



פונון: מנגד לערבה התיכונה

אלי רז וארז בן יוסף

ח'רבת אינחאס, אתר התכת וחושית מתקופת הברזל בלב אזור פינאן
Tom Levy, UC San Diego Levantine Archaeology Laboratory

המצב

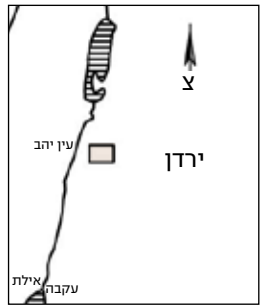
הגיאופוליטי ששרר עד הסכם השלום עם ירדן, מנע מאתנו הצצה אל מעבר לגבול הבין-לאומי לשטח מרתק ומדהים ביופיו הנמצא מקדם לערבה התיכונה וכפסע מאתנו — הוא צפון אדום. זהו חבל ארץ מגוון ובעל יופי מיוחד: קניונים מרהיבים — דקליות אקזוטיות תלויות על מצוקיהם ובתחתיתם שפעת סחלבים (בן חורש גדול) וסוגי צמחים נוספים; פלגים מפכים ומעיינות חבוים. במרחב הלא נחקר ומלא ההפתעות הזה נמצאים גם שני אתרים חשובים, אשר שמותיהם ידועים היטב לכל קורא תנ"ך. המציאות דחקה אתרים אלו לתהום הנשייה של תודעתנו, על אף הקרבה האינטימית שלנו אליהם, הגיאוגרפית וההיסטורית. האתר האחד הוא קלעת (מצודת) סלע שבשיפולי רמת אדום, כ-28 ק"מ ממזרח לחצבה, והוא, כפי שמקובל כיום על מרבית החוקרים, סלע אדום המקראי. האתר השני הוא תל ח'רבת פינאן, הנמצא 24 ק"מ ממזרח לעין יהב ובו ובסביבתו נעסוק במאמר זה.

אלי רז, גיאולוג וביולוג, חוקר במרכז מדע ים המלח והערבה. מיד לאחר הסכם השלום יצא לירדן וגילה עשרות מסלולי טיולים חדשים בהרים ובנחלים של מואב ואדום

ד"ר ארז בן יוסף, ארכאולוג וגיאולוג, מרצה בחוג לארכאולוגיה באוניברסיטת תל אביב, חבר במשלחת הארכאולוגית של אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו, השתתף בחפירות ח'רבת אינחאס ואתרים נוספים בפינאן



פונון (פינאן) וסביבותיה



התנאים הסביבתיים

בקעת פונון היא גראבן (בקעה התחומה בהעתקים גיאולוגיים). חלקים גדולים של קרקעיתה מרופדים במשקעים צעירים ובסחף מן ההרים שמילאו את התבלית ופילסו את השטח. בין בקעת פונון והערבה חוצץ רכס אדמדם ונמוך הנקרא חמרא אל-פידאן, שאינו אלא אפס קצהו של הורסט מגמתי (גוש עלוי בין העתקים גיאולוגיים) המבצבץ מתוך המשקעים הצעירים. נחלים היורדים אל הבקעה מחלקם המערבי, הגבוה, של שולי רמת אדום (ששיאה 1636 מ' בג'בל אל-עטעה) מנקזים אליה זרימות קבועות ומי שיטפונות. הבקעה רוויה במי תהום בעלי איכות טובה, אשר זרימתם מערבה, אל הערבה, נחסמת חלקית על-ידי הורסט חמרא אל-פידאן. בקרבת ההורסט ובעטיו, מי התהום רדודים וקלים להפקה ומופיעים המעינות: עין פידאן, בנצ. U.T.M. 724650/387375, צפונית לעיירה קוריקרה (גרגרה בפי הבדווים) ועין אבו-דבאן בנצ. U.T.M. 729020/395840.

שפע המים בבקעת פונון ובעבר המזרחי בכלל בולט (ומעורר קנאה) לעומת הצחיחות היחסית של העבר המערבי, והוא נובע משני גורמים:

א. תהליך אדיאבאטי: מקור הרוחות נושאות הגשם הוא במערב, והן יורדות מרמת-הנגב אל הערבה ועולות ממנה אל רמת אדום. גוף אוויר יורד נדחס בגלל תוספת לחץ ברומטרי ורחיסה זו גורמת להתחממות, לירידה בלחות היחסית ולמיעוט משקעים והיווצרות תנאי מדבר במורדות המזרחיים של הנגב. תהליך הפוך מתרחש במדרונות המערביים של הרי אדום, בו הרוחות עולות, ולגובה רב מזה של הרי הנגב.

