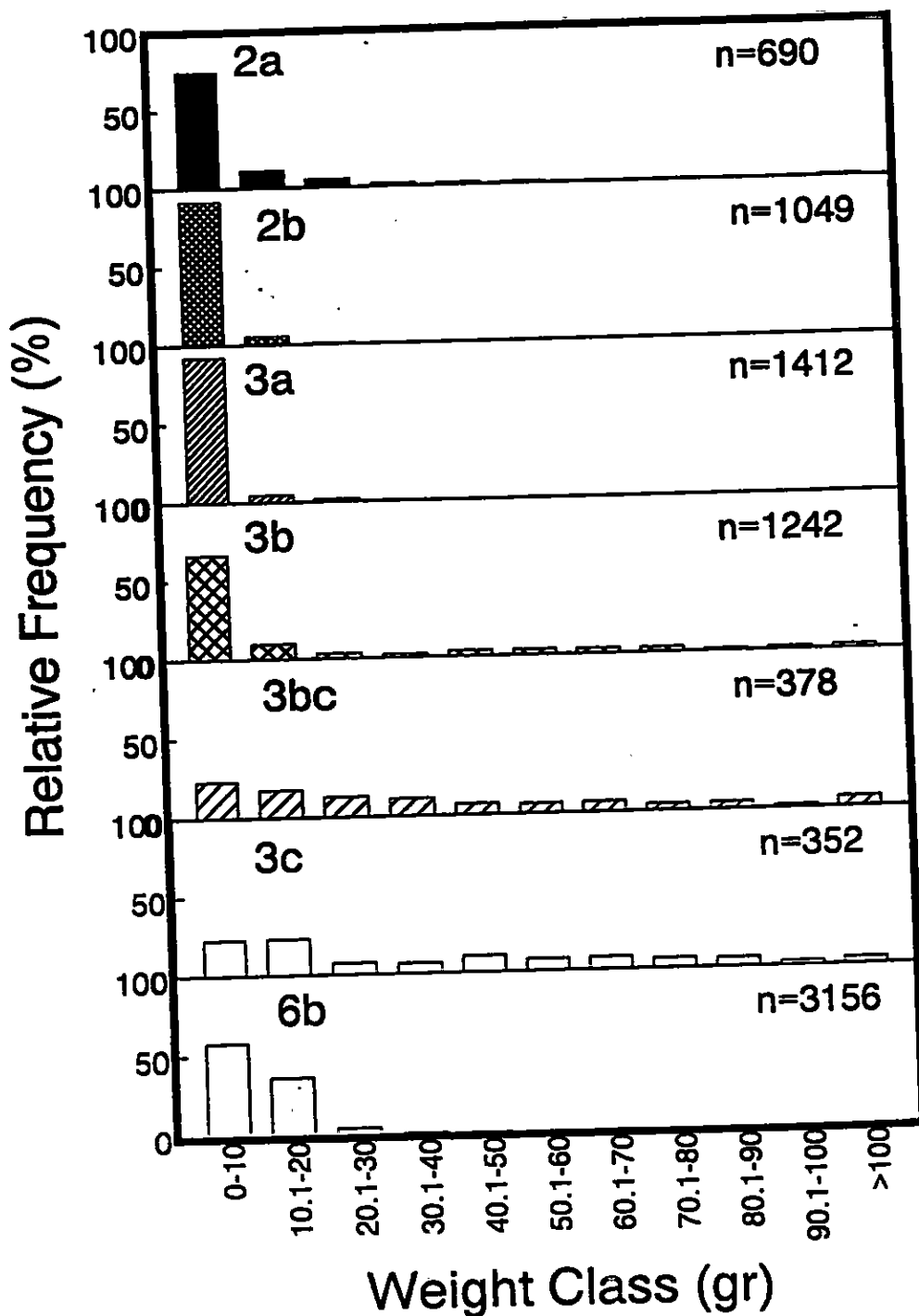
קבוצות הגודל השולטות של דגים גדולים ( $>150$  מ"מ). התפלגות גדלים נורמאלית נמצאה רק בתחנה שבמורד סכר שבע טחנות וקבוצת הגודל השלטת בתחנה זו היתה של אמנונים באורך 71-80 מ"מ (איור 25). התפלגות משקלי הגוף של אוכלוסיות האמנונים סתה מהתפלגות נורמאלית בכל התחנות שנדגמו לאורך הנחל ובכל התחנות היתה ההתפלגות מוטית לימין (איור 26). אולם, בעוד שאמנונים בעלי משקל גבוה נעדרו לחלוטין מתחנות שבירקון הנקי ומהתחנה במורד סכר שבע טחנות, נמצאו דגים כאלו בתחנות שבירקון המזוהם (איור 26).

שליטתם של אמנונים קטנים בתחנות שבירקון הנקי באה לידי ביטוי גם בניחוח התפלגות האורך של דגי האמנון המצוי (TL) עם הזמן (1996/97). אוכלוסיות האמנון המצוי מתחנות בירקון הנקי הראו דגם עונתי בולט (איור 27). דגם זה בא לידי ביטוי במיוחד בתחנות שבמעלה המפלים. במרבית עונות השנה נע טווח הגדלים של האמנונים שנדגמו בתחנות אלו בין 30 ל-100 מ"מ עם ממוצע וחציון הקרובים

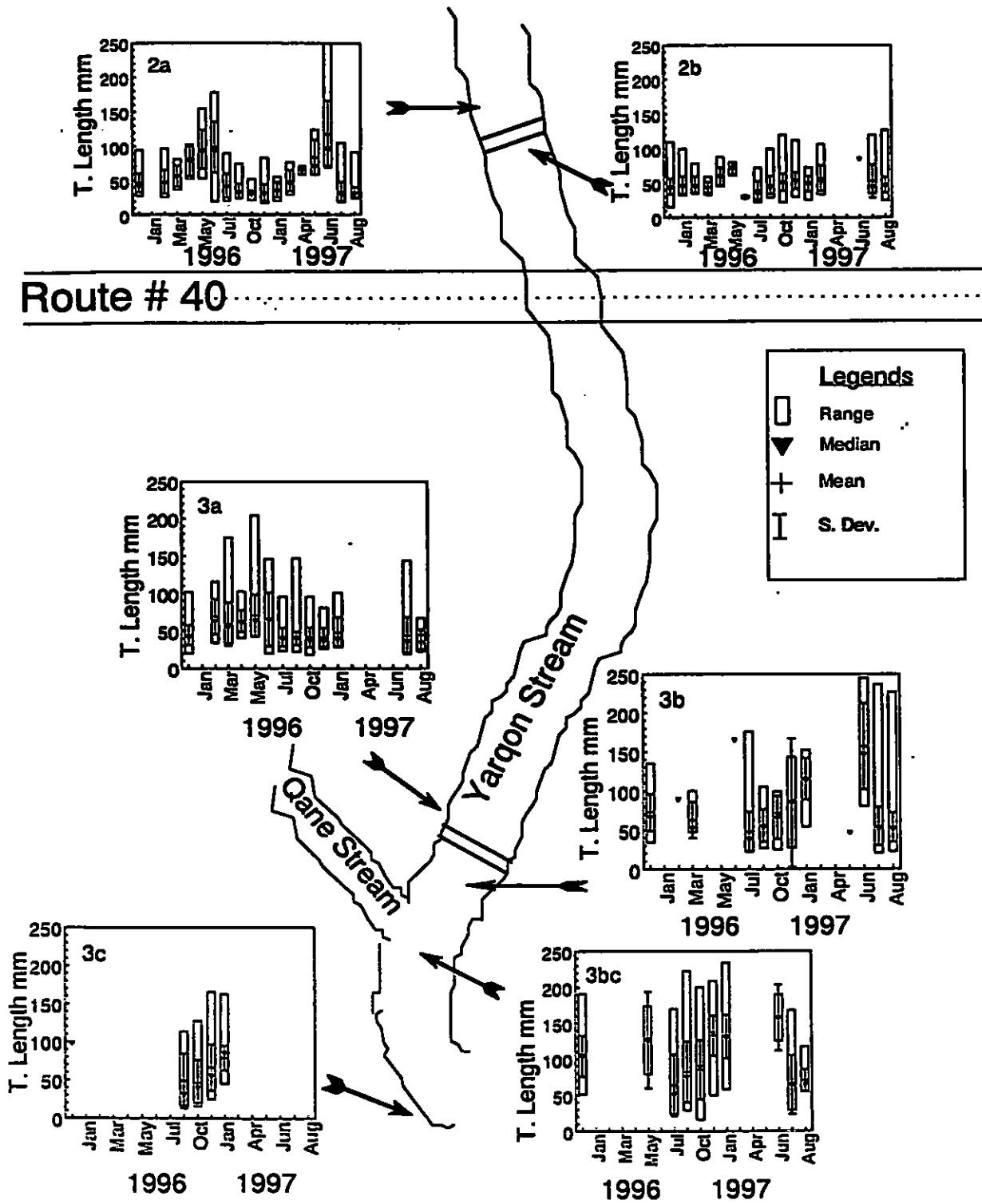




איור 25 : התפלגות אורך הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997)



איור 26 : התפלגות משקל הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997).



איור 27: השתנות טווח, חציון, ממוצע וסטית התקן עם הזמן של אורך הגוף של דגי אמנון מצוי מתחנות לפני ואחרי כניסת הזיהום מנחל קנה לנחל ירקון (1996-1997).

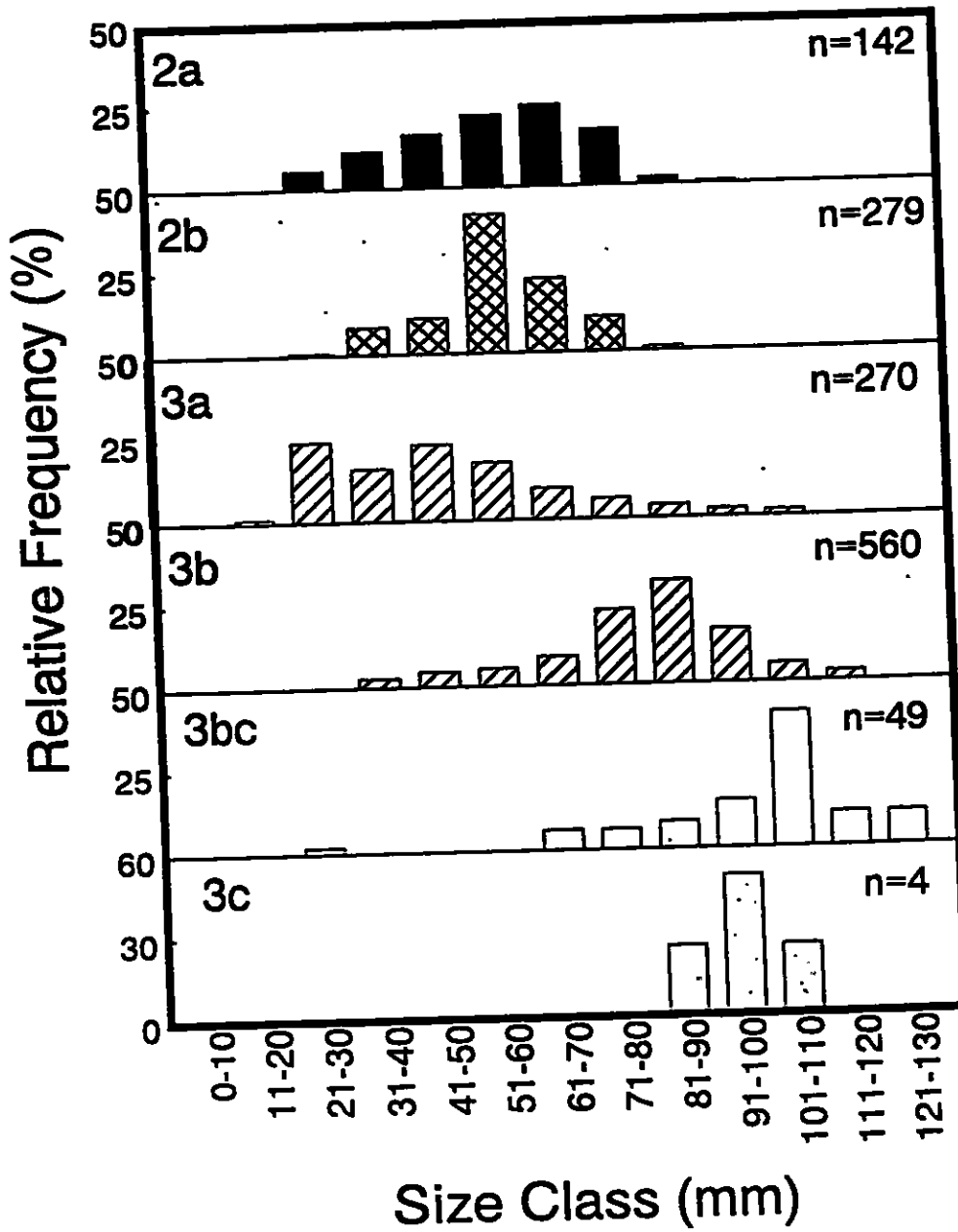
ל-50 מ"מ. לעומת זאת, בחודשים מאי - יולי גדל טווח הגדלים של דגי האמנון בתחנות אלו באופן ניכר והופיעו בהן פרטים גדולים יותר ובכלל זה דגים שאורכם עולה אף על 200 מ"מ. ניתן להבחין בדגם העונתי זה גם בתחנה 2b שבמורד מפל גשר כביש מס. 40, אך בתחנה 3b שלפני מפגש ירקון קנה הדגם העונתי קשה יותר לאבחון כנראה בשל השפעת מים מזוהמים שמקורם בנחל קנה.

