

יוסף בודנהיימר, בנו רותנברג, דוד פיזאנטי

מטלורגיה של תקופת התלמוד: הברזל במקורות תלמודיים*

במקורות התלמודיים מצויות התייחסויות רבות מאוד למתכות, להפקתן, לעיבודן ולשימוש בהן. הברזל היה המתכת הנפוצה ביותר בתקופת התלמוד, וכלי הברזל היו הבסיס לטכנולוגיות רבות אחרות. ניתן לזהות ידע מגוון מאוד בנפחות הברזל, כולל נפחות מתוחכמת לייצור כלי עבודה וכלי נשק, ברמה טכנולוגית גבוהה. במאמר מוצגים ארבעה נושאים הנוגעים לתהליך הייצור: גמר מלאכה, צירוף, ברזל קשה, והמושגים עשת וחררה, וכן מובאים כמה טקסטים על החיבת הבריאותי של הברזל.

המחקר נעשה בדרך של בדיקת מושגים ותיאורי תהליכים המופיעים במקורות, תוך השוואה לידע על המטלורגיה שהצטבר מממצאים ארכיאולוגיים וממקורות ספרותיים של העולם העתיק.

מבוא

מחקר המטלורגיה של תקופת התלמוד שנערך ביזמתו של הרב עדין שטיינזלץ, נתפס על ידינו כפרק ראשון ביצירת אנציקלופדיה של הריאליה בתקופת התלמוד. מטרת המחקר היא להבין ולשחזר את עולם הריאליה של התלמוד, בכל הנוגע למתכות. אנו חוקרים את סוגי המתכות וסגסוגותיהן, מקורות המתכות, תהליכי הייצור והשימוש בהן. כנושא העבודה הראשון בחרנו את הברזל, מתוך כוונה להתמקד בתחום מוגדר מבחינת המקורות ומבחינה טכנולוגית. התמקדות זו נועדה לאפשר פיתוח המתודולוגיה המחקרית אשר תשמש גם לפרקים הבאים של המחקר.

הברזל היה בתקופת התלמוד המתכת הנפוצה ביותר, וכלי הברזל היו בסיס לטכנולוגיות רבות אחרות. המחקר נעשה בדרך של חקירה טקסטואלית ופילולוגית של מושגים ותיאורי תהליכים המופיעים במקורות תלמודיים, תוך השוואה לידע במטלורגיה עתיקה שהצטבר מממצאים ארכיאולוגיים וממקורות ספרותיים ולידע במטלורגיה עכשווית.

הרקע

ספרות התורה שבעל-פה משתרעה על פני תקופה של יותר מאלף שנים, מראשית ימי הבית השני (בערך 500 לפה"ס) עד לרבנן סבוראי (בערך 600 לספ"ה). החומר הכתוב שנשאר

מתקופה זו הוא עצום בהיקפו, וכולל את המשנה והתוספתא, התלמוד הירושלמי והתלמוד הבבלי, מדרשי הלכה (ספרא, ספרי ומכילתא) ומדרשי אגדה (מדרש רבה ותנחומא ועוד רבים). אמנם המטרה של המקורות היא דתית — בין בכיורו הלכה, בין בעיסוק בבעיות מוסריות ותיאולוגיות — אולם כל הדברים מעוגנים במידה רבה בחיים ובתוך העולם החומרי והחברתי שבו חיו יוצרי הספרות הזו. החומר הריאלי, לעתים הוא הנושא שבו עוסקים ודנים ופעמים שהוא רקע.

המטלורגיה התלמודית לא נחקרה אלא בצורה מצומצמת בלבד. המחקר בתחום זה התבסס בעיקר על בלשנות ועל השוואות עם הספרות שהיתה קיימת בזמנם במקצועות השונים. בהעדר ידע מטלורגי מקצועי לחקירת הדברים לעומקם, נשאו בעיות יסודיות רבות בלתי פתורות. כמו כן, רוב המחקרים האלה נערכו במאה התשע-עשרה ובתחילת המאה העשרים, ומוכן שמאז נוסף ידע ארכיאולוגי וארכיאומטלורגי מעודכן.

שמואל קרויס (קדמוניות התלמוד, ברלין תרפ"ד ותל-אביב תרפ"ט ותשל"ה) הוא ה"קלסיקן" של נושא הארכיאולוגיה התלמודית, אך בנושא מתכות לא היה לו הידע הדרוש. הוא סקר את הנושא כבעשרה עמודים שבהם הוא מתאר תהליכי עיבוד ברזל מוכרים ואפילו קורא לו בשמו "ברזל", אך מפלפל ומסביר שלדעתו ברזל זה הוא למעשה ברונזה!

עמנואל לעף היה בן אותה תקופה. באוסף מאמריו הנקרא *Fauna und Mineralien der Juden*, שיצא לאור לאחר מותו בהילדסהיים 1969, יש ריכוז מקורות רבים בנושא, אך גם הוא לא הביא את הנושא לרמה מקצועית טכנולוגית נאותה.

בימינו פרסם הרב דניאל שפרבר סדרת מחקרים חשובים על זיהוי של כלים ומתקנים שונים, ביניהם גם כלים עשויים ממתכת (בסדרה "מחקרים בריאליה תלמודית", בכתב העת סיני, ובאחרונה גם בספרו: תרבות חומרית בארץ ישראל בימי התלמוד), אך במחקריו לא הגיע לדיון במתכות או בתהליכים מטלורגיים.

בספרות הארכיאולוגית של אזורנו התפרסמו ממצאי מתכת רבים מהתקופה הנידונה כאן, אך על-פירוב עסקו החוקרים רק בהיבטים ארכיאולוגיים-טיפולוגיים וללא מחקר מטלורגי. אולם, בדור האחרון חל שינוי גדול בגישת אנשי המדע לחקר חומרים, ובמיוחד בחקירה של ממצאים מטלורגיים עתיקים, ולכן נערכו חקירות שיטתיות בכלי מתכת השמורים במוזיאונים. היות שבמקביל נערכות חפירות ארכיאולוגיות רבות בכל המרחב של המזרח הקדום, כולל, לראשונה, חפירות באתרי כרייה והתכה של מתכות (ראה: בנו רותנברג, "מחקרי תמונע 1959-1990", בקובץ: אילת והערבה, ירושלים, 1995), עומד לרשותנו היום מאגר נרחב של ידע חדש, הן ארכיאולוגי והן ארכיאומטלורגי, המהווה בסיס איתן לחקר ההיבטים המטלורגיים במקורות שלנו.

ביבליוגרפיה (חלקית) לנושא הברזל בימי קדם באזורנו ניתנת בסוף המאמר.

שיטת המחקר

תוך כדי עבודת המחקר פותחה שיטת המחקר הנראית לנו כמתאימה ביותר:
א. בניית מאגר מידע ממוחשב של אזכורים על המתכות, תהליכים, מושגי יסוד מטלורגיים, סוגי המתכות, שיטות עיבוד, מתקנים וכלים.

