

הפקת תכלת וארגמן מחלזונות ימיים בימי קדם

צבי קורן

הפקת צבעי התכלת והארגמן ממינים שונים של חלזונות ימיים – מהמיצוי הראשוני של נוזל חסר צבע מהחלזון החי ועד לתוצר הסופי – היא תהליך מורכב הכולל סדרת שלבים ביולוגיים וכימיים. למרות שתהליך הפקת הארגמן היה ידוע כבר לפני כארבעת אלפים שנה, עד לאחרונה נתעו החוקרים המודרניים מלבצע מחקר מדעי שינסה להתחקות אחר שלבי השונים ולשחזר אותם. כיום אנו יכולים להסביר במונחים מדעיים את השלבים השונים שנקטו על ידי הצִבָּעִים – ה"כימאים" הקדמונים – בייצור הצבעים היוקרתיים ביותר שנקשרו עם מלוכה וקדושה. הצבעים הללו, שהופקו מחלזונות, היו נחלתם של מלכים, והם מוכרים גם מהמקרא כצבעים ששימשו במשכן ובבגדי הכהן הגדול. על מנת להבין כיצד הופקו צבעים מקודשים אלה, עלינו לבחון לא רק את הספרות התלמודית ומקורות דומים, אלא גם את העדויות הארכיאולוגיות, ולהביא בחשבון אלו חומרי גלם, שיטות וכלים היו זמינים לצִבָּעִים הקדמונים.

החלזונות ששימשו להפקת הצבעים

המקורות ההיסטוריים, ובמיוחד תיאוריו של פליניוס הזקן, מחבר רומי בן המאה הראשונה לספירה, יחד עם ממצאים ארכיאולוגיים, מלמדים כי באזור הים התיכון השתמשו בשלושה מינים של חלזונות ימיים ממשפחת הארגמוניים (*Muricidae*) כדי להפיק גוונים שונים של סגול לצביעת אריגים וחפצים נוספים. עד כה, בכל הממצאים הארכיאולוגיים – אריגים או חפצים אחרים – שנצבעו ארגמן, זוהו שימוש בצִבָּעֵן (חומר הצביעה) שהופק מהמין ארגמן קהה קוצים (*Murex trunculus*). מין זה שימש לבדו, או בשילוב עם תוספות קטנות של צִבָּעֵנִים מהמינים האחרים – ארגמן חד קוצים (*Murex brandaris*) וארגמנית אדומת פה (*Thais haemastoma*) – להשגת גוון אדום יותר.

הרכבו הכימי של הצִבָּעֵן

הצִבָּעֵן המופק מהארגמן קהה הקוצים שונה מבחינה כימית מזה המופק ממיני החלזונות האחרים. הבחנה חשובה זו התאפשרה הודות לשיטת המחקר המכונה כרומטוגרפיה נוזלית בעלת ביצועים גבוהים (HPLC), ששימשה לבדיקת צבענים שמקורם בחלזונות ממינים שונים. שיטה זו מאפשרת להפריד ולזהות את החומרים בתערובת, כדוגמת צִבָּעֵן הארגמן שיכול להכיל כעשרה מרכיבים שונים. התרשים באיור 1 מציג את הנתונים המתקבלים באמצעות שיטת מחקר זו. תרשים זה מכונה כרומטוגרמה, ובו מוצגים המרכיבים השונים כאותות חשמליים (peaks), בזמנים השונים בהם הם מובחנים באופן

Dyeing with Sea Snails for the Production of Tekhelet and Argaman in Antiquity

Zvi C. Koren

The processing of the blue and purple pigments produced from murex sea snails, from the initial extraction of the colorless mucous material from the live mollusk to the final dyeing process, involves a series of complex biological and chemical stages. The ancients knew how to produce the purple pigment as early as about four millennia ago, but understanding the science behind these processes and reconstructing them was daunting to modern scholars until relatively recently. We can now explain in modern scientific terms the various steps undertaken by ancient dye "chemists" in the production of luxurious dyes for royal and sacral uses. These molluskan dyes were not only the privilege of secular sovereigns, but were also consecrated for the famous biblical red-purple *argaman* and blue-purple *tekhelet* textiles used in, for example, the Tabernacle and vestments of the High Priest. To understand how these sacral dyeings were produced we must examine not only the Talmud and related literature, but also the archaeological record and the "science-of-the-possible" associated with the natural materials, methods and tools available to the ancient dyer.