לשינוי באיכות המים כתוצאה מהפעלת מתקן טיהור שפכי הוד השרון וכפר סבא השפעה גם על מבנה אוכלוסיות הדגים. כך למשל דגי האמנון המצוי שנאספו בתחנה 3c לפני הפעלת מתקן הטיהור (בחורף 1994) היו תמיד דגים בוגרים וגדולי גוף וקבוצות הגודל הקטנות (60-30 ס"מ) נעדרו מיתחנה זו לחלוטין לפני הפעלת מתקן הטיהור (ראה גם איור 10 בדו"ח מסכם 1995/6). בתקופה בה חל שיפור באיכות המים בין הפעלת מתקן הטיהור לשיטפונות החורף של 1997 הייתה התפלגות הגדלים של דגי האמנון דומה לזו שנמדדה בבתי גידול נקיים והאוכלוסייה נשלטה ע"י דגים קטני גוף.

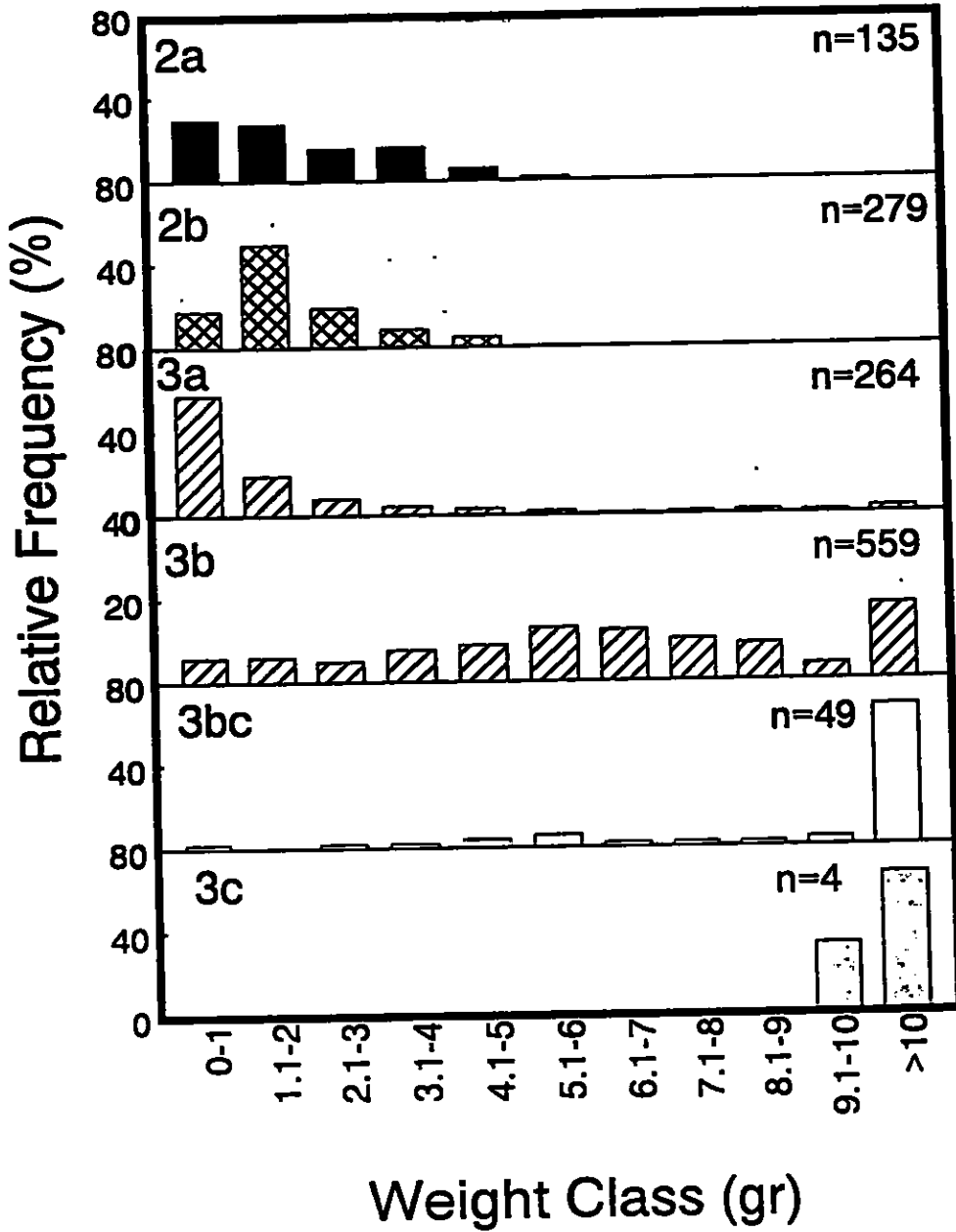
## 2. אוכלוסיית לבנון הירקון

דגי לבנון הירקון נמצאו בכל התחנות שבמעלה נחל הירקון אך לא בתחנה שבמורד סכר שבע טחנות (6b; איור 24). תפוצת הלבנונים בתחנות השונות לא הייתה הומוגנית ( $\chi^2=739.7$ ,  $P<<0.00001$ ). כ-95% מכלל הלבנונים נלכדו בארבע התחנות שבירקון הנקי (2a, 2b, 3a, 3b) ורק פחות מ-5% נלכדו בתחנות המזוהמות (3c, 3bc). בין השאר ממצא זה הוא פועל יוצא מכך שלבנונים נעדרו במהלך מרבית תקופת המחקר לחלוטין מתחנות בירקון המזוהם וחדרו לבתי הגידול המזוהמים רק בתקופות מוגבלות של שיפור באיכות המים בתחנות אלו (למשל בתקופה שלאחר הפעלת מכון הטיהור לשפכי כפר סבא והוד השרון). יחד עם זאת נמצא כי תפוצת הלבנונים בארבע התחנות שבירקון הנקי, גם היא לא הייתה הומוגנית ( $\chi^2=68.5$ ,  $P<<0.00001$ ). לעומת זאת, התפוצה בשלוש התחנות שבין מורד סכר הארבעים למפגש קנה ירקון (2b, 3a, 3b) הייתה הומוגנית ( $\chi^2=2.61$ ,  $P=0.27$ ).

ניתוח מבנה הגדלים של אוכלוסיות הלבנון מהתחנות השונות מצביע על תופעה דומה של ריבוי דגים קטני גוף בתחנות הנקיות (קבוצות הגודל השולטות 61-70, 51-60 ו-41-50 מ"מ בתחנות 2a, 2b, ו-3a בהתאמה; איור 28). כפועל יוצא, התפלגות אורכי הגוף ומשקלי הגוף של דגים מתחנות אלו סטתה מהתפלגות נורמאלית והייתה מוטית לכיוון אורך ומשקל גוף קטן (איורים 28, 29). דגים שאורכם גדול מ-80 מ"מ ומשקלם גבוה מ-5 גרם נעדרו כמעט לחלוטין מתחנות אלו. לעומת זאת, התפלגות אורכי ומשקלי הלבנונים בתחנות בירקון המזוהם הייתה מוטית לכיוון אורך ומשקל גוף גדול ולמעלה מ-80% מאוכלוסיית הלבנונים בקטע נחל זה התאפיינה באורך גוף גדול מ-80 מ"מ ובמשקל גוף גדול מ-10 גרם (איור 29). מתחנות אלו נעדרו כמעט לחלוטין דגים שאורך גופם היה קטן מ-80 מ"מ ומשקל גופם היה קטן מ-5 גרם. ראוי להדגיש כי שלא כמו אצל האמנונים לא גרם השיפור באיכות המים עקב הפעלת מתקן טיהור שפכי כפר סבא הוד השרון להופעת לבנונים קטנים בתחנות שבירקון המזוהם.



איור 28 : התפלגות אורך הגוף של דגי לבנון הירקון מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997).



איור 29 : התפלגות משקל הגוף של דגי לבנון הירקון מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997).

יוצאת דופן במבנה הגדלים של אוכלוסיית הלבנונים הייתה תחנה b3 שמבנה הגדלים של אוכלוסיית הלבנונים בה הראה מאפייני בנייים לתחנות בירקון הנקי ובירקון המזוהם. איכות המים בתחנה זו דומה בד"כ לזו של שאר התחנות בירקון הנקי (כפועל יוצא ממיקומה לפני מפגש הנחלים ירקון וקנה). קבוצת הגודל השלטת באוכלוסיית הלבנון של תחנה זו (90-81 מ"מ) הייתה של דגים גדולים יחסית לשאר התחנות בירקון הנקי, אך קטנים בהשוואה לקבוצות הגודל השולטות באוכלוסיות הלבנון מהתחנות שבירקון המזוהם (110-101 מ"מ בתחנה 3bc, 100-91 מ"מ בתחנה 3c; איור 28). התפלגות משקלי הגוף בתחנה b3 הייתה נורמאלית וקבוצות המשקל השולטות היו של דגים שמשקלם 5-7 גרם. כ-50% מאוכלוסיית הלבנונים בתחנה זו היו בעלי משקל גוף גדול מ-5 גרם וכ-15% התאפיינו במשקל גוף גבוה מ-10 גרם (איור 29).

### 5. אוכלוסיית הקרפיון המצוי

דגי קרפיון מצוי נמצאו במספרים קטנים בכל התחנות לאורך הירקון (איור 24). למעלה מ-90% מהקרפיונים נלכדו בתחנות שבירקון המזוהם, מהם כ-82% בתחנה b6 שבמורד סכר שבע טחנות (איור 24;  $\chi^2=1451.6$ ,  $P<<0.00001$ ). בדומה לממצאים על מבנה הגדלים של אוכלוסיות האמנון המצוי ואוכלוסיות הלבנון גם הקרפיונים הראו הבדל במבנה הגדלים בין האוכלוסיות בתחנות בירקון הנקי לאוכלוסיות מתחנות שבירקון המזוהם. למרות שמספר הקרפיונים שנלכדו בתחנות בירקון הנקי היה נמוך יחסית ניתן להבחין בברור שמרבית הדגים שנלכדו בקטע נחל זה היו קטנים ( $TL<140$  מ"מ) בעוד שמרבית הקרפיונים שנלכדו בתחנות שבירקון המזוהם היו גדולי גוף ( $TL>140$  מ"מ; איור 30).