ב. מסלע: חלק גדול מהמורדות המערביים של הרי אדום עשוי אבן חול, הסופגת את מי הגשמים ביעילות רבה יותר מסלעי הנגב; כתוצאה מכך, פחות מים הולכים לאיבוד כמי נגר (שיטפונות) ויותר מים נתרמים למי התהום ומזינים מעיינות ונאות מדבר.

הטופוגרפיה, מרקם הקרקע והאקלים מהווים פוטנציאל חקלאי בולט, שנוצל ביעילות בימי קדם ומהווה תמריץ לפיתוח מקורות המים ושטחי חקלאות גם בימים אלה. סקירה בשטח מגלה עדויות



שרידי הכנסייה הביזנטית בפינאן

תל ח'רבת פינאן שוכן במזלג הנחלים ואדי פינאן וואדי דנא, בחלק המזרחי של בקעת פינאן, שהיא התרחבות של הערבה מזרחה. פינאן ידועה מימי קדם כמרכז הפקת הנחושת החשוב ביותר של דרום הלבנט. אובזביוס, בישוף קיסריה במאה הרביעית, שכינס בשנת 330 את רשימת המקומות המופיעים בכתיב הקודש ומזוהים בתקופתו בספרו האונמסטיקון, מזהה את המקום הנקרא פאינו כפונון המקראית. הנוסע והחוקר הצ'כי מוסיל הוא שגילה את המקום מחדש ב-1907, ועל סמך כורי ההיתוך ומצבורי הסיגים הרבים במקום ומכרות הנחושת העתיקים שנמצאו בסביבתו, זיהה אותו עם פאינו של התקופה הקלסית ועם פונון המקראית. פונון מוזכרת כתחנה במסלול נדודי בני ישראל בקטע שבו מוזכרים (לפי הסדר): עציין גבר, מדבר צין והור ההר בקצה ארץ אדום: "ויסעו מצלמונה ויחנו בפונן. ויסעו מפונן ויחנו באבות" (במדבר לג, מא-מד). צלצול השמות וההקשר הגיאוגרפי אכן מפתים לזהות את פונון המקראית עם תל ח'רבת פינאן, אף כי אין כל הוכחה חותכת לכך. הוא הדין לגבי ח'רבת א-נחאס הסמוכה, אשר הניסיון לזהותה עם עיר נחש סוכל אינו נתמך גיאוגרפית גם במקורות: "ואת תחנה אבי עיר נחש" (דברי הימים א ד, יב).



בריכת האגירה הביזנטית של פונון

ברורות לפעילות חקלאית בעת העתיקה: בריכת אגירה גדולה, שרידי מערכת הובלת מים מוואדי פינאן, תחנת קמח ושרידי חקלאות עתיקה, המכסים חלקים נרחבים של הבקעה בקרבת תל ח'רבת פינאן.

פונון לעומת תמנע

בבקעת תמנע שבהרי אילת, כ-25 ק"מ מצפון לאילת, יש מרבצי נחושת דומים לאלה שבפונון, בכמויות קטנות בהרבה. גם בתמנע נוצלו מרבצי הנחושת על-ידי הקדמונים ובאתר נתגלו מכרות נחושת מעניינים שגילם החל מסוף האלף הרביעי לפנה"ס ואולי אף קודם לכן. בימינו פיתחו באתר הארכאולוגי פארק יפה למטיילים.

עם קום המדינה נעשו ניסיונות שונים להפקת מינרלים בנגב. באמצע שנות החמישים הקימו בתמנע מפעל להפקת נחושת. המפעל פעל כ-20 שנה ונסגר (זמנית) ב-1976 בשל חוסר כדאיות כלכלית. בשל עליית מחירי הנחושת בעולם בראשית שנות ה-2000 המפעל בתמנע נפתח מחדש ביוזמת חברת הכרייה המקסיקנית אהמסה (החברה מתכננת כעת גם פעילות כרייה באזור פינאן ונמצאת במגעים קדחתניים עם ממשלת ירדן בנושא; פעילות כזו עתידה לפגוע באתרים הארכאולוגיים הרבים ובנוף הבתולי באזור).