The molluskan sources of the dyes

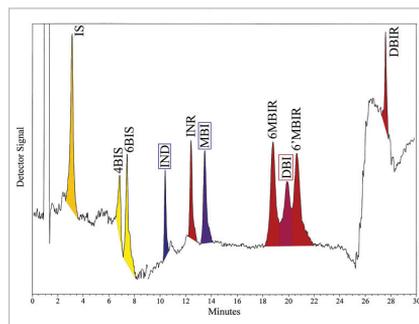
It is widely known from historical accounts, especially from the 1st century CE Roman author Pliny the Elder, and from archaeological discoveries, that three species of the *Muricidae* family of sea snails were used in the Mediterranean to extract purplish-colored pigments. These pigments were used for painting objects and dyeing textiles. However, so far, in all the archaeological finds where the purple colorant has been unambiguously identified as a textile dye or as a paint pigment, the murex species utilized was always *Murex trunculus*. The *M. trunculus* species may have been used alone or in combination with minor additions from the other two species - *Murex brandaris* and/or *Thais haemastoma* - for the production of redder dyeings.

ספקטרומטרי כאשר ממיסים זורמים שוטפים אותם מהמצע הנייח. גוני המרכיבים הללו נעים מצהוב לכתום צהבהב, כחול, סגול, אדום-סגול עד אדום עז. המבנים המולקולריים של הצבענים בעלי הגוונים העזים מבוססים על ה"שלד" המולקולרי של האינדיגו, לכן הם מכונים אינדיגואידיים. שלושה מהם, אינדיגו או אינדיגוטין (IND) בעל גוון כחול, מונוברומו-אינדיגו (MBI) בעל גוון סגול (violet) ודיברומו-אינדיגו (DBI) בעל גוון ארגמני-אדום, מהווים את המרכיבים העיקריים היוצרים את הצבע הסופי הנראה לעין (איור 2).

לא כל החלזונות נבראו שווים. הארגמון קהה הקוצים נבדל מיתר מיני החלזונות במרכיבי הצבע העיקריים שלו; בעוד שהמרכיב הדומיננטי בצבע המופק מחלזונות אחרים הוא דיברומו-אינדיגו שגוונו ארגמני-אדום, הצבע המופק מהארגמון קהה הקוצים מכיל בדרך כלל כמות משמעותית של שלושת האינדיגואידיים – אינדיגו, מונוברומו-אינדיגו ודיברומו-אינדיגו בהרכבים משתנים.

הייחודיות של הארגמון קהה הקוצים מאפשרת לזהותו כמקור הצבען בו נצבע אריג או חפץ אחר. גילוי דיברומו-אינדיגו בצבען סגול יעיד על כך שמקור הצבען בחילזון, אך לא יאפשר לקבוע את מינו. כמות משמעותית של אינדיגו בצבען חלזוני עשויה להצביע על כך שהוא הופק מארגמון קהה קוצים. עם זאת, מאחר שאפשר להפיק אינדיגו גם ממקורות צמחיים, כמו ניל הצֶּבֶּעִים או איסטיס הצֶּבֶּעִים, המצאותו של מרכיב זה אינה מעידה בהכרח שמקור הצבען בארגמון קהה קוצים.