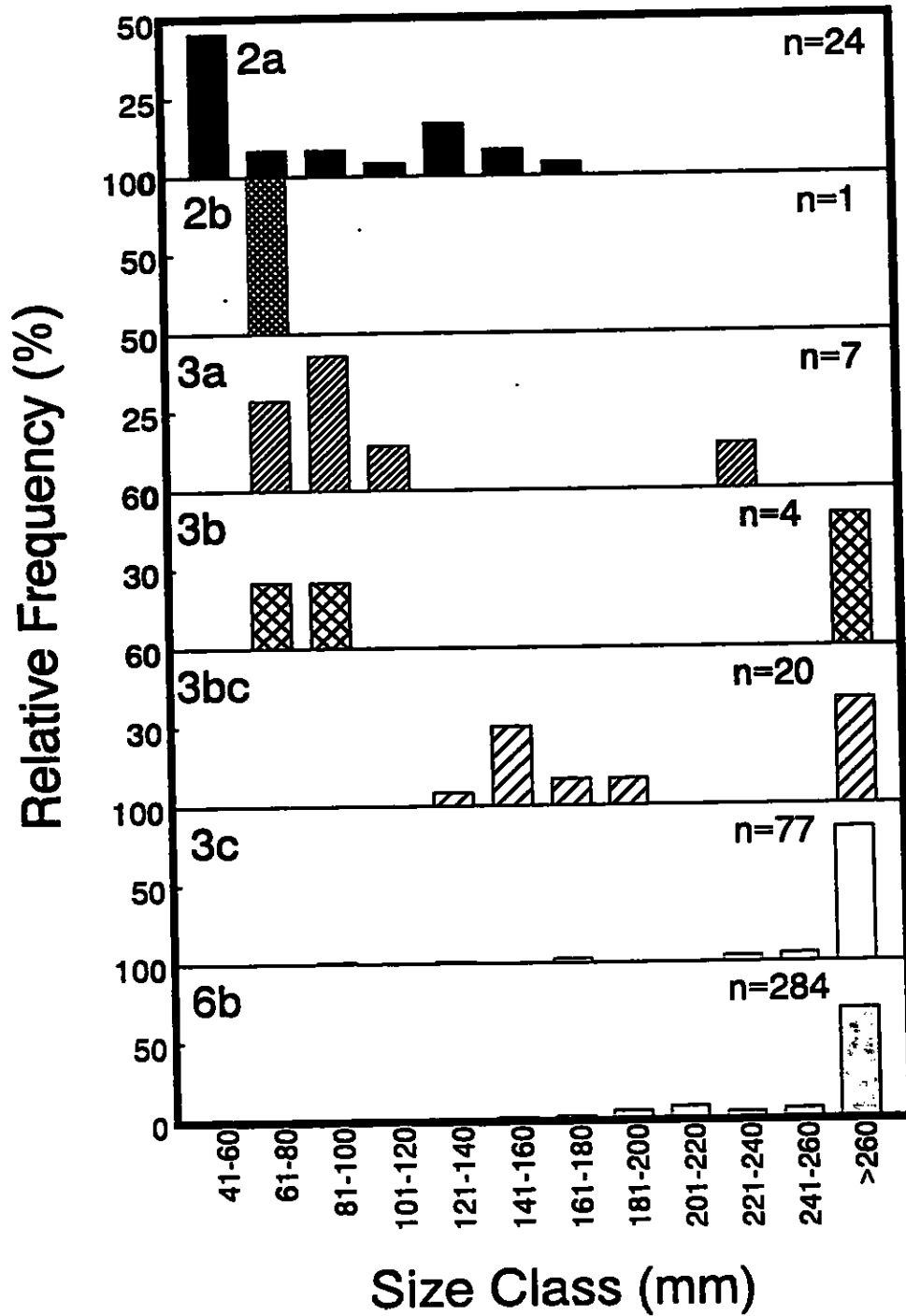
### 3. אוכלוסיית הגמבוזיה

דגי גמבוזיה נמצאו בכל התחנות לאורך הירקון (איור 24), אך תפוצת הגמבוזיות בתחנות השונות לא הייתה הומוגנית ( $\chi^2=2109.1$ ,  $P<<0.00001$ ). כ-91% מכלל דגי הגמבוזיה שנלכדו במהלך המחקר נלכדו בארבע התחנות שבירקון הנקי (2a, 2b, 3a, 3b) ורק פחות מ-9% נלכדו בתחנות המזוהמות (3bc, 3c, 6b). בדומה לממצאים על אוכלוסיית הלבנון ממצא זה מבטא את התופעה של חדירת דגי גמבוזיה לתחנות בירקון המזוהם רק בתקופות של שיפור באיכות המים. אנליזה נפרדת של תפוצת דגי הגמבוזיה בארבע התחנות שבירקון הנקי מלמדת על תפוצה לא הומוגנית בתחנות שבקטע הנחל הנקי ( $\chi^2=157.1$ ,  $P<<0.00001$ ) ותפוצה הומוגנית בין התחנות שבירקון המזוהם ( $\chi^2=8.5$ ,  $P=0.0142$ ).

שלא כמו באוכלוסיות האמנון המצוי, לבנון תל אביב והקרפיון המצוי, קשה להצביע על השפעה של ההבדלים באיכות המים בקטעי הנחל השונים על מבנה הגדלים של אוכלוסיות הגמבוזיה. מבנה הגדלים של אוכלוסיות הגמבוזיה היה דומה בתחנות השונות (קבוצת גודל שולטת:  $30<TL<20$  מ"מ) ובכל התחנות לא ניתן להבחין בסטייה של מבנה הגדלים מהתפלגות נורמאלית (איור 31).

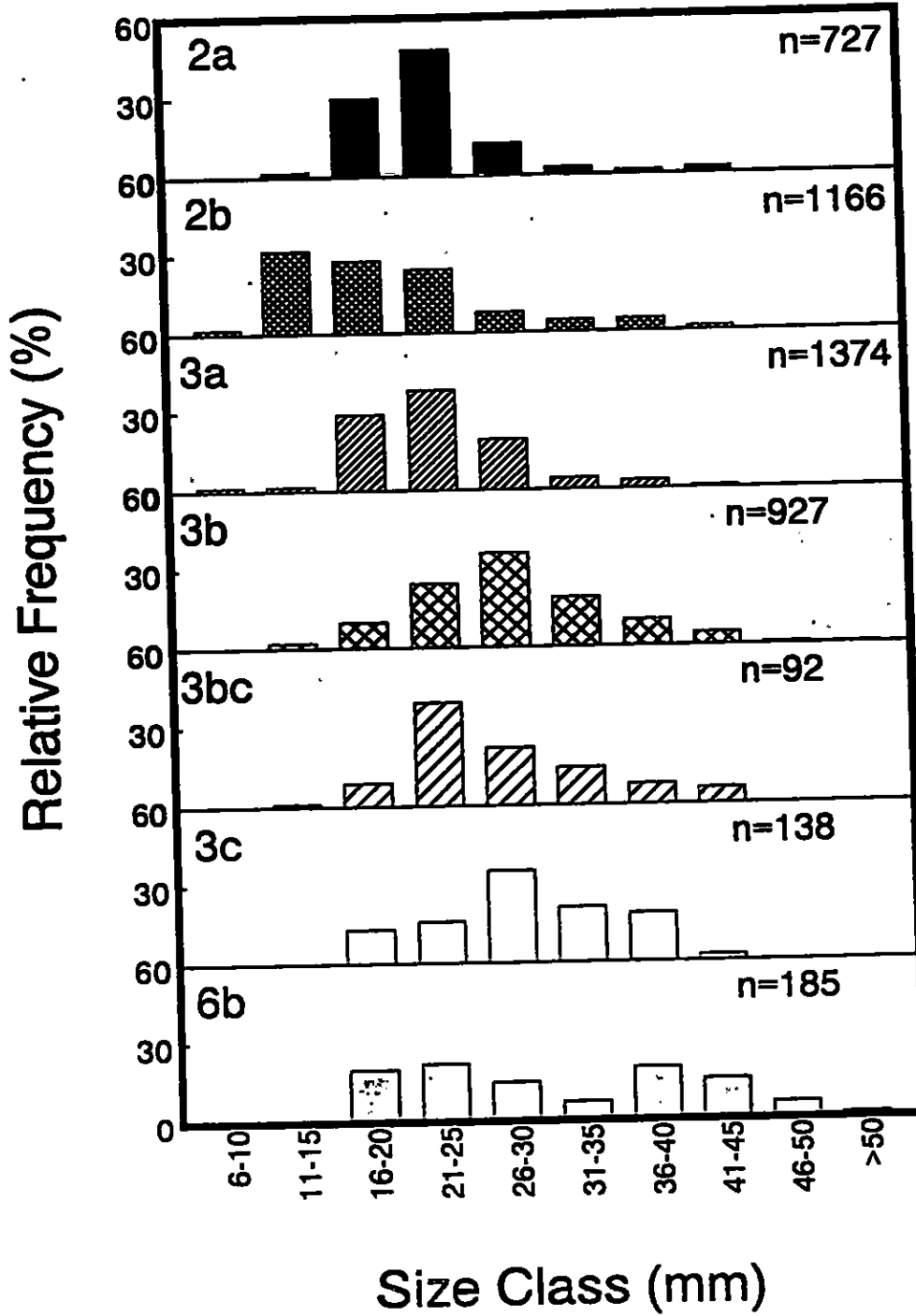
### 4. אוכלוסיית הסיפנים

אוכלוסיית הסיפנים בירקון היא ככל הנראה אוכלוסייה של פליטי תרבות הנמצאת בנחל 30 שנה לפחות. תפוצת הסיפנים בנחל אינה הומוגנית ( $\chi^2=228.15$ ,  $P<<0.00001$ ). ומוגבלת לקטע הנחל הנקי בלבד (איור 24). יחד עם זאת נוכחות יציבה של מספר ניכר של פרטים ממין זה לאורך כל שנות המחקר (בסה"כ נלכדו למעלה מ-350 פרטים), נוכחותן של נקבות רבות במצב רבייה ומבנה גדלים הכולל צעירים



איור 30 : התפלגות אורך הגוף של דגי קרפיון מצוי מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997).





איור 31 : התפלגות אורך הגוף של דגי גמבוזיה מתחנות שונות לאורך נחל הירקון (1994-1997).

ובוגרים ( $20 < TL < 88$  מ"מ) מעידה על כך שאוכלוסיית מין זה נחל הירקון התבססה וכיום מהווים הסיפנים חלק בלתי נפרד מאסופת הדגים נחל. בדומה ללבנון הירקון ולגמבוזיות חדרו בתקופות של שיפור באיכות המים דגי סיפן לתחנות בירקון המזוהם (3c, 3bc) אך בניגוד לגמבוזיה לא הגיעה תפוצת מין זה לשבע טחנות.

#### 6. אוכלוסיית הצלופחים

צלופחים מצויים ( $n=199$ ) נמצאו בירקון הן בתחנות שבקטע הנחל הנקי והן בתחנות שבקטע הנחל המזוהם (איור 24), אם כי תפוצת המין לאורך הנחל לא הייתה הומוגנית ( $\chi^2=1432.1, P < 0.00001$ ) ו-60% מהצלופחים נמצאו במורד שבע טחנות. בירקון הנקי הראו הצלופחים העדפה מובהקת לתחנות שבמורד מפלים (66%) בהשוואה לתחנות שבמעלה נחלים ( $\chi^2=6.73, P < 0.035$ ). התפלגות הופעת הצלופחים בשנים השונות לא הייתה אחידה ( $\chi^2=12.08, P < 0.007$ ) וב-1997 היה מספר הצלופחים שנלכדו גבוה בכפי שנים בהשוואה לשנים הקודמות.

אוכלוסיית הצלופחים בירקון התחלקה לשתי קבוצות גודל עיקריות. הקבוצה הדומיננטית (61% מכלל הצלופחים שנלכדו במהלך המחקר) הייתה של צלופחים קטנים באורך 70-200 מ"מ. פרטים מקבוצת גודל זו היו נפוצים הן בתחנות שבמורד הירקון והן בתחנות בירקון הנקי והם הופיעו בדגימות שאספו במספרים גדולים יחסית בעיקר בחודשים מרץ - יולי בהם עולים דגי הצלופחים במעלה הנחלים. בקבוצת הגודל העיקרית השנייה (29%) מהצלופחים נכללו דגים באורך שבין 400-900 מ"מ. מרבית הדגים בקבוצה זו (73% מהצלופחים הגדולים) נלכדו בתחנות בירקון הנקי.