- ב. זיהוי מושגים מטלורגיים שמהם ניתן לשחזר את המערך הטכנולוגי של התהליכים, תוך שימת דגש על קשרם הטכנולוגי ההדדי.
- ג. היות שהמקורות סוקרים למעלה מאלף שנה, אפשר לעמוד על השינויים שחלו בטכנולוגיה של המתכות במשך תקופה ארוכה זו, תוך השוואת התיאורים בתלמוד עם ההסברים והפירושים של המפרשים לתקופותיהם.
- ד. כדי להגיע לשחזור המטלורגיה של תקופת התלמוד על פרטיה, נבנה בסיס מידע ממקורות-חוץ של האזורים הרלוונטיים למחקרנו. בעזרת מידע זה אפשר להשלים הרבה מהפרטים החסרים במקורותינו.
- ה. במקביל לחקר המקורות אנו בונים מאגר מידע השוואתי על ממצאי מתכת ארכיאולוגיים ופרסומים רלוונטיים, כסיוע וכהשלמה של התמונה הנוצרת מתוך המקורות התלמודיים.
- ו. כשמתעוררות בעיות שאין לפתור אותן מתוך המקורות או מתוך הידע המטלורגי הקיים, הן מועברות למעבדה מטלורגית לשם בדיקה ניסיונית.
- במהלך המחקר התוודענו למקור חשוב נוסף של מידע מתקופת התלמוד: התרגומים של התנ"ך לשפה הארמית, ובמיוחד תרגום אונקלוס, יונתן בן עוזיאל ותרגום ירושלמי, וכן הפשיטא הסורית. מחבריהם השתמשו במונחים, שמות ותיאורים של תקופתם לזיהוי מונחים, שמות עצמים ותיאורי תהליכים המופיעים בתנ"ך, ובכך זורעים אור על תקופתם הם.
- חשוב לציין, שהמקורות התלמודיים למחקר זה הם אמינים מבחינת הידע המטלורגי הנמצא בהם. המחברים התמצאו ככל הנראה היטב בתהליכים, בשיטות ובטכנולוגיה, כפי שהיו ידועים בימיהם. מטבע הדברים מתעוררות שאלות רבות שאי-אפשר להשיב עליהן, והמקורות שלישותנו נותנים לעתים תמונה חלקית בלבד. יש הרבה נעלמים: כלים ותהליכים לא מזוהים, שימוש לא אחיד במושגים ובעיקר מידע קטוע. תוך כדי עבודת איסוף, סינון, בירור, אינטרפרטציה והשוואות עם מידע מקביל, נתקלים בהרבה בעיות מעניינות שפתרוןן יתרום תרומה חשובה להבנת המקורות והתרבות החומרית של עולם התלמוד.
- הפרויקט הארכיאולוגי-מטלורגי מהווה מודל מחקרי שיסייע בפיתוח המתודולוגיה למחקרים בשטחים אחרים של הריאליה התלמודית, כגון חקלאות, בוטניקה, רפואה עממית. כמו כן יאפשר גיבוש דרכי הפרסום המתאימות למחקר אינטרדיסציפלינרי בריאליה של התלמוד.

הברזל בתלמוד

להלן מובאים מספר נושאים שנידונו במהלך המחקר של הברזל במקורותינו. יש להדגיש שהנושאים נבחרו כהצגה ראשונית וחלקית של כמה מממצאי המחקר. לא ניסינו להביא כאן סיכום מדעי של עבודת הפרויקט, עם בדיקת נוסחאות וכתבי-יד, השוואה לממצאים ארכיאולוגיים וכדומה, תוך ארגון שיטתי של החומר הרב הנמצא תחת ידינו. במקום זאת, בחרנו להציג ארבעה נושאים הנוגעים לתהליך הייצור, מסופו אל תחילתו, ועוד נושא שאמנם אינו נוגע לתהליך הייצור, אך עשוי לעניין ציבור של אנשי מדע שומרי תורה.

א. גמר מלאכה בכלי ברזל

כבא מציעא פד ע"א

הקונטקסט

ר' יוחנן וריש לקיש (אמוראים, דור שני בא"י) דנים על השאלה מתי כלי מתכת נגמרת מלאכתו (שייחשב ככלי גמור) לעניין קבלת טומאה. ונחלקו ר"י ור"ל מאיזה שלב נחשב "גמר מלאכתם". לתשומת לב: ר' יוחנן נקרא בכמה מקומות "בר נפחא", ואילו ריש לקיש בא מרקע של משתמש בכלי זין בפועל.

הטקסט

יומא חד הוה מפלגי בי מדרשא (=יום אחד היו נחלקים בבית המדרש) הסיף והסכין והפגיון והרומח ומגל יד ומגל קציר מאימתי מקבלין טומאה, משעת גמר מלאכתן. (המקור של מובאה זו אינו ידוע, כי אינו מופיע במשנה או בתוספתא). ומאימתי גמר מלאכתן, רבי יוחנן אמר משיצרפם בכבשן, ריש לקיש אמר משיצחצחן במים. אמר ליה (ר"י לר"ל) לסטאה בלסטיותיה ידע (רש"י: לפי שהיית לסטים אתה בקי באותן כלי אומנות ליסטיות).

דיון מטורוגי

מבחינה מטורוגית אין כאן מחלוקת, אלא מדובר בשתי שיטות נפחות שונות. לפי רשימת הכלים, שבהם דנו ר"י ור"ל, מדובר על כלי נשק וכלי עבודה, ובתקופה הנידונה שני סוגי כלים אלו נעשו בתהליכים מטורוגיים שונים. את כלי העבודה יצרו מברזל חשיל, על-פי-רוב בעבודת פטישים לאחר שהברזל מחומם היטב (מעל 1000 מעלות צ'). לאחר שגוש הברזל קיבל את צורת הכלי הרצויה עבר הנפח לעבודת פטישים קרה, לשם גמר המלאכה. העיבוד הקר הוסיף לברזל חוזק ניכר — כדרוש לכלי עבודה — אך יחד עם זה גרם לפריכות (brittleness) רבה מדי של הברזל. כבר בתקופות קדומות לתקופת התלמוד ידע הנפח שניתן להחזיר לברזל את הגמישות (משיכות — ductility) הדרושה על-ידי "צריפה בכבשן" (annealing) של הכלי בחום יחסית נמוך (300-400 מעלות צ'). ר"י, "בן הנפח", התייחס ל"גמר המלאכה" בשיטת נפחות זו שהייתה מקובלת ביותר בקרב נפחים שעסקו בעיקר בכלי עבודה ומתקנים "אזרחיים".