תנועת הגזירה לאורך הערבה, שהיא חלק מהתופעה הגיאולוגית של תזוזת היבשות (טקטוניקת הלוחות), הסיעה את גוש עבר הירדן המזרחי כ-105 ק"מ צפונה, והפרידה בין שני החלקים הבלתי שווים של שדות מרבצי הנחושת שנוצרו קודם לתנועת הגזירה.

אך לא רק גודלם של שדות מרבצי הנחושת וזמינותם מבדילים בין פונון לתמנע, אלא גם התנאים הסביבתיים. הגיאולוג הגרמני בלנקנהורן, שביקר במקום ב-1912, עמד על כך שפונון היה יישוב ששימש מרכז להתכת הבצר (בצר – החומר הגולמי הנועד לכרייה, ממנו מפיקים את מוצר היעד) שהובא מהמכרות שבסביבה, ומקומו הוכתב על-ידי מקורות המים. בפונון התאפשר קיום רבת-תקופתי של יישוב קבע גדול, הודות לפריפריה החקלאית התומכת של הבקעה המושקית והפורייה, בעוד שבתמנע הצחיחה התקיימו ככל הנראה רק מחנות עבודה תקופתיים. מרכז ההפקה ומרבצי הנחושת בפונון ובסביבתה הוא ממקורות הנחושת הבודדים בלבנט הדרומי והוא הגדול והחשוב שביניהם, וייצור הנחושת שם היה בהיקף נרחב יותר מכל אתר אחר באזור. תחום פעילות

ממול: קניון ואדי ע'ויר, מקור המים של פונון הקדומה

ההפקה של בקעת פונון משתרע על פני 20x25 קמ"ר ונמצאו בו אתרי התכה המכילים, על-פי הערכה, 150-200 אלף טון סיגים (סיגים – שאריות הברז הנשארות לאחר ההפקה) – פי מאה מאשר בתמנע. רק מפגש בלתי אמצעי עם האתר הגדול מאפשר לעכל את העובדה שאתר זה אכן היה מרכז הפקה למכרות רבים, וייצר נחושת עבור כל דרום הלבנט וכנראה אף מעבר לו. אולם במחקר המודרני (וגם בתודעתנו) האפילה תמנע על פונון, בעיקר בזכות פעילותו המחקרית רבת השנים של בנו רותנברג ו"משלחת הערכה".

בשנות ה־80 של המאה ה־20 החלה עבודת מחקר מקיפה של צוות חוקרים גרמני ממוזיאון המכרות בבכוכום בראשותו של אנדראס האופטמן. החומר הרב שנאסף פורסם לאחרונה בספר באנגלית (Hauptmann, 2007) שמהווה כיום את אחד המחקרים החשובים ביותר על מטלורגיה קדומה של נחושת. משנות ה־90 עבדו באזור פינאן משלחות נוספות שהתמקדו בשאלות ארכאולוגיות, היסטוריות ותרבותיות של החברות השונות שחיו באזור וניצלו את מרבצי הנחושת הטבעיים. שתי המשלחות החשובות ביותר הן זו של המרכז הבריטי לחקר הלבנט (Barker et al., 2007) וזו של אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו (Levy et al., in press). החומר המובא להלן מתבסס על עבודות אלו ומציג באופן חלקי ביותר את עיקרי התגליות האחרונות.

הבצר

הבצר העיקרי נמצא בגוף סלעי בעובי 1-2 מ' בחלק העליון של יחידת סלעי דולומיט ופצלים מגיל קמבריום (לפני כ־550 מיליון שנה). סלעים אלה נוצרו בתנאים ימיים, שהיו אפיזודה חולפת באזורנו בתקופת הקמבריום. לפנייהם ואחריהם נוצרו בעיקר אבני חול, המייצגות תנאים יבשתיים. יחידה חריגה זו של סלעים ימיים מוגדרת בירדן כתצורת בורג', ומקבילתה הישראלית הוגדרה בתמנע ואף נקראת תצורת תמנע. הבצר עצמו חורג לעתים בכמה עשרות ס"מ אל תוך אבן החול הקמברית (תצורת אוס־עשרין) שמעל לתצורת בורג', והוא מכיל מינרלי נחושת יחד עם תחמוצות מנגן. ההשתרעות האופקית של הבצר וריכוזי מינרלי הנחושת בתוכו אינם אחידים; בוואדיות ח'ליד ודנא, באזור ח'רבת א־נחאס וח'רבת אל־ג'ריה אפשר למצוא בקלות מחשופים מרשימים. כלפי מזרח, בוואדי דנא, פוחתת תכולת הנחושת, והבצר מכיל בעיקר תחמוצת מנגן. ריכוזים של מינרלי נחושת יש גם בעורקים שבתוך אבן החול העליונה (תצורת אוס־עשרין), אך הם בעלי חשיבות משנית, ואלו נוצלו בעיקר בתקופות הכלקוליתית והרומית.