כפי שגילה מחבר דברים אלה, הסימן הכרומטי המובהק שמבדיל בין ארגמון קהה קוצים למיני החלזונות האחרים הוא הימצאותו של מונוברומו-אינדיגו – רכיב המצוי בכמות משמעותית בצבען המופק מארגמון קהה קוצים, אך נעדר ממקורות צמחיים ומצוי בכמות זניחה, אם בכלל, בחלזונות ממינים אחרים. מונוברומו-אינדיגו הוא חומר הנוצר באופן טבעי וספונטני במהלך היווצרות הצבען, ולא הייתה אפשרות ליצור אותו בתהליך דברומינציה מלאכותית של דיברומו-אינדיגו, כמבואר להלן. עד היום, בכל ממצאי הארגמן מחפירות ארכיאולוגיות שנבדקו באופן מהימן בשיטת הכרומטוגרפיה הנזלת נמצאו כמויות משמעותיות של מונוברומו-אינדיגו, ומכך יש להסיק שחומר



איור 1

כרומטוגרמה המראה הפרדה בין מרכיבי השונים של הצבען הארגמני המופק מחלזונות.

Figure 1

HPLC-produced standardized chromatogram showing the separation of the various components in a purple molluscan pigment.

Chemical composition of the pigment

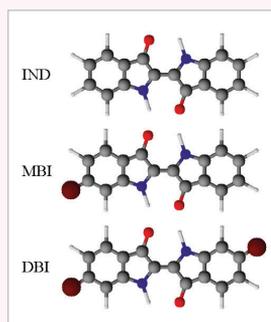
The purple pigment produced from the *M. trunculus* mollusk is chemically different from that of all other snails. This very important differentiation was made possible thanks to the instrumental method known as HPLC (High Performance Liquid Chromatography), which was used for the analysis of various molluskan pigments from different species. This chromatographic technique can separate and identify all the detectable components in a mixture, such as the purple pigment, which can contain as many as about 10 different components. Figure 1 depicts the diagram that the chromatograph produces, which is known as a chromatogram, and it shows the various components as electrical signals - "peaks" - at the different times that they are spectrometrically detected as they are swept out of a stationary medium by various flowing solvents. These components range in hue from yellow to yellowish-orange, blue, violet, reddish-purple and crimson.

The molecular structures of the intense colorants are generally based on the same molecular "skeleton" belonging to that of indigo. Hence, these indigo-like colorants are known as indigoids, and three of them, indigo or indigotin (IND) - blue, monobromoindigo (MBI) - violet, and dibromoindigo (DBI) - red-purple, are the main components responsible for the overall composite color visible to the naked eye (Fig. 2).

Not all snails were created equal. The *M. trunculus* mollusk differs from all other snails in its main dye components. While the most dominant colorant in the purple pigment produced from all other snails is the reddish-purple DBI, the pigment produced from the *M. trunculus* snails contains, in general, appreciable quantities of all three indigoids - IND,

איור 2
הדגמת המבנה המולקולרי של שלושת
האינדיגואידיים העיקריים באמצעות
מודל "כדור ומקל".

Figure 2
"Ball-and-stick" models of the molecular
structures of the three main indigoids.



הצביעה העיקרי הופק מארגמון קהה קוצים, אולי בתוספת צבענים ממקורות אחרים. נוסף על כך, ישנם הבדלים בין סוגים שונים של ארגמון קהה קוצים. בסוג אחד של חלזונות ממין זה שולט הצבען הנוטה לאדום ובסוג השני – זה הנוטה לכחול. הצבען הנוטה לאדום מכיל יותר דיברומו-אינדיגו מאינדיגו והצבען הנוטה לכחול מכיל יותר אינדיגו מדיברומו-אינדיגו. מן הסוגים השונים של הארגמון קהה הקוצים יתקבל צבע הנוטה לאדום או לכחול, בהתאם.