#### 7. אוכלוסיית אמנון הגליל

אמנון הגליל אינו מין טיפוסי למרבית הירקון. דגים ממין זה ( $n=51$ ) נמצאו באופן ספורדי בתחנות במעלה הירקון הנקי (עד סכר מפגש קנה ירקון) בשנים 1995 ו-1996 אך לא ב-1994 וב-1997. גם בין התחנות בהן נמצאו דגי אמנון הגליל לא הייתה התפלגות תפוצת הדגים דומה ( $\chi^2=21.5, P < 0.00002$ ). בשל המספר המצומצם יחסית של אמנוני גליל שנלכדו במהלך המחקר לא בוצעה לגבי מין זה אנליזת גדלים מפורטת אך מרבית הדגים שנלכדו היו קטנים מ-80 מ"מ.

#### 8. אוכלוסיית השפמנונים

אוכלוסיית השפמנונים בירקון אופיינית כנראה בעיקר לבתי גידול מזוהמים. בסך הכל נלכדו במהלך המחקר כ-14 שפמנונים ומספר דומה של שפמנונים נצפו אך לא נלכדו. כמו כן נצפו כמה עשרות שפמנונים מתים במורד שבע תחנות באירוע של תמותת דגים בפברואר 1996. למרות ההופעה הדלילה של שפמנונים הייתה הופעתם קבועה והומוגנית יחסית לאורך כל תקופת המחקר ( $\chi^2=3.2, P=0.87$ ). ממצאים אלה מרמזים על כך שבירקון המזוהם קיימת אוכלוסייה קבועה אם כי דלילה יחסית של שפמנונים. למעט 2 פרטים שנלכדו במאי ובאוגוסט 1997 היו כל הפרטים שנלכדו במהלך המחקר פרטים בוגרים ( $247 < TL < 510$  מ"מ) אך נוכחותם של הפרטים הקטנים מעידה על כך שלפחות בשנים מסוימות קיימת רבייה של שפמנונים בירקון.

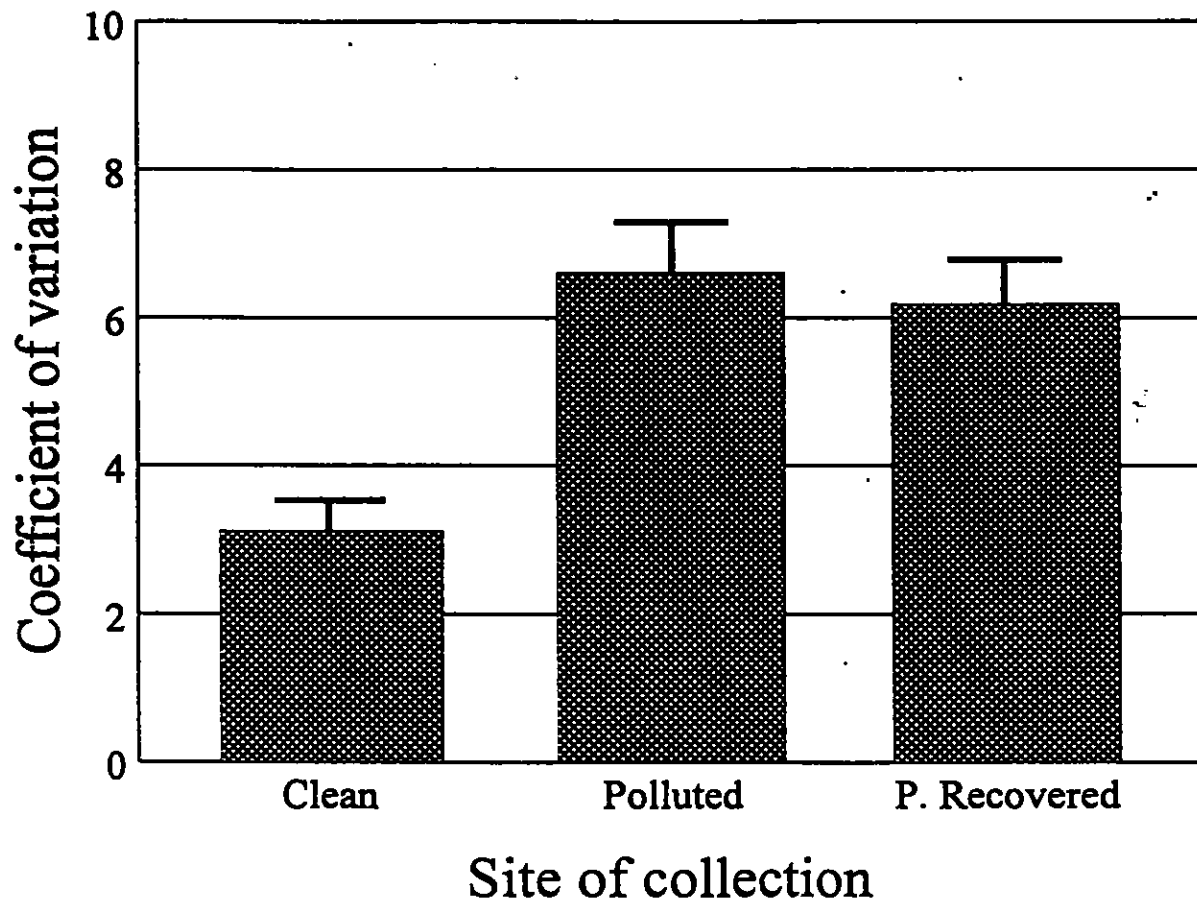
## 9. אוכלוסיית הבורים

דגי קיפון בורי נמצאו בירקון רק במורד סכר שבע טחנות (6b). הופעתם של הבורים לא הייתה סדירה ( $\chi^2=2025.1$ ,  $P<<0.00001$ ). לעתים נלכדו במורד סכר טחנות להקות בורים גדולות ( $CPUE>150$ ) ובמיקרים אחרים (וגם בחודשים עוקבים) לא נמצאו בתחנה זו בורים בכלל. טווח הגדלים של הבורים היה מצומצם יחסית  $230 < TL < 124$ ,  $\bar{X}=167$  מ"מ) וכלל בעיקר דגים צעירים.

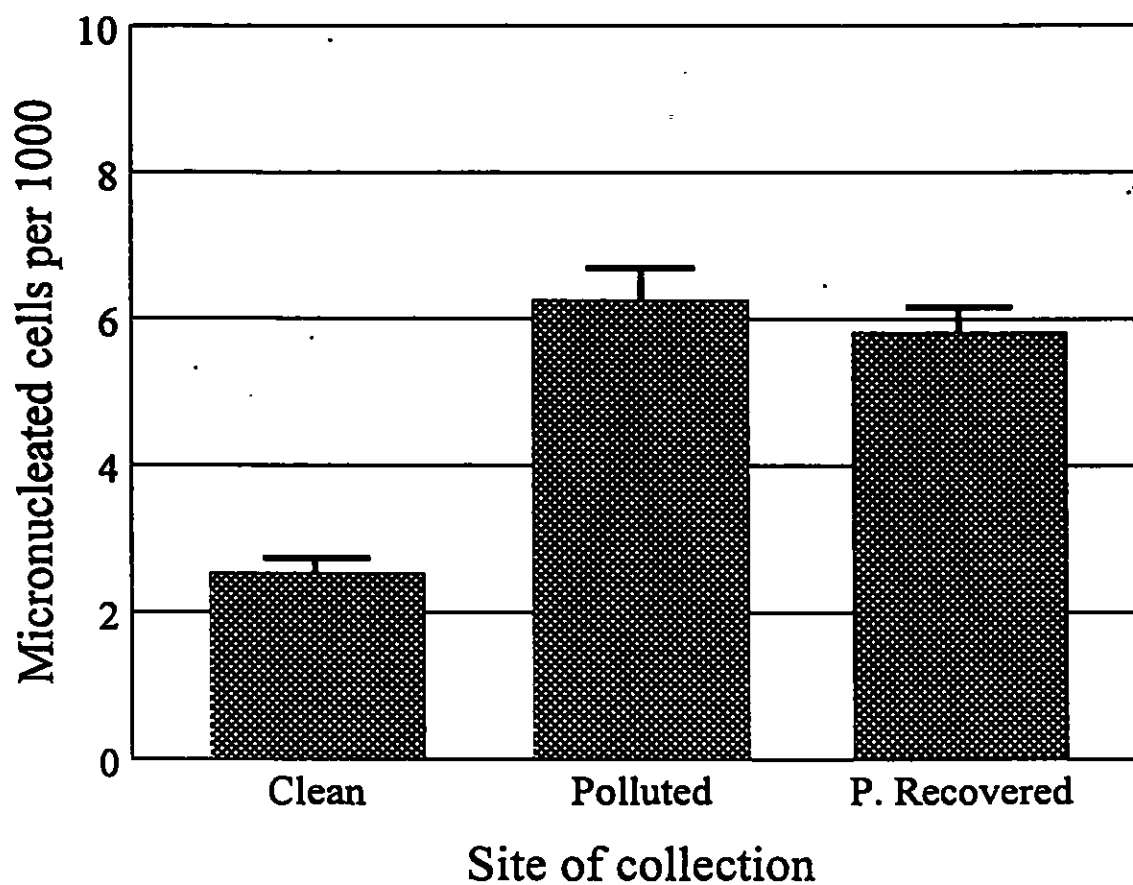
## ד. המצב הבריאותי של הדגים

בחינת מקדם השונות הממוצע (mean CV) של כמות ה-DNA בגרעיני אריטרואיטים מדגי אמנון מצוי (1000 תאים מ-10 דגים בכל תחנה) מראה שהערך הממוצע של מקדם השונות בדגים מתחנות מזוהמות או אתרים שאיכות המים בהם משוקמת חלקית גבוה באופן מובהק בהשוואה לערך הממוצע של מקדם השונות בדגים מתחנות בירקון הנקי (איור 32). לעומת זאת לא נמצא הבדל מובהק בין מקדם השונות של דגים מתחנות שבירקון המזוהם (3c ; 3bc) לבין מקדם השונות של דגים מהתחנה שבה איכות המים משוקמת חלקית (6b). בחינת הופעת גרעינון כמדד לפגיעה בכרומוזומים (נבחנו 60,000 תאים מ-20 אמנונים מכל אתר) מצביעה גם היא על הבדלים מובהקים בין דגים מאתרים נקיים לדגים מתחנות בהן המים מזוהמים או מאתרים בהם איכות המים משוקמת חלקית (איור 33). גם לגבי מדד זה לא נמצא הבדל מובהק בין דגים מאתרים עם מים מזוהמים לבין דגים מאתרים עם מים משוקמים חלקית (איור 33). בחינת כמות השברים ב-DNA חד-גדילי בדגי אמנון (נבחנו 1000 תאים מ-10 אמנונים מכל תחנה) מצביעה על עליה ניכרת בפרופורציה של DNA חד-גדילי הן תחנות בהן המים מזוהמים והן בתחנה שבה איכות המים משוקמת חלקית (איור 34). בהשוואה לאזור הנקי המספר הממוצע של פגיעות הקשורות בהופעת שברי DNA חד גדילי עקב חשיפה למזהמים היה 2.96 עבור אמנונים מהתחנות המזוהמות ו-3.41 עבור אמנונים מתחנה בה המים משוקמים חלקית.