מינרל הנחושת העיקרי בתצורת בורג' נקרא כריזוקולה. ההרכב הכללי של הכריזוקולה הוא: נחושת 36%-45%; צורן 19%-26%; חמצן 34%-37%; ואלומיניום 1%-2%. הכריזוקולה מופיע בתרכיזים ירוקים או בכיסים בגודל 1 עד 10 ס"מ, בדרך כלל משולב עם תחמוצת מנגן שחורה ולעתים מנוקד בכחול על־ידי מינרל נחושת נוסף – פלנכיט. צורה גבישית נוספת של הכריזוקולה, הנקראת דיאופטז, מוכרת גם מתצורת תמנע. מינרל הנחושת השני בחשיבותו הוא המלכיט, המוכר אף הוא מתמנע. תצורת תמנע היא, כאמור, מקבילתה המערבית של תצורת בורג', אך בה לא כרו בעת העתיקה, משום שאין לה מרחב מספיק גדול של חשיפה טובה, למעט מכרה בודד בגבעת ססגון, שנוצל בתקופות שונות. סביר אפוא להניח, שכל הבצרים המכילים כריזוקולה שנמצאו באתרים הארכאולוגיים של דרום הלבנט, יובאו מפונון ולא מתמנע.

מינרלי הנחושת ותחמוצת המנגן השחורה המשתלבים זה בזה, גורמים לצבע השחור ולהופעה חיצונית מיוחדת של הבצר בפונון, השונה משל יתר המקורות בלבנט, כולל זה של תמנע. תכולת יסודות הקורט (יסודות הנמצאים בריכוזים זעירים) בבצר של פונון ובנחושת המופקת ממנו נמוכה בהשוואה לתמנע, מלבד העופרת המגיעה כדי אחוז אחד. גם היחסים האיזוטופיים בעופרת של הבצר בפונון, דומים לאלה של תמנע, אך שונים מכל הידוע במרחב (אנטוליה, הים האגאי והסביבה). לכן, בעזרת האיזוטופים של העופרת, ניתן להבחין בין נחושת שמקורה בערבה (תמנע ופונון) לבין

נחושת שמקורה במקום אחר במזרח הים התיכון; ואילו יסודות הקורט האחרים והכריזוקולה עשויים לאפשר הבחנה בין נחושת שמקורה בתמנע לבין זו שמקורה בפונון. הבדלים אלה מאפשרים לחוקרים לשחזר את נתיבי סחר הנחושת בעת העתיקה.

הכרונולוגיה של הכרייה וההתכה

מחצבי הנחושת בפונון נוצלו במהלך שמונת אלפים שנה, והם מייצגים נאמנה את התפתחות הטכנולוגיה של כורי ההיתוך. כרייה החלה כבר בראשית הניאולית הקדם־קרמי, אולם אז שימש הברז כחומר גלם לחרוזים ירוקים וחפצי אמנות אחרים ואילו התכות של ממש החלו מאוחר יותר. נראה שההפקה לא הייתה רצופה והיו לה נקודות שיא בתקופת הברונזה המוקדמת, בתקופת הברזל ובתקופה הרומית. היו גם אפיזודות נוספות ופחות חשובות, כשהאחרונה שבהן הייתה בתקופה הממלוכית. היישובים המוקדמים ביותר סמוך לפונון, שיושביהם כרו את בצר הנחושת, התגלו לאורך ואדי ע'וויר וואדי פידאן. הם מתוארכים לשלבים שונים של התקופה הניאוליתית.