הפקת צבע מחלזונות בימי קדם

הצעד הראשון בתהליך ההפקה הוא שבירת קונכיית החלזון בכדי לחשוף את הבלוטה התת-זימית, המכילה חומרים חסרי צבע (המכונים כרומוגנים), שמהם יוצר הצבען הסופי באמצעות תהליך כימי (איור 3). דיקור הבלוטה גורם לאנזים שבה לפעול על הכרומוגנים והתגובה הכימית ממשיכה בחשיפה לאוויר, ובמקרים מסוימים גם לאור, עד שמתקבל הצבע הארגמני (איור 4). הצבען המתקבל בדרך זו יכול לשמש לצביעת חפצים, כמו הקנקן המיוחד במינו הנושא כתובות של דריוש הראשון (ראו עמ' 138-139), או לצביעת צמר שישמש לאריגה. כדי לצבוע צמר יש להמיס את הצבען באמצעות תהליך המוכר בשם חיזור. בתהליך זה מקבלות מולקולות הצבען אטומים של מימן והופכות למסיסות (זאת בניגוד לתהליך החימצון, בו המולקולות מקבלות אטומים נוספים של חמצן). תהליך החיזור יוצר תמיסה בעלת גוון ירקרק, שנראה חסר צבע ביחס לגונו המקורי של הצבען. בימי קדם, תהליך החיזור האיטי התרחש כתסיסה הנגרמת על ידי הבקטריות האנארוביות (המתקיימות ללא אוויר) שבבשר הבלוטות. כיום אפשר להשתמש בחומרים מלאכותיים, כגון סודיום הידרו-סולפיט, שכמובן לא היו קיימים בימי קדם, היוצרים תגובת חיזור בעלת עוצמה רבה יותר. חשוב להדגיש שבמהלך החיזור, אור השמש לא חדר אל המיכל אשר בו הומס הצבען, ומכאן שלא התבצע תהליך מכוון של פוטו-דפרומינציה (תהליך בו מופרדים אטומי הברום באמצעות אור השמש במולקולות המונוברומו-אינדיגו והדיברומו-אינדיגו ומתקבל צבע האינדיגו הכחול). הסיבה לכך היא שהכלים ששימשו לצביעה בימי קדם

איור 3

ארגמון קהה קוצים שקונכייתו פוצחה כדי לחשוף את הבלוטה התת-זימית, המכילה את הכרומוגנים חסרי הצבע. הבלוטה נראית כאן כעורק אפור.

Figure 3

M. trunculus mollusk with its shell cracked open to expose the hypobranchial gland (seen in this snail as a grayish vein), which contains the colorless chromogens.



MBI, and DBI – with varying compositions.

The uniqueness of the *M. trunculus* mollusks makes it possible to identify them as the source of a molluskan pigment used to dye a textile or to paint an object. Finding the presence of DBI in a purple pigment will only tell us that the pigment is from a molluskan source, but will not suffice to establish the precise mollusk species. If there is an appreciable presence of IND in the molluskan pigment then it may indicate that the pigment was produced from *M. trunculus*. However, this component can also be produced from a plant source, such as the indigo plant itself (*Indigofera tinctoria*) or woad (*Isatis tinctoria*); therefore, its presence does not necessarily indicate that a *M. trunculus* pigment was used.

The distinctive bona fide chromatic marker discovered by the present author that will distinguish the *M. trunculus* from all the other dye sources is the presence of an appreciable quantity of MBI in the pigment, which is absent in plant sources and is at most negligible in all other snails. The MBI colorant is naturally – spontaneously – produced during the initial pigment formation, and could not have been artificially produced in antiquity by the deliberate debromination of DBI, as explained below. To date, all molluskan-based archaeological purple pigments and dyes that have been correctly analyzed via HPLC have been demonstrated to contain appreciable quantities of MBI, and thus the *M. trunculus* sea snails were used in all. Of course, dyes from other sources may have been added to that pigment, but *M. trunculus* was the primary source for the molluskan colorant.