ריש לקיש, שהיה "בקי באותם כלי אומנות ליסטיות", ידע שכלי-נשק טובים עשויים בשיטת נפחות הקשורה ב"יצחצחן במים". עיקרה של שיטה זו הוא הפיכתו, לפחות חלקית, של ברזל חשיל לפלדה. התהליך מתחיל בעבודת נפחות חמה או קרה, או שתיהן, בברזל חשיל, ובהמשכו הכלי שנוצר עובר חימום במתקן מיוחד לפחמון (carburization) — בדרך-כלל תנור סגור עם להבה של פחמי עץ שבו הברזל סופג פחמן (לשכבה העליונה של הכלי) — והתהליך כולו מסתיים בקירור מהיר של הכלי במים קרים (quenching). בשלב זה השכבה החיצונית של הכלי, עשויה ברזל עם פחמן, עוברת תהליך של חיסום והופכת לשכבה קשה מאוד של פלדה (case hardening). שכבת הפלדה עוטפת את הכלי ועושה אותו לכלי נשק עמיד וחד.

התיאור בגמרא של חיסום במים כגמר המלאכה, חשוב כעדות אמינה לקיומו של תהליך זה בארץ-ישראל בתקופת התלמוד — וזה גם התיאור הקדום ביותר הידוע לנו. תיאור זה

מקבל אישור מדעי ע"י המחקר המטלורגי של ממצאי מתכת ארכיאולוגיים, ובמיוחד כלי-נשק בני תקופת התלמוד. אין ספק שתהליך הפחמון והחיסום במים כגמר המלאכה היה נפוץ — אך לא היחיד (ראה להלן) — בין נפחי הברזל בכל המזרח הקדום.

מקבילות

משנה כלים יד, ה:

הסיף מאימתי מקבל טומאה משישופינו, והסכין משישחזונה.

פירוש המשנה לרמב"ם (תרגום אלחריזי):

משישופנו. משימרח בשמן אחר הלטישה כמו שיעשו בסיף. תרגום וירחץ — ויסק, וימשח — ושף. משישחזונה — משיחדדנה, והאבן אשר יחדרו בו הסכין נקרא משחזות.

פירוש המיוחס לרב האי גאון על המשנה:

פירוש כדכתיב (ש"ב יב, כ) ויקם דוד וירחץ ויסק ומתרגם רב יוסף ומשח ושף.

תוספתא כלים ב"מ פ"ג:

הסיף והסכין שהעלו חלודה טהורים. שפן והשחזון — חזרו לטומאתן ראשונה.

רמב"ם, משנה תורה, הלכות כלים פ"ח ה"א-ה"ב:

כל כלי מתכות אינן מקבלין טומאה עד שתגמר מלאכתן כולה ולא יהיה הכלי מחוסר מעשה כלל. אבל גולמי כלי מתכות אינן מקבלין טומאה... כיצד, הסיף אינו מקבל טומאה עד שישופנו, והסכין עד שישחזונה, וכן כל כיוצא במעשים אלו.

תוספות ב"מ פד ע"א, ד"ה הסכין:

הסכין והפגיון מאימתי מקבלין טומאה. הקשה ר"ת, דתנן במס' כלים פרק י"ד הסיף והסכין מאימתי מקבלין טומאה הסיף משישופנו והסכין משישחזונה, והיינו דלא כרבי יוחנן ודלא כר"ל. ונראה דההיא מתני' (שאותה משנה) כשהעלו חלודה ובא לתקנן, דתניא (שלמדנו) בתוספתא סייף וסכין שהעלו חלודה טהורין שפן והשחזון חזרו לטומאתן הראשונה. אבל מתחילתם הוי גמר דידהו כדמפרש בשמעתי' (הוא גמר שלהם כמפורש בגמרא). ונראה דשפן קאי (מדבר על) אסיף והשחזון קאי אסכין אע"ג דקתני (שאמר) לשון רבים, והוי השתא (והרי עכשיו) תוספתא כמו המשנה.

ב. צירוף

יומא לא ע"ב, משנה; שם לד ע"ב, גמרא

הקונטקסט

הכהן הגדול היה צריך לטבול חמש פעמים ביום הכיפורים, ומסופר שהיו מחממים את מי

המקווה כדי שלא יהיו צוננים. הבעיה ההלכתית היא, כיצד ניתן לחמם את המים ביום הכיפורים. צריך גם לדעת, שהצירוף אסור בשבת וביום הכיפורים בגזירת חכמים.

הטקסט

משנה, יומא לא ע"ב:

אם היה כהן גדול זקן או איסטניס מחמין לו חמין ומטילין לתוך הצונן כדי שתפיג צינתן.

גמרא, יומא לד ע"ב:

תניא: אמר רבי יהודה עששיות של ברזל (ראה להלן פרק ד הדין ב"עשת") היו מחמין מערב יום הכיפורים ומטילין לתוך צונן כדי שתפיג צינתן. (והגמרא שואלת) והלא מצרף, אמר רב ביבי שלא הגיע לצירוף. אביי אמר אפילו תימא שהגיע לצירוף, דבר שאין מתכוין מותר... (והרי בעניין אחר אביי אמר דבר שאין מתכוון אסור, תשובה) הני מילי בכל התורה כולה אבל הכא צירוף דרבנן הוא.

רש"י:

עששיות — חתיכות עבות כמו, "עשת שן" (שיר השירים ה) ואף לשון חכמים "מנורה באה מן העשת" (מנחות כח ע"א), "משיש" בלע"ז. והלא מצרף — הנותן ברזל מן האש למים מצרפו מחזקו ומקשהו. שלא הגיע לצירוף — כבר היה מצונן במקצת אע"פ שהיו נותנין בלילה בתוך גחלים לוחשות אינו מלובן כל כך שיהא לו חיזוק ע"י מים.

רבנו חננאל:

והלא מצרף — כלומר והלא נמצא מכבה ריתוח האש במים וצירוף זה כאותו הצירוף שחלקו בו רבי יוחנן וריש לקיש בתחילת פרק השוכר את הפועלים (ב"מ פד ע"א) בענין הסייף והסכין והפגיון כו'. ואמרינן עלה מאימתי גמר מלאכתך ר"י אמר משיצרפנו בכבשן ור"ל אמר משיצחצחו במים והוא כעין כביבו... שלא הגיע לצירוף — כלומר לא היו מרתיחין אותן ריתוח הרבה.

המאירי על המשנה:

והוא הצירוף — רוצה לומר שמחזק הברזל כשמניחו במים אחר חמומו כמנהג הנפחים.

בשלא הגיע לצירוף — ר"ל שנצטנן מעט ואינו חם כל כך.

פירוש המשנה לרמב"ם (תרגום אחריו):

וענין חימום המים הוא שהיו מחמין עששיות של ברזל מערב יום הכיפורים ומניחין אותן באש עד למחרת ומכבין אותן במים שהיה טובל בהם והיו נפשרין המים. וזו אינה מלאכה כי אין כוונתן הקשאת הברזל לחזקו כמנהג הלוטשין אבל כוונתם חימום המים.