התקופה הניאוליתית הקדם־קרמית (8300-5500 לפנה"ס)

בתקופה זו החלה פעילות הכרייה באזור, אולם עדיין חסר היה הידע המטלורגי הנדרש להתכה והבצר נסחר הודות לצבעי המינרלים ולא לשם הפקת נחושת מתכתית. השימוש באבן הירוקה המכילה נחושת למטרות נוי ולמטרות קוסמטיות נפוץ במרחב וחומר שמקורו באזור פונון נסחר והובא ליריחו ולאטרי ניאולית קדם־קרמי נוספים. בתקופה זו החל ייצור מסיבי של טיח. טכנולוגיה זו דרשה ידע נרחב בשימוש באש (פירו־טכנולוגיה) והיותה שלב בדרך להתפתחות הידע המטלורגי המורכב בתקופות הבאות.

התקופה הניאוליתית הקרמית (5550-4500 לפנה"ס)

למרות טענות שונות לעדויות להתכה כבר בתקופה זו (כמו למשל ממצאים מתל ואדי פינאן, כשני ק"מ ממערב לפונון), מרבית החוקרים שוללים את קיומו של הידע הדרוש להתכה בתקופה זו במרחב של דרום הלבנט, וטוענים שגם אז הכרייה נועדה לשימוש בבצר עצמו ולא להפקת נחושת.

התקופה הכלקוליתית (4500-3600 לפנה"ס)

בתקופה זו החלה התכה של בצר נחושת במרחב של דרום הלבנט, אולם הכבשנים עצמם נמצאו בתוך אתרי היישוב שהיו ממוקמים הרחק מאזור הבצר, בסביבת עמק באר שבע. באזור פונון תוארכו לתקופה הכלקוליתית רק מכרות, וטרם נמצא אף יישוב או אתר הפקה עם ממצא ודאי מתקופה זו. יש לשער שהכרייה הייתה עונתית והתבססה על מחנות ארעיים אשר סיפקו חומר גלם לבתי מלאכה קטנים ומרוחקים שייצרו את כלי הנחושת הראשונים המוכרים לנו במרחב.

תקופת הברונזה הקדומה (3600-2000 לפנה"ס)

העדות הראשונה להתכה בקרבת אזורי הכרייה בפינאן היא מתקופת הברונזה הקדומה א (באתר ואדי פידאן 4). פעילות ההתכה פרחה במהלך האלף השלישי לפנה"ס (ברונזה קדומה ב-ג) וניכרה במאות כבשנים מופעלי רוח שהוקמו בראשי גבעות בשולי הערבה. עיקר השימוש היה בבצר הכפול נחושת־מנגן, שהיווה פריצת דרך בתולדות המטלורגיה, משום שהמנגן גורם להתכה קלה יותר, לזרימה טובה יותר של הסיגים ולהגדלת כמות המתכת המופקת בכל מחזור. דבר זה גם מיתן את הדרישות לאיכות הבצר, הגדיל את כמויות הבצר שניתן היה לנצל ואת כל פעילות הכרייה וההתכה. מעריכים כי הפקת הנחושת בפונון בתקופת הברונזה הקדומה היוותה תמריץ לפיתוח האורבני בארץ

ישראל בתקופה זו. מפעל אדיר של זיקוק נחושת ובתי יציקה לייצור כלי נחושת ומטילים נחשף בח'רבת חמרה איפדאן בגדה הדרומית של ואדי פידאן, כמה קילומטרים ממערב לפונון. בתקופות הברונזה התיכונה והמאוחרת הצטמצמה פעילות ההפקה במרחב כולו ואת הבכורה באספקת הנחושת לקחה קפריסין.

תקופת הברזל (1200-586 לפנה"ס)