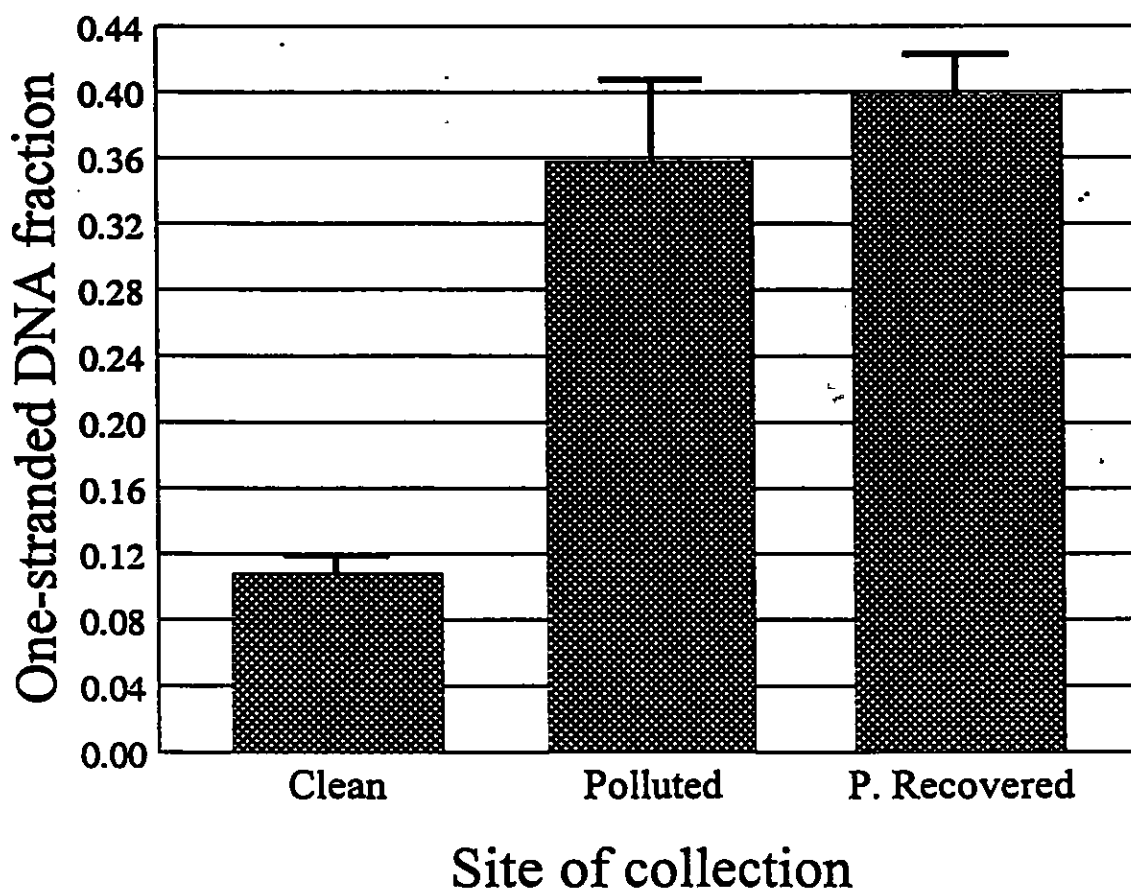
תדירות האריטרואיטים עם הופעת גרעינונים היתה דומה בקרפיונים בשפמנונים ובאמנונים מתחנות בהן המים מזוהמים או משוקמים חלקית. בדיקות ברמה התאית והריקמתית העידו על שינויים היפטופתולוגיים באמנונים, בקרפיונים ובמיוחד בשפמנונים מתחנות בירקון המזוהם. שינויים אלו כוללים היפרטרופיה של הרטיקולוס האנדופלסמתי בתאי כבד, הגדלה ניכרת בליזוזימים, יצירת בועיות (autophagic vacuoles) בתאים, יצירת מוקדי מקרופגים מלנומים (melanomacrophages foci) וכן יצור מוגבר של ריר. באמנונים מצויים, בקרפיונים ובשפמנונים מתחנות בירקון המזוהם והמשוקם חלקית נמצאו גם פגיעות נמק ותהליכי התחדשות לאחר נמק בעיקר בכבד, בכליות, בזימים ובגונדות. בשני שפמנונים נמצאו פגמים התפתחותיים חמורים כגון התנוונות הגונדות ועיוותים בחלל בית הבליעה ובזימים. הבדיקות הפלואורומטריות הפרלימטריות שערכנו מראות כי הכבד והמרה של אמנונים מצויים וקרפיונים מבתי גידול מזוהמים ומשוקמים חלקית מכילים יותר הידרו-פחממנים פוליציקלים ארומטיים (PAHs) בהשוואה לאמנונים מצויים מבתי גידול נקיים.



איור 32 : ההבדל במקדם השונות (C.V.) בכמות ה-DNA בדגי אמנון מצוי שנאספו בנחל הירקון מאתרים נקיים, מזוהמים ואתר שאיכות המים בו משוקמת חלקית



איור 33 : מספר התאים בעלי גרעינים פגועים (לא לפי תאים שנבדקו) בדגי אמנון מצוי שנאספו בנחל הירקון מאתרים נקיים, מזוהמים ואתר שאיכות המים בו משוקמת חלקית.



איור 34: הכמות היחסית של DNA פגוע (חד גדילי) בתאי אמנונים מאתרים נקיים, ומזוהמים בנחל הירקון ומאתר שבו איכות המים משוקמת חלקית.

## דיון מסכם

השימוש בביוטה ככלי מדעי לניטור והערכת אקוסיסטמות אקוויטיות צובר תאוצה רבה ברחבי העולם (למשל: Olive et al., 1988; Steinberg and Schiefele, 1988; Gibbons & Loeb, 1994; Munkittrik, 1994). תנאי המערכת בנחל הירקון המתאפיין בחלוקה ברורה יחסית לשני קטעים, נקי ומזוהם, כשביניהם סכר המונע בדרך כלל חדירת זיהום לקטע הנקי מקלים על בחינת השפעת ההבדלים באיכות המים על הביוטה בכלל ועל אסופת הדגים בפרט. המטרה הכוללת הראשונה של המחקר שביצענו הייתה לנסות ולאפיין האם ניתן להצביע על הבדלים במרחב (spatial differences) באיכות המים לאורך נחל הירקון.

ממצאי המחקר מצביעים על כך שלכאורה קיים דמיון כללי רב באיכות המים בין תחנות שונות לאורך הנחל. דמיון זה בא לידי ביטוי במקדמי קורלאציה גבוהים בין איכויות המים בתחנות השונות לאורך הנחל (טבלה 3), וכן בכך שההבדלים בין חלק ממדדי איכות המים (טמפרטורה, חמצן) שנמדדו בתחנות השונות לא היו מובהקים למרות מספר גבוה יחסית של חזרות. הסיבה לממצאים אלו נעוצה בכך שלגבי מרבית המדדים הללו השונות בין התחנות הייתה נמוכה יחסית בהשוואה לשונות בזמן בתוך כל תחנה ותחנה. בתנאים כאלו פוחתת עוצמת המבחן הסטטיסטי ועולה ההסתברות שלא להבחין בהבדלים מובהקים בין התחנות גם כאשר הבדלים כאלו קיימים (Carpenter et al., 1995).

למרות האמור לעיל, תוצאות האנליזה הרב משתנית ותוצאות מבחני השונות הפרמטריים של חלק ממדדי איכות מים (מוליכות, עומס אורגני) מצביעות על הממצאים הבאים:

א. שתי שיטות האנליזה הרב משתנית שבהן השתמשנו (אנליזת ה-PCA ואנליזת ה-MDS) מראות חלוקה ברורה של התחנות שדגמנו לשתי קבוצות עיקריות: האחת של תחנות הממוקמות בקטע הנחל הנקי והשנייה של תחנות הממוקמות בקטע הנחל המזוהם.

ב. בשתי האנליזות הרב משתניות רמת חוסר הזהות בין התחנה שבמורד שבע תחנות לשאר התחנות בירקון היא הגבוהה ביותר. תחנה זו היא היחידה מבין התחנות במחקר שפתוחה לתרומה של מי הים. כפועל יוצא היא מתאפיינת בעליה מסוימת במוליכות החשמלית (עד  $300 \mu\text{Moh cm}^{-1}$ ).

ג. אנליזת ה-MDS שבאמצעותה מדדנו את המרחק האויקלידי בין התחנות השונות על סמך נתוני איכות המים שלהן הראתה בנוסף לחלוקה הנ"ל חלוקה משנית של התחנות בירקון הנקי לצמדים על בסיס מיקומן הגיאוגרפי. אולם, בעוד שהחלוקה הראשית לקבוצות מתבטאת בשני ממדים, החלוקה המשנית מתבטאת בעיקר לאורך מימד אחד (המימד השני).

ד. מבחן השונות הפרמטרי מלמד על הבדלים מובהקים בין תחנות רק במוליכות ובעומס האורגני. מבין שני מדדים אלו השונות בין התחנות במוליכות החשמלית הייתה נמוכה בהשוואה לתנודות המוליכות עם הזמן בכל תחנה. לעומת זאת, השונות בערכי העומס האורגני הייתה גבוהה יותר בין תחנות מאשר

השונויות בתוך כל תחנה עם הזמן. לפיכך לא יפלא שההבדל במדד זה בין התחנות שבירקון הנקי לתחנות שבירקון המזוהם היה מובהק ביותר.

ה. אנליזת ה-PCA מלמדת בנוסף, כי עיקר השונות של איכות המים במרחב מוסברת ע"י ציר אחד. תופעה זו מרמזת על כך שמשנתה סביבתי אחד מהוה מקור עיקרי לשונות זו. ניתן ליחס זאת לתרומה הרבה שיש להבדלים הגדולים בעומס האורגני בין התחנות שבאזור הנקי לתחנות שבקטע הנחל המזוהם.

ו. למרות שהשיפור העיקרי באיכות המים בקטע הנחל שבין מפגש ירקון קנה למפגש הדריס קנה התבטא בירידה בעומס האורגני ולא במוליכות, די היה בשינוי במדד יחיד זה להביא לכך שבאנליזת ה-MDS הנפרדת שערכנו לתקופת השיפור היה מעבר של תחנה מקבוצת התחנות המזוהמות לקבוצת התחנות הנקיות. ממצא זה תומך במסקנה הקודמת על התרומה העיקרית שיש לעומס האורגני לשונות הכוללת באיכות המים בין התחנות השונות לאורך הירקון.

**לסיכום חלק זה של המחקר נמצא כי למרות מקדמי קורלציה גבוהים יחסית בין נתוני איכות המים שנמדדו בכל התחנות לאורך הירקון, ניתן להצביע על חלוקה מרחבית ברורה באיכות המים בין התחנות בקטע הירקון הנקי לבין התחנות בירקון המזוהם. העומס האורגני היה המדד העיקרי שהשפיע על חלוקה זו.**

מטרה נוספת של המחקר הייתה לבחון האם קיימים הבדלים במדדים של איכות המים במימד הזמן (temporal differences) ובמיוחד לנסות ולבחון דגמים עונתיים אמיתיים שיאפשרו חיזוי של שינויים עתידיים במדדי איכות מים אלו. על מנת לענות על שאלה זו השתמשנו בשיטות סטטיסטיות של אנליזה של סדרות זמן. המטרה הראשונית של אנליזות אלו היא תאור תמציתי של השתנות נתונים אקולוגיים סטוכסטיים עם הזמן. בניגוד לפרמטרים סטטיסטיים אחרים שהם תוצאה של מספר דגימות אקראיות ומבוטאים ע"י ערך מספרי אחד (למשל: ממוצע, סטיית תקן וכד'), תאור השתנות עם הזמן הוא בדרך כלל פונקציה מתמטית רציפה (מודל). במקרים רבים מודל זה אינו ליניארי או ביטוי מתמטי פשוט (כמו למשל ברגרסיות וקורלציות) אלא ביטוי מתמטי מורכב וקשה לאפיון. הנחת יסוד החבויה בתיאור תהליכים כזה היא שהתהליך המבוטא ע"י המודל המתמטי מתאר שינוי רציף בזמן. עקב כך משמש במקרים רבים המודל המתאר את השינוי לחזוי ערכים עתידיים של המדד האקולוגי אותו הוא מתאר ולאפיון דגמי ההשתנות העונתית שלו. אולם, בהנחת היסוד של הרציפות (החיונית לכל חיזוי) קימת בעייתיות רבה. כאשר אנו מבטאים כפונקציה רציפה סדרת נתונים, שלא נמדדה באופן רציף אלא כסדרה של דגימות בדידות בזמן, אנו מחברים למעשה בין כל שתי דגימות סטוכסטיות עוקבות ויוצרים בינהן זיקה באופן מלאכותי (אוטוקורלציה). כפועל יוצא, ערכה של כל נקודה בקו המתואר ע"י פונקצית התלות בין המשתנה האקולוגי לבין הזמן עלול להיות מושפע מערכן של הנקודות הקרובות לה. זיקה מלאכותית זו, עלולה להוביל להסקת מסקנות מוטעות על קיום דגמים עונתיים במקרים בהם דגמים כאלו אינם קיימים למעשה. על מנת להקטין את הבעייתיות הנ"ל ניתן לכמת את האוטוקורלציה ולהפחיתה ע"י שימוש בטכניקות סטטיסטיות ובפילטרים מתאימים. אחת מטכניקות אלו היא מודל ה-ARIMA בו עשינו שימוש בניתוח נתוני איכות המים במחקר זה.