רמב"ם, משנה תורה, הלכות עבודת יום הכיפורים פ"ב ה"ד:

היה כהן גדול זקן או חולה מלבנין עששיות של ברזל באש מבערב ולמחר מטילין אותן במים כדי להפיג צינתן.

דיון מטלורגי

הרקע המטלורגי של הדיון ביומא לך ע"ב הוא התהליך של פחמון ברזל וחיטומו לפלדה ע"י צינון במים — תהליך הנידון לעיל, פרק ב. המפרשים שואלים שאלה מאור עניינית מבחינה מטלורגית: האם דרגת החום שאליה ניתן להגיע במדרות פחמי עץ מספיקה כדי לגרום לחיסום על-ידי צנון מהיר של העששיות במים? צריך לזכור שאין תהליך של צינון במים משפיע בדומה על ברזל ללא פחמן. אולם, ללא קשר עם הפחמן, אפילו חימום של ברזל ל-100 מעלות צ' יגרום להרפיה מסוימת של ברזל שעבר עבודת נפחות (לייצור מטיל או כלי). מבלי להיכנס לעניין ההלכתי, אפשר להניח שחכמים קבעו שיעור מסוים של שינוי במבנה הפנימי הנחשב משמעותי לאסרו בשבת ("הגיע לצירוף").

מקבילות

משנה, שבת מא ע"א:

המיחם שפינהו לא יתן לתוכו צונן בשביל שיחמו, אבל נותן הוא לתוכו או לתוך הכוס כדי להפשירן.

רש"י:

המיחם. קומקמוס של חמין.

גמרא, שם מא ע"א-מב ע"א:

מאי קאמר (לא מובן מדוע בתחילה נאמר "לא יתן" ואח"כ "אבל נותן"). אמר רב אדא בר מתנא הכי קאמר (כך כוונתו) המיחם שפינה ממנו מים חמין לא יתן לתוכן מים מועטים כדי שיחמו, אבל נותן לתוכו מים מרובים כדי להפשירן.

(ושואלת הגמרא) והלא מצרף. (רש"י: כשכלי מתכות חם ונותן לתוכו צונן מחזקים את הכלי וזו היא גמר מלאכת הצורפין, שרתיחת האור מפעפעתו וקרוב להשבר והמים מצרפין פעפועיו, שולדי"ר בלע"ז).

(ואב"י משיב לבסוף שכאן מדובר שנתרו מים במיחם, וממשיך) ומיחם שפינה ממנו מים לא יתן לתוכו מים כל עיקר מפני שמצרף...

איתמר אמר רב לא שנו אלא שיעור להפשיר (רש"י: ולא לצרף, כגון שלא מלאהו כולו) אבל שיעור לצרף אסור. ושמואל אמר אפילו שיעור לצרף (רש"י: שמלאהו כולו) מותר.

(הגמרא שואלת, הייתכן ששמואל סובר כשיטת התנא רבי שמעון שדבר שאין מתכוון מותר בשבת)

והאמר שמואל מכבין גחלת של מתכת ברשות הרבים בשביל שלא יזוקו בה רבים אבל לא גחלת של עץ (רש"י: גחלת של מתכת — שמשליכין לחוץ פסולת של ברזל,

דלא שייך כיכוי בהכי מדאורייתא, ומדרבנן אסורה. אבל לא של עץ — דאיסורא דאורייתא היא (והגמרא משיבה על כך).

רבינו חננאל (מא ע"ב):

פירוש "צירוף" — הכלי בעת שיתחמם נעשה כגחלת וכשמביאו בשעת גמר מלאכתו בצונן מחזקתו ולוטש פניו ונמצא לו כמו צירוף.

דיון מטלורגי

צירוף ברזל במים — שאלות: האם יש משמעות לצירוף בטמפ' של 100 מעלות צ' ? האם ייתכן שכלי שבתחתיתו מעט מים, דופנותיו העליונות יהיו בטמפ' גבוהה בהרבה ששייך בה צירוף, אם יוסיפו מים לכלי ? תשובות מטלורגיות: הדיון כאן מתייחס לעקרון ולא לפרטים מטלורגיים, שלפי הנראה גם לא היו ידועים למתדיינים. (מונח הטמפרטורה ידוע רק לאחר ימי הביניים.) אין חיסום של ברזל מטמפרטורה של 100 מעלות צ', אך יש הרפיה כלשהי. אם קומקום עשוי פלדה, עקרונית עשוי חימום וצינון פתאומי לגרום לחיסום כלשהו. צריך להדגיש שלא מדובר כאן על חיסום או הרפיה בעלי משמעות מעשית, אלא בעקרון בעל משמעות בתחום ההלכה. רש"י מזכיר בהקשר זה שיטת נפחות נוספת שבתקופתו היתה כבר מפותחת ונפוצה מאוד: שולדי"ר בלע"ז (solder). אולם, מבחינה מטלורגית קשה לראות קשר בין הנושא הנידון כאן לעבודת הלחמה באמצעות מלחם, שאין בה כלל ההיבט של צינון במים. עבודת ההלחמה גם לא יכלה לשמש דוגמה לתהליך שלא במתכוון.

ג. סוגי ברזל קשה: פלדה

1. פרזלא דשליט בפרזלא

סנהדרין צו ע"ב:

אמר רבא טעין תלת מאה כודנייתא נרגא דפרזלא דשליט בפרזלא. שדר ליה נבוכדנצר לנבוזראדן כולהו בלעתניהו חד דשא דירושלם (מדובר במעשהו של נבוזראדן בחורבן הבית. מטען שלש מאות פרוזות גרזיני ברזל התותך ברזל שלח נבוכדנצר לנבוזראדן. את כולם בלע — שיבר — שער אחד שבירושלים)... פש ליה חד נרגא אתא מחייה בקופא ואיפתח (נשאר לו גרוזן אחד, בא והיכה את השער בקצה הרחב של הגרוזן ונפתח)... אמר להו גלו לי וזאי לא סריקנא לכו לבשרייכו במסריקא דפרזלא.

דיון מטלורגי

הביטוי "פרזלא דשליט בפרזלא" בא לציין איכותם היחסית של סוגי ברזל שונים. מבחינה מטלורגית מדובר כאן בגרוזן עשוי מברזל חשיל שעבר טיפול תרמי לחיזוקו, ולא בפלדה כגון "פרזלא הינדואה" (ראה להלן) שלפי הנראה עדיין לא היתה בנמצא בימי נבוכדנצר. לפי הממצא הארכיאולוגי, גם בבבל וסביבתה וגם בארץ-ישראל התהליך הנפוץ ביותר של "פרזלא דשליט בפרזלא" היה פחמון,

צינון במים לשם חיסום, וההרפיה (ראה לעיל) — שיצר קליפה חיצונית של פלדה ועם זה כלי חזק ויעיל. אולם, לפי המשך התיאור, שערי ירושלים היו גם הם עשויים מתכת חזקה — והגרזינים, מלבד אחד, נשברו. התיאור של רש"י (ד"ה בלעתניהו) "שהיו מתפוצצין הפטישים", מתאים מבחינה מטלורגית לצורת השבירה לרסיסים של ברזל מתוסס, שנותרה בו פריכות מסוימת גם לאחר ההרפיה.