ייצור הנחושת באזור פונון בתקופה זו מגמד את כל הפעילות הקודמת שהייתה באזור ובלבנט כולו. התפתחויות הנדסיות והבנה גיאולוגית מעמיקה יותר אפשרו חידוש של מכרות שנוצלו ככל שאפשרו אמצעי תקופת הברונזה. בתקופה זו נכרו פירים לעומק של 50-60 מ', שאפשרו ניצול של שכבות עמוקות יותר בתצורת בורג'. כמאה אתרי כרייה מתקופה זו התגלו בוואדיות באזור; כ-100,000 טון סיגים בפונון ובח'רבת א־נחאס מעידים על פריחה בהפקת נחושת בקנה מידה תעשייתי במהלך החלק הראשון של תקופת הברזל, בין המאות ה-12 והתשיעית לפנה"ס. בתקופה זו הייתה פונון, ללא ספק, מקור לעוצמה פוליטית וכלכלית, ואולי גם אחת הסיבות המרכזיות למאבקי השליטה על אדום. לדעת נלסון גליק השתלט דוד המלך על אדום בשל מכרות הנחושת ("וישם באדום נציבים ויהיו כל אדום עבדים לדוד" [דברי הימים א יח, יג]) ושלמה בנו פיתח את הפקת הנחושת לכדי מפעל לאומי, כאשר הנחושת משמשת בסיס לסחר החליפין עם ארצות רחוקות כמו תרשיש, אופיר ושבא (אולם יש לציין שבמקרא אין התייחסות מפורשת ל"מכרות המלך שלמה" — מושג שהוא פרי הדמיון של הסופר ה"ר האגארד).

האתר המרכזי מתקופה זו הוא ח'רבת א־נחאס, מרכז הפקת הנחושת הגדול ביותר בדרום הלבנט. ח'רבת א־נחאס (בעברית: "חורבת הנחושת") שוכנת על גדתו הדרומית של ואדי אל-ע'וויבה, בצפון מערב אזור מכרות הנחושת של פינאן. החורבה משתרעת על פני כ-100 דונם וכוללת עשרות ערמות של סיגי נחושת שחורים, סדרה של מבנים מסיביים ומצודה הנראים כבירור אף מהחלל. על אף שהחורבה הייתה מוכרת לחוקרים עוד משלהי המאה ה-19, היא נחפרה ביסודיות רק בשנים האחרונות בידי משלחת של אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו, בניהולם של פרופ' תום לוי וד"ר מוחמד נג'אר. תוצאות החפירות משחזרות סיפור מרתק של טכנולוגיה אבודה ושל ארגון תעשייתי-חברתי מורכב, ומייצגות את היסטוריית הפקת הנחושת באזור הערבה במהלך תקופת הברזל.

אנליזה של עשרות דגימות פחמן 14 הראו שהפקת הנחושת באתר החלה בסביבות המאה ה-12 לפנה"ס ואולי אף מעט קודם לכן, ושיא הפעילות התרחש במהלך המאה העשירית לפנה"ס, בתקופה שבה נבנו מרבית המבנים המסיביים והמצודה הגדולה (73x73 מ'). לקראת סוף המאה העשירית לפנה"ס חלה תמורה ניכרת בפעילות ההפקה שהתבטאה בשינוי הארגון המרחבי של התעשייה ובהופעה של טכנולוגיית התכה חדשה ויעילה הרבה יותר, עם כבשנים גדולים יותר ומערכת מתוחכמת של מפוחים. השימוש בטכנולוגיה החדשה נמשך עד שלהי המאה התשיעית לפנה"ס, אז הופסקה התכת הנחושת באתר במקביל להפסקת ייצור הנחושת בפינאן ובערבה כולה.

תגליות חדשות מתמנע (Ben-Yosef et al., 2012) מצביעות על קשר הדוק בין פונון ודרום-מערב הערבה בתקופת הברזל. הפקת נחושת בטכנולוגיות זהות התרחשה כל העת במקביל ובקנה מידה קטן יותר באתרי הכרייה וההתכה של תמנע. נראה כי אותה קבוצה חברתית תפעלה את תעשיית הנחושת בשני האזורים, כאשר מוקד השליטה היה באזור המרכזי והמיושב יותר — פונון. המשימה הקשה ביותר של הארכאולוג היא לקשר את הממצא לאירועים היסטוריים, לקבוצות אתניות ולישויות פוליטיות שפעלו במרחב. השלכותיה של פרשנות הממצא מח'רבת א־נחאס קשורות גם לוויכוח על האמת ההיסטורית של תיאורי המקרא, במיוחד בהקשר לימי דוד ושלמה. האם שיא הפקת הנחושת במהלך המאה העשירית לפנה"ס קשור בצורה זו או אחרת לממלכה המאוחרת שמרכזה בירושלים (כפי שהציע נלסון גליק)? האם ישבו כאן האדומים המוזכרים