בחינה ראשונית של מדדי איכות המים השונים מצביעה לכאורה על דגמים עונתיים בולטים של מינימום בחורף ומקסימום בקיץ בנתוני הטמפרטורה והמוליכות החשמלית ודגם הפוך של מקסימום



חורפי ומינימום קיצי בריכוזי החמצן המומס. אולם, הפעלת מודל ה-ARIMA מראה כי דגם עונתי אמיתי קיים לכל אורך הנחל רק לגבי נתוני הטמפרטורה. לעומת הטמפרטורה נתוני המוליכות והעומס האורגני הראו דגם עונתי אמיתי רק בקטע הירקון המזוהם שהתאפיין, כאמור, במוליכויות גבוהות יותר. בתחנות בהן נמצא שהדגם העונתי של נתוני הטמפרטורה, המוליכות, והעומס האורגני נשאר גם לאחר הפחתת האוטוקורלציה ע"י מודל ה-ARIMA, ניתן להסיק כי דגם זה הוא אכן תופעה התלויה בזמן ולפיכך ניתן לחזות דגם העונתי דומה גם בשנים הבאות. לעומת זאת בתחנות בהן נעלם הדגם העונתי עם הפעלת מודל ה-ARIMA לא ניתן לחזות ברמה גבוהה של וודאות כי העונתיות תחזור על עצמה גם בשנים הבאות הופעת דגם עונתי אמיתי של נתוני המוליכות רק בירקון המזוהם. יכולה ללמד על אפקט המהילה בחורף של מי הירקון המזוהם שמוליכותם החשמלית בקיץ הייתה גבוהה. המהילה מתבצעת ע"י מי נגר עילי ושטפונות שמקורם במי גשמים שמוליכותם נמוכה יחסית. נראה כי השפעת מהילה זו על מי הירקון הנקי נמוכה יותר מאחר שהמים בירקון הנקי אינם מגיעים לערכי מוליכות כה גבוהים בקיץ כך שהפרש המוליכויות בינם לבין מי השיטפונות קטן יחסית. הדגם העונתי מחזק את ההנחה כי למרות שהמים המזוהמים המגיעים מנחל קנה בקיץ הם בעלי תכולת מלח גבוהה לא ניתן להצביע על תרומה משמעותית של מלחים לירקון ע"י מי שטפונות החורף שמקורם בהרי השומרון כפי שהוצע לגבי נחלי חוף אחרים (למשל: תרומה של 700 טון מלח בשנה לנחל אלכסנדר; איצקוביץ, 1997).

לעומת הטמפרטורה, המוליכות והעומס האורגני, נמצא כי הדגם העונתי של ריכוזי החמצן המומס נעלם לאחר הפעלת מודל ה-ARIMA. מכאן ניתן להסיק כי תנודות החמצן בנחל הירקון אינם תופעה עונתית. לפיכך גם אם נמצאו ריכוזי חמצן גבוהים יותר בקיץ מהריכוזים בחורף לא ניתן לחזות ברמה גבוהה של וודאות כי דגם זה יחזור על עצמו גם בשנים הבאות. לכך יש להוסיף את הממצא שהבדלים בריכוז החמצן המומס בין התחנות השונות לא מובהקים. ולהסיק כי השונות במדד זה נמוכה הן בזמן והן במרחב.

**לסיכום, ניתוח השינוי במדדי איכות המים בירקון עם הזמן מצביע על קיום דגם עונתי אמיתי בכל התחנות רק לגבי הטמפרטורה. מוליכות חשמלית ועומס אורגני מראות דגם עונתי אמיתי רק בקטע הנחל המזוהם ובאסוציאציה עם שטפונות החורף ואילו ריכוז החמצן אינו מראה כלל על קיום דגם עונתי כזה.**

אחד הגורמים הסביבתיים המשפיעים על הדינמיקה העונתית שנמצאה בכמה ממדדי איכות המים הם שטפונות החורף. במהלך שטפונות החורף צפויה שטיפת חומרים מאגן הניקוז אל מערכת הנחל ע"י מי נגר עיליים. מי נגר אלו מתנקזים אל אפיק הזרימה של הנחל וגורפים בדרכם חומרים שונים מאגן הניקוז ובכלל זה מזהמים שונים. מכניזם שני שעלול לפעול בזמן שטפונות החורף הוא הסעה של מזהמים שנקוו בקטעים שבמעלה הנחל במהלך הקיץ בתקופה שבה הזרימה אינה מספיקה לגרום להסעתם במורד הנחל. כמו כן יכולה כמות המים הגדולה המוזרמת במהלך השיטפונות לגרום לערבול והרחפה של סדימנטים מזוהמים ששקעו בקרקעית הנחל. גם חומרים אלו מוסעים לאורך הנחל במהלך השיטפון ומשפיעים על אזורים במורד הנחל שאינם מושפעים מהם בדרך כלל.

הירידה בערכי המוליכות בקטעי הנחל בעקבות שטפונות החורף מדגימה אפקט מיהול שיש למי השיטפונות על מי הנחל וכאמור אינה תומכת בסברה על תרומה משמעותית במהלך שטפונות החורף של

מלחים ממקורות דיפוזיים באגן הניקוז (non-point sources) אל נחל הירקון. חשיבות מסקנה זו להבנת המכניזמים המשפיעים חשמלית על איכות המים בנחל חורגת ממשמעותה המצומצמת לגבי דינמיקה של מדד שמרני כמוליכות. זאת מאחר ומצאנו כי:

א. שטפונות החורף כן גורמים בקטע הנחל המזוהם לעליה מובהקת בערכי העומס האורגני החורף והשפעתם אינה מיהול והפחתה אלא במקרים רבים אפקט הפוך של הגברה.

ב. אפקט הגברה זה אינו בא לידי ביטוי בכל קטעי הנחל אלא מוגבל לקטע הנחל המזוהם. כתוצאה מכך, ההבדלים בעומס האורגני בין תחנות בחורף גדולים מההבדלים בתוך תחנות לאורך השנה, כלומר, השונות במדד זה במרחב גבוהה מהשונות העונתית.

ג. ערכי תציון נמוכים מאד בתחנות שבירקון המזוהם בהשוואה לממוצע העומס האורגני בתחנות אלו מעידים על מספר נמוך יחסית של אירועים בהם העומס האורגני היה גבוה מאד מהממוצע לעומת מספר רב יחסית של אירועים בהם היה העומס האורגני נמוך מהממוצע. דינמיקה כזו מתאימה לדינמיקה של שטפונות חורף במהלכם זורמות במערכת הנחל בתקופה קצרה כמויות גדולות של מי גשמים המסייעים איתם חומר אורגני רב.

ד. הממצא הקודם מפתיע מאחר ובדרך כלל עומס אורגני מגיע בעיקר ממקורות נקודתיים ומוגדרים שזרימתם במהלך השנה פחות או יותר קבועה (point sources). דווקא מדד כזה היה צפוי להימהל עיני מי הנגר העילי ועליה בו במהלך שטפונות סבירה פחות.

כלומר, למרות שאין לצפות כי מי נגר עילי יתרמו לעליה ברמת החומר האורגני במהלך שטפונות החורף בנחל הירקון (בקטע המזוהם) אפקט השיטפונות הוא הגברה ולא מיהול. לממצא זה משמעות גם בהקשר של הבנת המכניזמים העיקריים הגורמים לעליה זו. אגני הניקוז של הירקון הנקי (ובכלל זה אגן הניקוז של נחל רבה) ושל נחל קנה דומים באופיים (טופוגרפיה, ריכוזי אוכלוסין וכד'; גפני ועמיתיו 1983; המשרד לאיכות הסביבה, 1992). אם התרומה העיקרית לעליה בעומס האורגני הייתה משטיפת מזהמים עם מי נגר עילי הנקווים מאגן הניקוז אל הנחל ניתן היה לצפות לעליה דומה בירקון הנקי ובירקון המזוהם. מאחר ותרומת העומס האורגני של מקורות נקודתיים קבועה יחסית ניתן להסיק כי עיקר השפעת שטפונות החורף אינה בהכנסת חומר אורגני לנחל עיני מי נגר עילי אלא בהרחפת מרבץ הסדימנטים העשירים בחומר אורגני שהצטבר בקרקעית של קטעי הנחל המזוהמים (בעיקר בנחל קנה). שטפונות החורף גורמים גם להסעתם ולפיזורם לאורך הנחל. משמעות תופעה זו למבנה ולתפקוד אסופת הדגים בנחל תידון בהרחבה בהמשך.

לשיטפונות החורף משמעות מיוחדת בהקשר של המאמצים לשיפור איכות המים בנחל. מסקנה זו מודגשת על רקע ניתוח ממצאי איכויות המים בנחל מאז הפעלתו של מכון הטיהור לשפכי הוד השרון וכפר סבא. ממצאים אלו מצביעים על שיפור משמעותי באיכות המים החל ממאי 1996 ועד פברואר 1997 בקטע הנחל שבין מפגש ירקון קנה למפגש ירקון ונחל הדרים (ממנו מוזרמים לירקון שפכי רמת השרון). עיקר השיפור היה ברמות העומס האורגני שירדו כמעט בסדר גודל. לעומת זאת לא תרם השיפור באיכות המים לשינוי במוליכות החשמלית. השינוי באיכות המים מודגם גם בממצאי אנליזת ה-MDS הנפרדת שערכנו לתקופה שאחרי הפעלת מכון הטיהור שהצביעה על הצטרפות התחנה שבמורד מפגש ירקון קנה שהתאפיינה קודם לכן בזיהום הגבוה ביותר לקבוצת התחנות של הירקון הנקי. אולם, תור הזהב באיכות המים בקטע הנחל הנייל הסתיים עם הופעת שטפונות החורף בפברואר 1997. השפעתם של אלו הייתה

חזקה ולא פגה אפילו חמישה חודשים לאחר האירוע השטפוני האחרון לחורף 1997 למרות שבדיקות איכות המים שיצאו ממכון הטיהור הצביעו על עמידה בתקני האיכות. מכאן יש להסיק כי להקמת מכוני טיהור במורד הנחל צפויה השפעה מוגבלת בלבד באם לא תבצע במקביל פעולה של ניקוי אפיק הנחל והנחלים המתנקזים אליו להרחקת משקעי הבוצה האורגנית שהצטברה בקרקעית הנחל.

לסיכום, שטפונות החורף מהווים גורם משמעותי המשפיע על איכות המים בנחל הירקון. עיקר השפעתם היא על קטע הנחל המזוהם והיא מתבטאת בירידה במוליכות החשמלית ובעליה חדה בעומס האורגני. נראה כי עיקר פעולתם של שטפונות החורף היא בהרחפת סדימנטים מזוהמים שהצטברו בנחל בקיץ; בהסעתם לאורך הנחל. השפעתם השלילית של השטפונות על איכות המים יכולה להימשך עד אמצע הקיץ ויש לה משמעות רבה בהקשר של הקמת מכוני טיהור במורד הנחל.