2. פרזלא הינדואה

עבודה זרה טז ע"א:

א"ר אדא בר אהבה, אין מוכרין להן עששיות של ברזל. מאי טעמא? משום דחלשי מינייהו כלי זיין. אי הכי אפילו מרי וחציני נמי, אמר רב זביד בפרזלא הינדואה. והאינדא דקא מזבנינן, אמר רב אשי לפרסאי דמגנו עילוין. (תרגום: אסור למכור לגויים עששיות של ברזל. מאיזה נימוק? משום שמכינים מהם כלי זיין. אם כן, אפילו מכושים וגרזנים גם (יהיה אסור למכור להם, משום שיכולים למחזר אותם ולעשות מהם כלי זיין), אמר רב זביד בברזל הודי. ובזמן הזה שאנו מוכרים (אפילו ברזל הודי), אמר רב אשי — לפרסיים, שמגינים עלינו.)

רד"ק, יחזקאל כו, יט:

"ברזל עשות" — והוא הברזל שקורין אלהינדי.

רש"י, שם:

"ברזל עשות" — עשוי כעששיות מש"ש בלע"ז והוא פרזלא הינדואה.

דיון מטלורגי

"פרזלא הינדואה", ז"א ברזל הבא מהודו — ידוע במטלורגיה כ־Wootz — היה למעשה פלדה (סגסוגת ברזל עם לפחות 1.5% פחמן) מיוחדת במינה, שהותכה מגושים קטנים של ברזל חשיל ופחמים בתוך כוריות (crucibles) ובטמפרטורה של לפחות 1400 מעלות צ' — בטמפרטורה זו הברזל עבר למצב נוזלי והפחמן מהפחמים נספג לכל חלקי הברזל — שהפך לפלדה הרמוגנית מצוינת. היות שלכורית היתה צורת חרוט — וגם למטיל הפלדה שנוצר בתוכה — נודע "הברזל ההודי" לפי צורתו המיוחדת הזאת. הפלדה ההודית היתה יקרה מאוד ושימשה בעיקר לייצור חרבות. גם החרב "הדמשקאית", שהיתה מפורסמת בעולם העתיק בגלל איכותה המיוחדת, יוצרה מפלדה הודית.

בתולדות המטלורגיה היה ה־wootz ידוע עד כה בעיקר מהיסטוריונים ערביים מהמאות 11-12 (אלי־בירוני ואל־תרסוסי). מהתלמוד אנו למדים, כי פלדה זו היתה נפוצה באזורנו מאות שנים לפני כן, והיתה סחורה נמכרת. כן נמצינו למדים, שמסחר זה היה בידי יהודים. מידע זה יש לו חשיבות ניכרת גם להיסטוריה של המטלורגיה.

רש"י ורד"ק מפרשים "ברזל עשות" כברזל הודי, בהנחה שהיה קיים כבר בימי יחזקאל הנביא, דהיינו במאה השישית לפה"ס. אך לקיום פלדה בתאריך קדום כזה אין סימוכין בממצא כלשהו (ראה גם דיון ב"עשת" להלן).

3. אסטמא

הביטוי "אסטמא" מופיע בתלמוד בהקשר לברזל, במסכת ברכות סב ע"ב:

אמר שמואל: שינה בעמוד השחר כאסטמא לפרזלא, יציאה בעמוד השחר כאסטמא לפרזלא.

רש"י:

"כאסטמא לפרזלא" — אציי"ר בלעז שמועיל לברזל כך מועיל לגוף יציאה להפנות.

הערות, אסטמא א:

אסטמא הוא דבר שבו מצפין את פי הקרדומות ומר ופסל כדי שיהא חד וחזק ובלע"ז שמו אצ"ר... וי"א לשון מקרא נקרא "ברזל עשת" (יחזקאל כז, יט).

באוצר הגאונים, ברכות, סי' שעג, יש גירסה אחרת:

"כי סיטמא דברזלא" — יש בדיל (צ"ל ברזל) חד ונקרא כן שאבורקאן (בערבית ברזל עשת — הרכבי) שמניחין אותו על פי מעצדות ומעדרין כדי שיהו חדים והוא סטמא.

באוצר הגאונים, ברכות, סי' רעז, מובא הפירוש הזה בשם רב האי גאון ז"ל.

בפירוש הגאונים לסדר טהרות (עמ' 31) מצאנו הגדרה נוספת — המלה "חסומן" (במשנה בטהרות) מתפרשת כ"אסטמא דפרזלא" בגמרא בברכות:

חסומן — פ' בראש חודו של סכין ושל מקדח ושל אזמיל נותנין ברזל טוב ששמו צר בלשון קודש (שמות ד, כה). ופולד בטיית והוא חוסם פי החרב כחוסום (צ"ל כחיסום) פי החרב (צ"ל הפרה). כדאיתא בברכות (סב ע"ב).

לא כאן המקום לניתוח אטימולוגי של המלה כדי להתחקות על שורשה. עם זאת, מעניין הביטוי "אסטמא" המופיע במסכת שבת נו ע"ב, כמין תכשיט של ראש, כמין כיפה — כובע של נשים לכסות בו השער (רש"י שם).

דיון מטלורגי

א. "אסטמא לפרזלא" כתהליך של שיפור איכות הברזל מופיע פעם אחת בתלמוד (ברכות סב ע"ב), אך ידוע במשמעות דומה בשפות שונות שהיו בשימוש באזורנו בתקופת התלמוד (כגון יוונית). בשבת נו ע"ב מופיע "אסטמה" במשמעות של כיפה המכסה או חוסמת שצורה של אישה, והתהליך המטלורגי — המתאים ביותר לדימוי של יצירת "כיפת" פלדה מסביב לקצה הפעיל של כלי ברזל — הוא תהליך שהיה נפוץ בתקופה הנידונה: פחמן של ברזל חשיל וחיסומו ע"י צינון מהיר במים (ראה לעיל פרק א, דיון מטלורגי).