ערמת סיגי נחושת בח'רבת א־נחאס, אחד מאתרי התכת הנחושת של פונון

במקרא כאויב מר של ישראל והם שהיוו מטרה לכיבושי דוד? ויכוחים בעניינים אלו ואחרים עדיין ניטשים בין החוקרים, אבל התמונה המרכזית העולה מן הממצא מרמזת שסביב אתרי הפקת הנחושת בערבה התגבשה היישות האדומית שמאוחר יותר מרכזה יהיה ברמת עבר הירדן הדרומי (סביב בצרה, כיום הכפר בוציירה). כמו כן נראה שאת ההפרעה בפעילות הפקת הנחושת והופעת הטכנולוגיה החדשה יש לייחס למסע הצבאי של פרעה שישק מלך מצרים לאזור הנגב. נראה כי המסע המוזכר הן במקרא הן בכתובת חיצונית (מקדש כרנך) כוון בין השאר להשפיע על תעשיית הנחושת בערבה. הפסקת ייצור הנחושת בשלהי המאה התשיעית לפנה"ס היא עדיין חידתית וייתכן ונבעה מעלייתה המחודשת של קפריסין כמקור מרכזי למסחר במתכת, מיריבות צבאית בין ממלכות מקומיות, מהתערבות אלימה של הארמים בתעשייה בערבה או בדרכי המסחר או משילוב של כמה גורמים. נראה כי את מקום הנחושת בכלכלה האדומית החליפה השליטה על צומת מרכזי במסחר בין ערב והלבנט.

אל ח'רבת א־נחאס ניתן להגיע רק ברכב שטח או בהליכה ארוכה מהכפר הבדווי קוריירה. האתר שוכן בלב השטח המורחב של שמורת דנא והביקור בו דורש תיאום מראש. בביקור באתר ניתן להתרשם משרידי התעשייה המרשימים ומשטחי החפירה, שעל אף שטרם הוכשרו לביקורי קהל



תל ח'רבת פינאן

הערכת כמויות של סיגים ונחושת שהופקו באזור פונון בתקופות שונות (לפי Hauptmann et al., 1992)

משקל נחושת (טונות)*	משקל סיגים (טונות)	תקופה
500-300	5,000	תקופת הברונזה המוקדמת
18,000-6,500	130,000-100,000	תקופת הברזל
7,000-2,500	70,000-40,000	התקופה הרומית
150-100	1,500	התקופה הממלוכית

* כמות הנחושת חושבה במשוער על-פי כמות הסיגים

סיכום

פונון וסביבתה הם דוגמה יוצאת מהכלל של אזור תעשייתי קדום יחיד במינו במרחב שלנו. פונון הייתה המרכז החשוב ביותר של הפקת הנחושת בדרום הלבנט הקדום, והעובדה שהאזור לא נוצל בתקופות מודרניות הצילה את השרידים הארכאולוגיים שהשתמרו היטב בסביבה המדברית. אנשי מדע מכל העולם מגיעים לכאן על מנת ללמוד על התפתחות טכנולוגיות המטלורגיה לאורך התקופות ועל הקשר בין אדם לסביבתו. השוואת פונון לתמנע מייצגת את תמצית ההבדלים הסביבתיים משני עברי הערבה – ההבדל הראשון נוצר עקב הנסיבות הגיאולוגיות שגרמו לתנועת עבר הירדן צפונה והרמת רמת אדום ביחס לנגב, וההבדל השני נוצר בהשפעת משטר הרוחות והגשמים האזורי. אין ספק שההתוודעות לסיפורה של פונון, ביקור באתר ובמתקניו וסיור במכרות ובאתרים הרבים שמסביב, הם חוויה מרתקת לכל אדם ולתושבי הערבה במיוחד.

פוחחים חלון אל ההיסטוריה של התעשייה (למיקום שטחי החפירה של אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו ראה Levy et al. in press): בשטח A ניצב בית השער של המצודה מהמאה העשירית לפנה"ס ובו ספסלים, חדרי משמר ושרידים של בית מלאכה מטלורגי מהמאה התשיעית; בשטח F נחשף בית מלאכה מיוחד במינו לזיקוק נחושת גולמית עם חלק מהכבשנים באתר; בשטח T-R שרידי מבנים מסיביים שכנראה שימשו את האליטה השלטת והאחראית על ארגון התעשייה; שטח W מכיל שרידי מבנים ששימשו מחסנים, בתי מלאכה וכנראה גם מרחב בו עסקו חרשי המתכת בפולחן; בשטח M נחפרה ערמת סיגים לכל עומקה ונחשף חתך של יותר מ-6 מ' המספר את כל ההיסטוריה של הפקת הנחושת באתר. ניתן גם לסייר בעמק הסמוך לאתר ולבקר במכרות הנחושת עצמם. חלק מן האתרים הנזכרים לעיל, בעיקר המצודה, נראים בתצלום שבעמודים 112-113.