לאיכות המים בבית הגידול השפעה רבה על מבנה והרכב חברת הדגים בנחל הירקון. כאשר רמת הזיהום נמוכה יחסית מתאפיינים בתי גידול נקיים בעושר מינים ובשפיעות פרטים גבוהים בהשוואה לבתי גידול מזוהמים. תגובתם של מיני הדגים השונים לזיהום אינה אחידה. כאשר רמת הזיהום גבוהה מאד נעדרים הדגים לחלוטין מבתי הגידול המזוהמים. מינים אחדים כקרפיון ושפמנון נמצאו גם בבתי גידול שרמת הזיהום בהם גבוהה יחסית (למשל בתחנה 3bc שנמצאת בפתח נחל קנה). התדרדרות הדרגתית באיכות המים בבית הגידול גורמת להעלמות הדרגתית של מיני דגים שונים. הראשונים להעלם הם מינים קטני גוף (לכנון, גמבוזיה, סיפן) ולאחריהם נעלמים גם המינים גדולי הגוף (אמנונים ומאוחר יותר קרפיונים). כאשר תהליך ההתדרדרות באיכות המים מהיר (כמו למשל בגלישות ביוב בלתי מטופל לנחל או במהלך שטפונות חורף) העלמות הדגים מהירה אף היא ולעתים קרובות היא מלווה בתמותות דגים המוניות. שיפור באיכות המים מביא לאכלוס מחדש של בתי גידול, אך תהליך האכלוס מחדש הוא איטי יחסית ובדרך כלל מפגר במספר חודשים אחרי השיפור באיכות המים. כך למשל דגים החלו לאכלס את התחנה שבמורד מפגש קנה ירקון רק שלושה חודשים לאחר שניתן היה להבחין בשיפור ניכר באיכות המים באותה תחנה (עקב הפעלת מכון הטיהור כפר-סבא הוד-השרון).

חיזוק נוסף לממצאים על ההבדל באסופת הדגים בין הירקון הנקי למזוהם עולה ממצאי האנליזה הרב משתנית שערכנו. למרות שבשתי השיטות בהן נקטנו השתמשנו במדד אחר של אסופת הדגים (שכיחות יחסית ממוצעת) התמונה העולה מהם דומה לממצאי מבחני השונות הפרמטרים. חלוקה ברורה של אסופת הדגים לשתי קבוצות עיקריות האחת של תחנות בירקון הנקי והשנייה של תחנות בירקון המזוהם. חלוקת נתוני השכיחות היחסית של הדגים לקבוצות עיקריות דומה לחלוקה לקבוצות שהתקבלה מהאנליזה הרב משתנית של נתוני איכות המים. בדומה לממצאים לגבי איכות המים (PCA) גם מרבית השונות בחברת הדגים מוסברת ע"י ציר עיקרי אחד אך במקרה האחרון תרומת הציר השני משמעותית יותר (מסבירה 16% מהשונות לעומת פחות מ-2% במקרה של איכות המים) ממצא שמסקן ככל הנראה השפעה של מיני דגים רבים על התוצאה לעומת השפעה של מדד אחד בעיקר על נתוני איכות המים. באופן דומה, מקדמי הקורלציות החלקיות של נתוני תפוצת הדגים מצביעים על התאמה נמוכה יותר בין התחנות השונות לאורך הנחל בהשוואה להתאמה המקבילה של איכות המים.

השלכה (superimposing) של תוצאות אנליזת ה-MDS של נתוני אסופת הדגים על תוצאות ה-MDS של איכות המים אכן מצביעה על רמה גבוהה של זהות אך גם על הבדל בולט בחלוקה לקבוצות ביניים בתוך קטע הנחל הנקי. בעוד שמההיבט של איכות המים מתקבצות תחנות אלו על פי מיקומן הגיאוגרפי מההיבט של אסופת הדגים מתקבצות התחנות על פי הימצאותן מעל או מתחת מפלים. ממצא זה משקף ככל הנראה את ההשפעה שיש למדדים אחרים של בית הגידול על אופן התקבצות הדגים. עוצמת הזרימה למשל מתוארת בעבודות רבות כמדד עיקרי המשפיע על דגמי תפוצה של חברות דגים בנחלים. מדד זה יכול להשפיע כאשר יש מינים המעדיפים בית גידול עשיר במיוחד בחמצן או לחילופין בעת הרבייה כאשר מינים מקננים יעדיפו בתי גידול שקטים יותר. בנחל הירקון למשל נראה כי צלופחים בוגרים מעדיפים להימצא בתחתית מפלים בעוד שאמנונים בוגרים וגמבוזיות הראו העדפה בעיקר לבתי גידול שעוצמת הזרימה בהם איטית, אך על מנת להסיק חד משמעית על העדפות של מינים שונים ממצאים איכותיים אלו צרכים להיבטן גם כמותית.

**לסיכום, לאיכות המים בבית הגידול השפעה רבה על מבנה והרכב חברת הדגים בנחל הירקון. הרכב אסופת הדגים בתחנות שבקטע הנחל הנקי שונה מהרכב אסופת הדגים בתחנות מקטע הנחל המזוהם. השלכה של תוצאות האנליזות הרב משתנית של נתוני אסופת הדגים על תוצאות האנליזה הרב משתנית של איכות המים אכן מצביעה על רמה גבוהה של זהות באופן חלוקת התחנות שבנחל לקבוצות עיקריות.**

הדגם של שינויים עונתיים באיכות המים בבתי גידול מזוהמים לעומת יציבות רבה יחסית בבתי גידול נקיים משתקף גם במדדים חברתיים של אסופת הדגים כעושר המינים, שפיעות הפרטים והביומסה. מבטן השונות שערכנו לקטע הנחל הנקי בנפרד ולקטע הנחל המזוהם בנפרד הראה כי אין ההבדלים מובהקים בעושר המינים ובשפיעות הפרטים בין תחנות הנמצאות בקטע הנחל הנקי. הבדלים מובהקים נמצאו בקטע זה רק בביומסה, אך טרנספורמציה לוגריתמית לנתוני הביומסה (הבאה לפצות על כך שהביומסה היא מדד המשתנה בחזקה שלישית) גרמה לכך שגם ההבדלים אלו לא היו מובהקים בתוך הקטע הנקי. לעומת זאת, ההבדלים בין התחנות שבקטע הנחל המזוהם היו מובהקים בכל הפרמטרים שבדקנו וגם טרנספורמציה לוגריתמית לא הועילה להקטנת השונות בנתוני הביומסה. ממצא זה משקף את היציבות היחסית המאפיינת את אסופת הדגים של בית הגידול בירקון הנקי לעומת מידה רבה יותר של חוסר יציבות בבית הגידול בקטע הנחל המזוהם.

ממצאי המחקר על דגמי ההשתנות של איכות המים בזמן ובמרחב ועל המשקל הרב שיש לרכיב העומס האורגני בשקלול הכללי של איכות המים מסבירים ומחזקים את ממצאנו הקודמים על הקשר בין איכות המים למדדים של חברת הדגים. בשנים הקודמות דיווחנו על מתאם סטטיסטי מובהק בין העומס האורגני לבין עושר המינים ושפיעות הפרטים. לעומת זאת לא מצאנו קשר דומה ומובהק בין ריכוז החמצן, טמפרטורת המים, והמוליכות החשמלית למדדים אלו של אסופת הדגים (גזית ועמיתיו, 1996). לעומת זאת האנליזות הרב משתניות עליהם אנו מדווחים בדו"ח הנוכחי על סמך מסקנתנו מהניתוח הנוכחי של איכויות הנחל בירקון ניתן להסביר ממצאים קודמים אלו כדלקמן:

א. במהלך כל תקופת המחקר לא נמדדו בשעות היום בנחל הירקון ריכוזי חמצן נמוכים עד כדי מניעת האפשרות לקיום אוכלוסיית דגים. השונות הנמוכה במרחב ובזמן בריכוז החמצן בנחל הירקון

שנמצאה באנליזה הנוכחית של נתוני איכות המים מסבירה את הממצא הקודם על חוסר התאמה בין ריכוזי החמצן לעושר המינים נראה סביר ביותר. ממצאים דומים על הקשר בין ריכוזי החמצן למבנה אסופת הדגים נמצאו גם במחקרם של שבדקו בשיטות דומות את הקשר בין איכות המים לאסופות הדגים של 69 נחלים במישור החוף במרילנד ארה"ב (Scott and Hall, 1997).

ב. את המסקנה הקודמת בדבר השפעה מועטה של ריכוזי החמצן על אסופת הדגים יש לסייג בכך שבהחלט יתכן שריכוזי חמצן נמוכים עד כדי פגיעה בדגים מאפיינים קטעי נחל מזוהמים בירקון בשעות הלילה או לפנות בוקר. על רקע ההנחה כי תפוצת הדגים בנחל נקבעת בעיקר על פי ערכי הקיצון במערכת די בריכוז נמוך של חמצן לתקופה קצרה על מנת לפגוע בזמינות בית הגידול לדגים.

ג. בדומה לריכוזי החמצן, גם הטמפרטורות שנמדדו בנחל הירקון לא היו קיצוניות וחורגות מתחום הסבילות של המינים המאפיינים את הנחל. השונות בטמפרטורה בנחל הירקון נמצאה כעונתית יותר ממרחבית ודגם השתנותה בכל התחנות לאורך הירקון נמצא דומה. לפיכך צפוי שגם הטמפרטורה לא תשפיע על דגמי התפוצה המרחבית של הדגים בנחל והמסקנה על העדר תלות בין הטמפרטורה לתפוצת הדגים עליה דיווחנו בעבר נראית כסבירה ביותר.

ד. חוסר ההתאמה בין המוליכות החשמלית לעושר המינים ולשפיעות הפרטים עליו דיווחנו בעבר קשה יותר להסבר מאחר וההבדל במוליכויות בין קטעי הנחל השונים נמצא מובהק. עיקר הרכיב המרחבי של השונות במוליכות נגרם בשל תרומת יונים מנחל קנה ובשל מולכויות גבוהות יחסית בתחנה הנמצאת במורד סכר שבע טחנות. ואכן תחנה זו התאפיינה גם בנוכחות אקראית בזמן של להקות גדולות של צעירי קיפון בורי (מין ימי שצעיריו אופייניים לפתחי נחלים). צעירים אלו התרכזו במהלך עונת הנדידה שלהם במורד סכר שבע טחנות המקשה עליהם להמשיך ולנדוד במעלה הנחל והופעתם לא הייתה סדורה. אולם גם במוליכות, הרכיב העיקרי של השונות הוא עונתי (מיהול עיי שטפונות החורף). לפיכך, המסקנה הקודמת בדבר העדר קשר מובהק בין מוליכות לעושר המינים ולשפיעות הפרטים סבירה.

השפעת העלייה בעומס האורגני כתוצאה משטפונות על אסופת הדגים קריטית ביותר. בדרך כלל העלייה מתבטאת בתמותות דגים המוניות. אפילו מינים עמידים יחסית כגון השפמנון אינם חסינים ותמותה של שפמנונים בעקבות שטפונות החורף אינה נדירה בירקון (למשל תמותה המונית של שפמנונים נצפתה בינואר 1996). ישנן מקרים בהן עוצמת השטפונות כה חזקה (למשל השיטפון שארע בפברואר 1997) עד שלאחריהם לא ניתן כמעט למצוא דגים חיים או מתים בכל קטע הנחל המזוהם. באופן דומה גורמת עליות בעומס האורגני הנובעות מגלישות ביוב ממכון הטיהור (בעת תקלות או בזמן ביצוע עבודות אחזקה) לתמותות דגים. למשל, הפסקת פעולתו של מכון הביוב למשך 24 שעות ב-15.10.96 גרמה באופן מידי כמעט לתמותת דגים בקטע הנחל שבין מפגש ירקון קנה למפגש ירקון הדרים (קטע הנחל ש"השתקם חלקית" עקב הפעלתו של מכון הטיהור. אירועים כאלו מפחיתים את יציבות המערכת האקולוגית בנחל ומפחיתים את יכולת החיזוי של אוכלוסיות הדגים. לפיכך, רצוי להפחית את תדירותן של תקלות כאלו ושל גלישות ביוב גולמי לנחל על ידי יצירת כושר איגום מספיק במכון הטיהור. איגום כזה ייתן במהלך תקלות מענה לצבירת שפכים בלתי מטוהרים וימנע הזרמתם של שפכים כאלו למערכת הנחל.