ב. הפירוש של "אסטמא" ע"י כמה מהמפרשים (אסטמא — אציר"ו — ברזל עשות; סיטמא — סטמא; איסטמא — חוסם — נותנים ברזל טוב, והתיאור המפורט באוצר הגאונים הנ"ל) מראה בכירור, שבתקופתם היה ידוע גם תהליך מטלורגי אחר לחיזוק של כלי ברזל. עיקרו של תהליך זה היה החיבור המיכאני ("ריתוך נפחים" — forge welding) של ברזל בעל אחוז גבוה של פחמן (פלדה) אל כלי מברזל חשיל, במטרה לחזק ולחדד את

הקצה הפעיל של הכלי. גם בתהליך זה התוצאה דומה לאסטמא כ"כיפה", אך מבחינה מטלורגית התהליך המתואר כאן עולה בתוצאותיו במידה רבה על התהליך הנ"ל של פחמן-חיסום.

הממצא הארכיאולוגי הקדום ביותר של גרזן שנוצר בתהליך של ריתוך נפחים הוא מן המאה החמישית לפה"ס (מסוריה), אך התיאור הקדום ביותר בכתובים מובא בתלמוד ומפרשיו.

ד. "עשת" ו"חררה"

1. עשת

המונח "עשת" או "עששיות" מתייחס לחומרים שונים, אך בחלק ניכר של המקורות ההתייחסות היא בבירור לגושי מתכת, ובמיוחד ברזל.

בראשית רבה, פרשת ויגש:

בשעה שהיה יהודה מעלה חמה... והיה נותן עששיות של ברזל לתוך פיו ומוציאן כאבק.

עבודה זרה טז ע"א:

א"ר אדא בר אהבה, אין מוכרין להן עששיות של ברזל. מ"ט, משום דחלשי מינייהו כלי זיין. אי הכי אפילו מרי וחציני נמי, אמר רב זביד בפרזלא הינדואה.

רש"י, שם:

עששיות — חתיכות עבות שקורין מש"ש. (ראה לעיל, פרק ג).

אך מונח זה מתייחס גם לזכוכית:

ברכות נג ע"א:

עששית שהיתה דולקת.

שבת קנד ע"ב:

היתה בהמתו טעונה... ועששיות, מתיר את החבלים והשקין נופלין ואף על פי שמשתברין. התם בכולסא (ככל הנראה, צריך להיות: בכולסא).

רש"י, שם:

עששיות של זכוכית — מש"ש בלע"ז ואע"פ שהעששיות משתברין. בכולסא — חתיכות רחבות של זכוכית שאינם כלים ועושין מהן חלונות.

שיר השירים ה, יד:

מעין עשת שן מעלפת ספירים.

רש"י מתרגם כאן "עשת" — מששיא"ה masiz (גושי, מקשה) — לפי רש"י כאן שם (תואר).

מובן המונח "עשת" במתכת מתבאר מתוך המקורות הבאים:

מנחות כח ע"א:

תנו רבנן מנורה היתה באה מן העשת ומן הזהב. עשאה מן הגרוטאות פסולה. משאר מיני מתכות כשרה. (והגמ' אומרת) מאי שנא מן הגרוטאות...
חצוצרות היו באים מן העשת מן הכסף. עשאה מן הגרוטאות כשרים, משאר מיני מתכות פסולים. (ושם ע"ב גם: עשאה של כסף כשרה, של כעץ ושל אבר ושל גיסטרון — מחלוקת).

תוספתא, חולין פ"א הי"א:

מנורה אין כשרה אלא מן העשת, עשאה מן הגרוטאות פסולה.

משנה, כלים יא, ג:

העושה כלים מן העשת ומן החררה ומן הסובב של גלגל.

פירוש המשנה לרמב"ם (תרגום אלחריזי):

נוסחת התוספתא "גולמי כלי מתכות טהורין ואלו הן גולמי כלי מתכות כל מה שעתידי לשוף לשבץ לגרד לכרכב ולהקיש בקורנס מחוסר אוגן או אוזן טהור". ואני אבאר זאת הברייתא... אמנם אם נשאר בו דבר מועט לשוף, והוא אמרו "כל שעתידי לשוף", או יחסר הסרת הקליפה אשר יתרועע אצל השיפה, והוא אמרו "לשבץ", או יחסר גרידה, כמו שיגרדו כלי מתכות אחר השיפה, והוא אמרו "לגרד", או יחסר הלימא"ר כמו שיעשה בברזל אחר הגרידה, והוא אמרו "לכרכב", או יחסר ההכאה אם היה צריך להכות עוד, והוא אמרו "להקיש בקורנס"... ועשת הוא חתיכת ברזל אצל יציאתו ממקור העפר, וממנה עשיית הברזל קודם התיכותו, שהנה יותן הרבה פעמים ויזוך, עד שיתפרד גשמים רבים יהיו נתלים בו מהמקור, כמו שהוא מפורסם אצל האומנים, וכן שאר המתכות כאשר יצאו ממקור העפר הם עכורין, וכאשר שב עליהן ההיתוך והזוכך תתיפה מראהו... וכן יותן מברזל והנחשת, ויעשו ממנו עגולין גדולים כדמיון הפת, והוא אשר יקרא חררה, בדמיון העוגה אשר יקרא חררה...

המונח "עשת" מתיחס במיוחד לברזל:

שבת קל ע"א (ומקבילות):

במקומו של רבי אליעזר היו כורתין עצים לעשות פחמים לעשות (=לעשות; עשת, שין ימנית) ברזל בשבת.

תוספות ערוך השלם — שרידים מהגניזה:

מהו עששיות של ברזל (סנהדרין קח ע"ב, יומא לד ע"ב) ישמעאל קורין אותן צפאיח, והן הן ריקועי פחים.

פירוש הגאונים לסדר טהרות, כלים יא, ג:

העשת חתיכה גדולה של ברזל דכתיב "ודן ויון מאוזל בעזבוניך נתנו ברזל עשות" (יחזקאל כז, יט) ומתרגם בעדקין (בערקין) דברזלא (די ברזל).

סנהדרין קח ע"ב:

יש לנו עששיות של ברזל שאנו מחפים בהם את הארץ. (הערה: נראה שמכאן בעיקר הסיק תוספות ערוך השלם, וכן הרמב"ם בפירוש המשניות, שמדובר בברזל חשיל).

בפירוש רש"י למקרא אנו מוצאים:

שמות כה, לא:

מקשה תיעשה המנורה.

רש"י, שם:

מקשה תרגומו נגיד לשון המשכה, שממשיך את האיברים מן העשת לכאן ולכאן בהקשת הקורנס, ולשון מקשה — מכת קורנס, בטד"ץ batediz בלע"ז, כמו דא לדא נקשן (דניאל ה, ו).

שמות, שם:

כפתריה ופרכיה ממנה יהיו.

רש"י, שם:

ממנה יהיו — הכל מקשה יוצא מתוך חתיכת העשת, ולא יעשם לברם וידביקם.

ישעיה מא, ז:

מחליק פטיש את הולם פעם.

רש"י, שם:

הוא המתחיל בה כשהיא עשת ומכה בכל כחו.