התקופה הרומית-ביזנטית (63 לפנה"ס-640)

בתקופה הרומית-ביזנטית נודעה פונון בשם פאינו, והתחדשה אז הפקת נחושת בקנה מידה גדול. הואיל ובתקופות הקודמות נוצלו מאוד השכבות העשירות במינרלי נחושת שבתצורת בורג', נאלצו בתקופה זו להשתמש במקורות נחותים יותר מתוך אבן החול הקמברית (תצורת אוס-עשרין). יותר מ-120 מכרות פעלו בין המאה השנייה למאה החמישית. כמו בעבר, רוכזו הבצר שנכרה בסביבה לאתר התכה מרכזי בקרבת פונון העיר. 70-50 אלף טון סיגים מתקופה זו מעידים על שהייתה אז פריחה נוספת של הפקת נחושת נרחבת בסדר גודל של אלפי טון.

בכתבי הכנסייה מצוינים בישופים מפאינו, שהשתתפו בוועידות אקומניות (ועידות של אבות הכנסייה בהן דנו וקיבלו החלטות בנושאים הקשורים באמונה הנוצרית). בין הריסות פונון הביזנטית בולטות שתי כנסיות. אובסביוס, בישוף קיסריה הביזנטית, מתאר את פאינו כמושבת עונשין של אסירים, שבויים ועבדים, שעבדו בפרך בהפקת הנחושת. פונון איבדה את חשיבותה כמרכז הפקת נחושת אחרי שנת 500, אך המשיכה להתקיים כיישוב בעל חשיבות מסוימת ובתקופה הממלוכית אף התחדשו הכרייה וההפקה באזור, אולם בהיקפים נמוכים.

אפשר לשער כי צריכת פחמי עץ כמקור אנרגיה להפקת הנחושת הביאה לשינויים סביבתיים ואקולוגיים, וסביר להניח שעצי הערבה שילמו את מחיר השגשוג הכלכלי בעיקר בתקופות השיא של ההפקה באזור. במהלך תקופת הברונזה הקדומה, תקופת הברזל והתקופה הרומית התיכו נחושת בקנה מידה גדול שדרש עצים רבים, ובדיקות הפחמים מראות שבתקופות מסוימות ניצלו אף את עצי הערער הגדלים גבוה יותר על מדרונות הרי אדום (נראה כי לאחר שהעץ המקומי אול). בסביבות נאות המדבר של פינאן ניצלו באופן גורף את הצמחייה ההידרופילית הגדלה יחסית במהירות (בעיקר אשלים) ובבדיקות מיקרוסקופיות נמצאה עדות לגיזום מבוקר המכוון להגדלת קצב הגדילה של הצמחים. היעדר המים באזור תמנע לעומת זאת גרם למחסור חמור בחומר עצי שהתבסס בעיקר על השיטים הגדלות לאט, ונראה כי גורם זה הגביל את ההפקה בתמנע לאורך כל התקופות בהן הופקה הנחושת בערבה.

הערכת כמות הנחושת שהופקה על בסיס כמות הסיגים

ניסויים מראים כי היחס בין סיגים לנחושת בבצר של פונון הוא בערך פי 15-10, ויחס זה משמש להערכת כמות הנחושת שיוצרה באתר לדורותיו. שיטה זו ממעיטה את היקף ההפקה בתקופה הכלקוליתית ובראשית תקופת הברונזה, משום שההיתוך היה אז בהרבה כורים קטנים ומפוזרים בעלי ערמות סיגים קטנות, שלא תמיד בולטות בשטח ולא ניתן לסכם את כולן כמותית. כמו כן עד כמה שהסיגים קדומים יותר, גדלים הסיכויים שחלק מהם מוחזרו, נקברו או אבדו בדרך אחרת, ולכן יש לתת לסיגים הקדומים משקל גדול יותר מאשר לסיגים המאוחרים.