הקשר בין איכות המים לבין אסופת הדגים בנחל הירקון מוצא את ביטויו גם ברמת האוכלוסייה. ברמה זו משפיעה איכות בית הגידול הן על דגמי הפיזור של האוכלוסיות השונות והן על מבנה הגדלים שלהן. ככלל, תפוצתם של כל מיני הדגים שנמצאו בירקון במהלך מחקרנו לא הייתה הומוגנית ופיזורם

התגובה הבולטת ביותר לאיכות המים בבית הגידול ברמת האוכלוסייה הייתה במבנה הגדלים בתוך האוכלוסיות השונות. בהנחה שגודל הגוף של דגים נמצא ביחס ישיר לגילם (אם כי קימת גם השפעה סביבתית על התאמה זו Anderson and Gutreuter, 1983) מספק ניתוח ההתפלגות לקבוצות גודל אינפורמציה רבת ערך על מצב אוכלוסיית הדגים בבתי הגידול השונים בירקון. אצל מרבית מיני הדגים בירקון ניתן להצביע על הבדלים בולטים במבנה הגדלים בין האוכלוסיות מבתי גידול נקיים ובין אוכלוסיות מבתי גידול מזוהמים (למשל: אמנון מצוי, לבנון הירקון, קרפיון מצוי). בתי הגידול הנקיים מתאפיינים בשליטה מספרית של קבוצות הגודל הקטנות. מחקרים אקולוגיים רבים הראו כי התפלגות גילים כזו המוטה בחזקה לכיוון הצעירים מאפיינת אוכלוסיות בריאות וגדלות. לעומת זאת, בתי גידול מזוהמים חלקית בירקון מתאפיינים בד"כ בהתפלגות גדלים נורמאלית. אוכלוסיות כאלה הן בדרך כלל אוכלוסיות סטציונריות (מסוכסם אצל: Krebs, 1985 ; Smith, 1966). ואילו בבתי גידול מזוהמים מתאפיינים בירקון בהטיה של התפלגות הגדלים לכיוון שליטה של פרטים בוגרים. אוכלוסיות אלו הן ככל הנראה אוכלוסיות דועכות שפוטנציאל הרבייה שלהן פגום ביותר (Krebs, 1985 ; Smith, 1966). התחדשותן של אוכלוסיות אלו מותנה ככל הנראה בהגירת פרטים מקטע הנחל הנקי אל קטע הנחל המזוהם. מכאן ניתן להסיק על החשיבות המרובה שיש לקטע הנחל הנקי כמקור לאכלוס הנחל. יש לציין גם כי אוכלוסיות הגמבוזיה היו היחידות שמבנה האוכלוסייה שלהם לא הראה תגובה לזיהום במבנה הגדלים שבאוכלוסייה (אם כי הגמבוזיות הראו בהחלט תגובה לזיהום בדגם פיזור האוכלוסייה שלהם). מאחר ותפוצתו של מין זה נחל הירקון אינה טבעית ומידי פעם הנחל מאוכלס בדגיגי גמבוזיה קשה להסיק על משמעותו של ממצא זה.

מזהמים תעשייתיים וחקלאיים המתנקזים לירקון יכולים לפגוע בבריאותם של מאכלסי הנחל ובמיוחד הדגים הנמצאים בראש מארג המזון. כמה מהמזהמים הנפוצים ביותר כדוגמת הידרו-פחממנים פוליציקליים ארומטיים (PAHs ; polycyclic aromatic hydrocarbons) פוליכלורידים ביפנטליים (PCBs) ומתכות כבדות יכולים לגרום לשינויים בגנום כגון יצירת DNA פגום, חד גדילי, שבירה ב-DNA או מוטציות ופגיעה ושבירה של הכרומוזומים. המדדים לבריאות הסביבתית של הדגים בהם נעשה שימוש במחקר הנוכחי מוצגים בטבלה 1. דו"ח הביניים שהוגש בדצמבר 1996 הצביע על קיום אדפטציות ועל פיתוח מוגבר של מנגנוני הגנה בפני מזהמים בדגים מתחנות בקטע הירקון המזוהם. דו"ח זה מתמקד בעיקר בגילוי סימנים לרעילות בגנום ולפגיעה בחומר הגנטי בדגים מתחנות הדיגום השונות לאורך נחל הירקון.

ניתן לחלק את התגובה לחשיפה למזהמים בדגים מבתי גידול מזוהמים ומשוקמים חלקית מראים לשלושה סוגים של בהתאם לעוצמת הזיהום:

א. במיקרים של זיהום מסיבי, הימנעות מוחלטת מנוכחות בבית הגידול.

ב. במיקרים של זיהום מתון יותר, מאכלסים הדגים בתי גידול מזוהמים חלקית תוך הפעלת מנגנוני הגנה כגון הפרשת ריר ע"פ העור ובחלל הזימים. ראוי לציין כי למרות הפרשת הריר ע"פ הזימים הראו פרטים מבתי גידול מזוהמים של מינים מסוימים כגון לבנון הירקון ואמנונים רמה גבוהה של חדירות חומרים פלואורוצנטים בהשוואה לפרטים מבתי גידול נקיים של אותם מינים דבר המעיד על פגיעה בממברנות שתפקידן להגן על האיברים מפני חדירת חומרים זרים.

ג. אכלוס בתי גידול מזוהמים חלקית תוך פיתוח סימפטומים בריאותיים המעידים על היחשפות למזוהמים ופגיעות פתולוגיות ברמת האיבר ברמה התאית וברמה המולקולרית. רמה גבוהה של פגיעות כאלו נמצאה גם בדגים שאכלסו את קטע הנחל שבין מפגש קנה ירקון קנה למפגש ירקון הדרים ובדגים מהתחנה ממורד סכר שבע טחנות שאיכות המים בה נחשבת למשוקמת חלקית.

ממצאים אלו מצביעים על כך כי שיפור באיכות המים המביא לאכלוס מחדש של קטעי נחל בדגים אינו מבטיח בהכרח כי האוכלוסיות המאכלסות לא יהיו חשופות לפגיעה ברמת הפרט הבודד למרות הרמה הנמוכה יחסית של המזוהמים. רגישותם של המינים השונים המאכלסים את הירקון לזיהום שונה כשלבנון הירקון הוא הרגיש ביותר ולעומתו קרפיון מצוי ושפמנון הם הפחות רגישים לזיהום. ממצאים אלו מאשרים את הממצאים על הקשר בין רמת הזיהום לתפוצת הדגים שהראו שקרפיון מצוי ושפמנון מאכלסים בתי גידול המתאפיינים ברמת זיהום גבוהה יחסית.

**לסיכום, הממצאים מצביעים על כך שאמונונים מצויים ומינים אחרים מבתי גידול מזוהמים ומשוקמים למחצה בנחל הירקון מראים סימנים ברורים של פגיעה גנוטוקסית, פגיעה תאית ופגיעות פתולוגיות הקשורות בחשיפה למזוהמים. ממצאים אלו מהווים עדות מהימנה לכך שהן דגים מהאתרים בהם המים מזוהמים והן דגים מהאתרים בהם איכות המים משוקמת חלקית חשופים ביותר למזוהמים גנוטוקסיים וקלסטגנים מסוכנים כגון PAHs וקרוב לוודאי גם ל-PCBs.**

## ביבליוגרפיה

- איצקוביץ, נ. 1997. זיהום נחלים משפכי האוטונומיה ופתרון בעיית הזיהום. עמ' 45-50. מתוך: היבטים מעשיים של שיקום נחלים, חוברת תקצירים של כנס נחלי ישראל 1997.
- גפני, ג., ז. קולר, ס. גרינברג, ה. גלזמן ור. אורטל. 1983. נחלי ישראל, סיכום תוצאות ניטור 1979-1982. דו"ח מס. 2. נציבות המים ורשות שמורות הטבע. 191 עמ'.
- המשרד לאיכות הסביבה. 1992. נחלי ישראל - תמונת מצב. עמ' 281-313. מתוך: איכות הסביבה בישראל, דו"ח שנתי מס' 17-18. ירושלים תשנ"ג - 1992.
- Angermeier, P.L. and J.R. Karr. 1986. Applying an index of biotic integrity based on stream fish communities: considerations in sampling and interpretation. North Am. J. Fish. Manage. 6:418-429.
- Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter. 1983. Length, weight, and associated structural indices. In: Fisheries techniques. Nielsen, L.A. and D.L. Johnson. pp:283-300.
- APHA, 1990. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 16th ed. 1268 pp.

- Bernstein, I.H., C.P. Garbin and G.K. Teng. 1988. Applied multivariate analysis. Springer-Verlag. NY.508pp.
- Bresler, V. and Fishelson L. 1994. Microfluorimetric study of benzo (a) pyrene and marker xenobiotics' bioaccumulation in *Donax trunculus* from clean and polluted sites along the Israeli Mediterranean shore. *Disease of Aquatic Organisms*. 19:193-202.
- Carpenter, S.R., P. Cunningham, S. Gafny. A. Munoz del Rio, N. Nibbelink, T. Pellett, C. Storlie and A. Trebitz. 1995. Fish response to aquatic plant management: Power to detect effects. *N. Am. J. of Lake Manage.* 15:519-527.
- Davis, W.S. and T.P. Simon. 1995. Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making. Lewis Pub. Boca Raton, Florida.
- Diggle, P.J. 1990. Time series: a biostatistical introduction. Clarendon Press. Oxford, UK. 257pp.
- Everitt, B.S. and G. Dunn, 1991. Applied multivariate data analysis. Edward Arnold Press. London. UK. 304pp.
- Gasith, A. 1992. Conservation and management of the coastal streams of Israel: An assessment of stream status and prospect for rehabilitation. In: *River Conservation and Management*. Boon, P.J. Calow, P. and G.E. Petts (Eds.). pp:51-64.
- Gibbons W.N. and K.R. Munkittrik, 1994. A sentinel monitoring framework for identifying fish population responses to industrial discharges. *J. Aquat. Ecosystem Health*. 3:227-237.
- Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecol. Monogr.* 54:187-211.
- Jassby, A.D. and T.M. Powell. 1990. Detecting change in ecological time series. *Ecology* 71:2044-2052.
- Krebs, C.J. 1985. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row Pub. N.Y. 800pp.
- Lathrop, R.C. and S.R. Carpenter. 1992. Phytoplankton and their relationship to nutrients. In: *Food web management: a case study of Lake Mendota*. Kitchel, J.F. (Ed.). pp:97-126.
- Li, H.W., C.B. Schreck, C.E. Bond and E. Rexstad. 1987. Factors influencing changes in fish assemblages of Pacific Northwest streams. In: *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes*. W.J. Matthews and D.C. Heins (Eds.). pp:193-202.
- Loeb, S.L. 1994. An ecological context for biological monitoring. In: *Biological monitoring of aquatic systems*, S.L. Loeb and A. Space (Eds.). pp:3-7.
- Luecke, C. and D. Teuscher. 1994. Habitat selection by lacustrine Rainbow Trout within gradients of temperature, oxygen and food availability. In: *Theory and application in fish feeding ecology*. Stouder, D.J., K.L. Fresh and R.J. Feller (Eds.). pp:133-150.
- Maret, T.R., C.T. Robinson and G.W. Minshall. 1997. Fish assemblages and environmental correlates in least-disturbed streams of the upper Snake River basin. *Trans. Am. Fish. Soc.* 126:200-216.



- Olive, J.H., J.L. Jackson, J. Bass, L. Holland and T. Savisky, 1988. Benthic macroinvertebrates as indexes of water quality in the upper Cuyahoga River. *The Ohio J. of Sci.* 88:91-98.
- Power, M.E., R.J. Stout, C.E. Cushing, P.P. Harper, F.R. Hauer, W.J. Matthews, P.B. Moyle, B. Statzner and I.W. Wais De Badgen. 1988. Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7:456-479.
- Rutherford, D.A., A.A. Echelle and O.E. Maughan. 1987. Changes in the fauna of the Little River drainage, southeastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982: a test of the hypothesis of environmental degradation. In: *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes.* W.J. Matthews and D.C. Heinz (Eds.). pp:178-183.
- Scott, M.C. and L.W. Hall JR. 1997. Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland coastal plain streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 126:349-360.
- Smith, R.L. 1966. *Ecology and field biology.* 1966. Harper & Row Pub. 687pp.
- Steinberg C. and S. Schifele. 1988. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser - Abwasser - Forsch.* 21:227-234.