2. חררה

מוכנה של המלה "חררה" בתנ"ך וכמשה הוא לחם או עוגה שאופים על גבי גחלים, דקה ועגולה. ומכנים לדבר עגול גם כן בכינוי חררה.

משנה פאה ה, ח:

המעמד לכובעות... לחררה.

פירוש המשנה לרמב"ם (תרגום אלהריזי):

מה שיתקבצו ממנה כעגולה... נקראו חררה.

השימוש במלה "חררה" לכלי מתכות מבואר בפירושים למשנה כלים יא, ג:

העושה כלים מן העשת ומן החררה.

פירוש הגאונים שם:

העשת פי' חתיכה גדולה של ברזל... החררה פי' עושין מן הברזל ומן הנחושת כמין

עוגה מפני שמבקשין לעשות ממנה כלי, תחילת הכלי.

בפירוש רב האי גאון: "והיא תחילת הכלי".

פירוש המשנה לרמב"ם (תרגום אלהריזי) שם:

וכן יותך מברזל והנחשת ויעשו ממנו עגולין גדולים כדמיון הפת והוא אשר יקרא

חררה בדמיון העוגה אשר יקרא חררה...

קשר נוסף, בעניין צלמים, מופיע במכילתא דרבי ישמעאל, מסכת דפסחא, פרשה ז:

"ובכל אלוהי מצרים אעשה שפטים אני ה'" — שפטים משונים זה מזה, צלם של אבן היה נימוח ושל עץ היה נרקב ושל מתכת היה נעשה חררה (יש גורסים חלידה).

דיון מטלורגי

להבנת המטלורגיה של ברזל בתלמוד יש חשיבות רבה לזיהוי המטלורגי של המונחים "עשת", "עששיות" ו"חררה", תוך התבססות על הממצא הארכיאולוגי והידע במטלורגיה של אזורנו בתקופות מקבילות. הנה סקירה תמציתית של שלבי הייצור של ברזל: השלב הראשון — התכת עפרות ברזל בעזרת פחמי עץ בכבשן. בגלל הטמפרטורות הגבוהות, אליהן לא יכלו להגיע בתקופות הקדומות (באזורנו ובאירופה רק בימי הביניים), לא נוצר בתהליך ההתכה ברזל במצב נוזלי. התוצר הראשוני היה גוש נקבובי, ללא צורה סדירה כלשהי, של חתיכות ברזל מתכתי מעורב בסיגים; פחמים, חתיכות עפרה ואבן לא מותכות. תוצר זה נקרא בלע"ז "בלום" (bloom). לכאורה היה מקום לזהות את ה"בלום" עם החררה, אך ראה בהמשך.

השלב השני — שהופך את הבלום לברזל חשיל, ז"א לברזל שניתן לעבד לכלי, הוא תהליך חוזר ונשנה של חימום בטמפרטורה גבוהה ומכות בפטיש, עד להפרדה מיכאנית גמורה של הפסולת ואישוש הברזל לגוש מוצק של ברזל חשיל — חומר הגלם הבסיסי של הנפח.

זיהוי של "עשת" בתלמוד ומפרשיו אינו אחיד. "עשת" או "עששיות" הן חומר גלם ראשוני לייצור כלים, גם סחורה למסחר, וגופי חימום (שלא מתקבל על הדעת שהיו מטילים בזמן יציאתם מעפר המחצב). גם "חררה" מופיעה כחומר גלם לכלים ("העושה כלים מן העשת ומן החררה"), אך לפי פירוש הגאונים חררה היא מטיל לאחר "התכה" נוספת של העשת.

כבר רש"י מפרש "עשת" כהתחלה של התהליך, אך רק הרמב"ם (ראה לעיל) נותן תיאור מפורט של נפחות הברזל על שלביו. לפי דבריו, "עשת" הוא ה"בלום", ז"א "מטיל ברזל בזמן יציאתו מעפר המחצב לפני זקוקן" (לברזל חשיל). הרמב"ם נותן תיאור מלא של כל פרטי התהליך — כולל הסוגים השונים של עבודת הנפח עד לגמר המלאכה של ייצור כלים — אך אינו מזכיר שם עצם של סוג הברזל לאחר זיקוקן, דהיינו של הברזל החשיל.

הרמב"ם עובר לשלב עיבוד נוסף: "מתיכים את הברזל והנחושת ועושים מהן ככרות גדולים (עגולים — ראה משנה פאה ה, ח) כעין הלחם, והן הנקראים חררה". הצורה של החררה, כמטיל ברזל חשיל עגול, נדירה ביותר במטלורגיה קדומה של ברזל, ולא מובן מדוע יבחרו דווקא בצורה כה בלתי מתאימה לברזל חשיל (שלא מתאים ליציקה), במקום בצורה של מוט מאורך (iron bar) שהיתה מקובלת בתקופה זו באזורנו.

בתיאור הנ"ל מדובר יחד על התכת ברזל ונחושת כדי לעשות מהם ככרות כ"תחילת כלי". בניגוד לנחושת, שמקובל היה לצקתה למטיל עגול, שהיה נפוץ בכל העולם העתיק, מטילי הברזל היו מוארכים, ושימשו "גלמי כלי ברזל" או תוצר של נפחות מיכאנית של "בלום" לצורכי מסחר — צורה הרבה יותר מתאימה לטכנולוגיה של ברזל חשיל. האם יש כאן עדות לכך שהרמב"ם ידע על קיומו של ברזל-יציקה, כמה דורות לפני הופעת ברזל-יציקה כחומר-גלם חשוב בהיסטוריה של המטלורגיה של אירופה והמזרח התיכון? אולי הגיע ידע זה, שמקורו כנראה בסין (שם היה נפוץ מאות שנים לפה"ס), יחד עם פרזלא הינדואה?

ה. ברזא וזריף (היבט בריאותי של ברזל)

סנהדרין עו ע"ב:

אמר שמואל, מפני מה לא נאמרה יד בברזל? שהברזל ממית בכל שהוא. תניא נמי הכי, רבי אומר גלוי וידוע לפני מי שאמר והיה העולם שהברזל ממית בכל שהוא, לפיכך לא נתנה תורה בו שיעור, והני מילי דברזיה מיברז.

רש"י, שם:

לא נאמר יד בברזל — כמה שנאמר "באבן יד" "בכלי עץ יד" (במדבר לה) ... אבל בברזל כתיב "ואם בכלי ברזל הכהו". שהברזל ממית בכל שהוא — ע"י תחיבה שתוחב לו מחט בושט או בלבו. דברזיה מיברז — פונש"ט בלע"ז, אבל הכהו לארכו דרך הכאה שיעורא בעי.

תוספות, ד"ה שברזל:

שברזל ממית בכל שהוא — פירש בקונטרס שתוחב לו מחט בושט או בלבו. וקשה (התוספות מקשים נגד פירוש רש"י), דאם כן אפילו קוץ נמי. אלא (התוספות מציעים פירוש אחר) נראה משום דאמר (שבת קלד ע"א, חולין עז ע"א, יבמות עז ע"א) דברזלא מיזרף זריף.

(כוונת התוספות שהסיבה שהברזל ממית בכל שהוא — משום שהברזל "מיזרף זריף", והמסקנה: התוספות מחברים את המונח "ברזיה מיברז" עם המונח "מיזרף זריף").

שבת קלד ע"א:

אמר אביי, אמרה לי אם (אמו של אביי מסרה לידו דברי חכמת חיים המוכבים במספר מקומות בתלמוד) האי ינוקא דלא ידיע מפקתיה (רש"י: שאין ניכר בו נקב בית הרעי ששם הוצאת זבלו) לישפיה מישחא (למשוח שמן) ולוקמיה להדי יומא (להעמידו נגד השמש) והיכא דזיג (רש"י: שצלול כזכוכית, בידוע שהחלל כנגוד) ליקרעיה בשערתא שתי וערב (רש"י: בראש השעורה שהוא חדוד) (הכוונה לשרוט כנגד מקום הנקב בצורה של X עד שנקרע העור הסוגר את פי הטבעת) אבל בכלי מתכות לא, משום דזריף (רש"י: מנפחו, אינפליי"ר בלע"ז).

יבמות עז ע"א:

שלח ליה רב אידי בר אבין לאביי היכי עבדינן (רש"י: רפואה לסתום גיד שניקב), מיייתנן שערתא (שעורה) ומסרטינן ליה (רש"י: כל סביבות הנקב כדי שיגליע ויוציא דם ומתוך כך הוא מעלה ארוכה, ובשר עולה) ומיייתנן תרבא ושייפינן, ומיייתנן שומשנא גמלא (רש"י: נמלה גדולה) ומנכתינן ליה (רש"י: מניחין ראשה שם ונושך ונדבק ראשו בנקב) ופסקינן ליה לרישיה (חותכים את ראש הנמלה כדי שהנקב ישאר סתום עד שיגליד). ודוקא שערתא, אבל פרזלא מזרף זריף (רש"י: עושה חבורה, אשגרטינ"א בלע"ז. לישנא אחרינא, מזרף זריף — מעלה נפח, אופל"א בלע"ז).

חולין עו ע"א :

דאמר רב יהודה אמר רב, דבר זה שאלתי לחכמים ולרופאים (אם נקרע בשר בסכין מעל שבר כמין טבעת ורוב היקפו מכוסה) ואמרו מסרטו בעצם ומעלה ארוכה, אבל פרזלא מזרף זריף.

(רש"י: מסרטו בעצם — דעלמא, ומתוך שהוא מוציא דם מתחבר הבשר ונמשך זה אצל זה ומעלה ארוכה, וכן דרך הרופאים. מזרף זריף — עושה חריצים בבשר ומכאיב המכה.)

המונח "מזרף זריף" מופיע גם בבבלי עבודה זרה כח ע"ב ביחס לטיפול רפואי באוזניים, ורש"י מפרש: עושה חבורה.

סיכום

העיון במקורות התלמודיים מבחינה מטלורגית מראה, כי אפשר לזהות בהם ידע מגוון מאוד בנפחות הברזל — מההפקה של ברזל גולמי מעפרות, הפיכתו מחומר-גלם בסיסי למתכת יעילה מאוד, כולל ברזל מקשה כפלדה ועד לפלדה המשובחת ביותר בימי קדם עד לימי הביניים המאוחרים. כמו כן כולל ידע זה נפחות מתוחכמת של כלי עבודה וכלי נשק, ומתקנים טכנולוגיים לשימוש בקהילה ובבית — כשלכל אחד מסוגי התוצר מותאם סוג הברזל "הנכון". הטכנולוגיה המטלורגית שמשתקפת במקורות התלמודיים היתה בדרגה גבוהה, שלא נפלה מאיכות המטלורגיה הנכרית בתרבויות שכנות. אנו מזהים בתלמוד ובמפרשיו את סוגי הברזל והפלדה ואת שיטות הנפחות, הידועים מממצאים ארכיאולוגיים של תקופה זו באזורנו ובאירופה, וממקורות ספרותיים מהתקופה הקלאסית ועד לימי הביניים.

לפי התיאורים במקורות התלמודיים עסקו היהודים, ולפי הנראה גם חכמי התלמוד עצמם, הן במלאכת הנפחות והן בסחר נרחב במתכות. התיאורים בתלמוד לא רק משלימים את הידוע ממקורות זרים, אלא גם מקדימים מקורות אלו, לפעמים במאות שנים (כגון פרזלא הינדואה).

העיון הנקודתי, ויחד עם זה הכולל, במקורות התלמודיים, בשילוב עם ידע במטלורגיה עתיקה ומודרנית ובמצא הארכיאולוגי, מוסיף ידע משמעותי במטלורגיה של תקופת התלמוד והגאונים, ואף תורם להבנה מעמיקה יותר של המקורות התלמודיים עצמם.

הערה

* מאמר זה הוא תוכן של הרצאה בכנס השלישי לתורה ומדע בשנת תשנ"ו, שנועדה להציג לראשונה לקהל הרחב כמה מן הממצאים של המחקר. סיכום מדעי של המחקר נמצא בהכנה, ויפורסם במועד מאוחר יותר.

מחקר זה נערך בסיוע מענק מחקר ממשרד המדע והטכנולוגיה ובסיועו של ד"ר פליקס פוזן, לונדון.

- al-Hassan, A.I. & Hill, D.R. (1986), *Islamic Technology*, CUP
- Agricola, Georgius (ed. 1950; trns. H.C. Hoover). *Dr Re Metallica (1556)*, Dover NY
- Allan, J.W. (1979), *Persian Metal Technology 700-1300 AD*, Ithaca Press London
- Forbes, R.J. (1950), *Metallurgy in Antiquity* Leiden
- Healy, J.F. (1978), *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World*, London
- Maddin, R. (ed.), (1988), *The Beginning of the Use of Metals and Alloys*, MIT Cambridge MA.
- Rostocker, W. & Bronson, W.B. (1990), *Pre-Industrial Iron*, Philadelphia
- Rothenberg, B. (1990), *The Ancient Metallurgy of Copper — Researches in the Arabah II*, London
- (1972), *Timna*, London
- & Tylecote, R.F. (1991), A Unique Assyrian Iron Smithy in the Northern Negev (Israel), in *IAMS* 17:11-14
- Tylecote, R.F. (1962), *Metallurgy in Archaeology*, London
- (1976), *A History of Metallurgy*, London
- Wulff, H.E. (1966), *The Traditional Crafts of Persia*, Cambridge MA