There are also differences within the *M. trunculus* species itself. One variety of these snails produces redder purple pigments whereas another

איור 4

ארגמון קהה קוצים שהנזל חסר הצבע הוצא מהבלוטה התת-זימית שלו, והפך, במקרה זה, לארגמני-אדום.

Figure 4

An expiring *M. trunculus* sea snail after it expelled the colorless precursors from its hypobranchial gland to form, in this case, the reddish-purple pigment.



היו מיכלי חרס בלתי חדירים לאור, שהיו בהכרח מכוסים כדי ליצור סביבה נטולת אוויר עבור תהליך החיזור. סביבה זו נוצרה על ידי מילוי המיכל בנוזל הצביעה כמעט עד לשפתו (כדי לצמצם ככל האפשר את מרווח האוויר מעל התמיסה) וכיסויו במכסה עשוי עץ או אבן. הכמות המעטה של אוויר שנותרה בחלקו העליון של המיכל נפלטת החוצה על ידי הגזים ששחררו הבקטריות במהלך התסיסה – תהליך כימי המלווה בריח רע. לאחר המסת הצבע אפשר היה לצבוע גיזות צמר נקיות על ידי טבילתן במיכל הצביעה לפרק זמן שנע בין כחצי שעה למספר שעות, כדי להשיג צבע עז במידה הרצויה. כאשר הוצאו הגיזות מן המיכל, הצבענים המחוזרים בעלי הגוון הירקרק, שנספגו בסיבי הצמר הלחים, עברו תהליך חימצון באוויר הפתוח, וחזרו לצבעם הארגמני המקורי שכתה "נכלא" בתוך הסיבים. כדי להשיג גוון כהה יותר אפשר היה לטבול את גיזות הצמר פעם נוספת.

מספר החלזונות שנדרשו לצביעה היה תלוי בכמות הצמר אותו התכוונו לצבוע. כדי להגיע לגוונים כהים, בעלי חזות מלכותית מרשימה, נדרש יחס של "1:10:100", המבטא את הכמויות הבאות:

1 גרם של צמר: 10 חלזונות: 100 מ"ל תמיסת צבע

אפשר היה להגיע לצבע בעל איכות טובה גם אם מספר החלזונות צומצם במידה מסוימת, אבל אז התקבלו גוונים בהירים יותר. כך, כדי לצבוע גלימה מלכותית אחת (שמשקלה 1 ק"ג בערך) נדרשו כ-10,000 חלזונות!

ארגמן ותכלת

ההצעה שהובאה כאן, לגבי האופן בו הצליחו הקדמונים ליצור שני גוונים שונים של צבע מהחלזונות, הן לשימושם של מלכים והן לשימוש פולחני – ארגמן (אדום-סגול) ותכלת (כחול-סגול) – נתמכת על ידי תוצאות בדיקות שנערכו על ידי המחבר בשני אריגים שהתגלו בחפירות מצדה (ראו עמ' 94, 96).

אריג אחד בגוון אדום-סגול מתוארך לימי שלטון הורדוס ביהודה (37-4 לפנה"ס), והוא האריג הראשון הצבוע ארגמן שהתגלה בארץ-ישראל. בדיקות כרומטוגרפיות של הצבען באריג הראו כי יש בו כמות משמעותית של מונוברומו-אינדיגו, מה שמצביע על שימוש בחלזונות מהמין ארגמון קהה קוצים. כמות המרכיב הארגמני-אדום (דיברומו-אינדיגו) הייתה גדולה מזו של המרכיב הכחול (אינדיגו), ומכאן עולה שחלזונות הארגמון קהה הקוצים בהם נעשה שימוש לצביעת אריג זה היו מהסוג העשיר בדיברומו-אינדיגו. הצבע שהתקבל הוא הארגמן המלכותי, הנזכר בהקשרים שונים במקרא. על פי אופן אריגת החוטים אפשר להניח שמדובר בפיסות מבגד שהיה צבוע כולו בארגמן ולא בעיטור צבוע. מאפיינים אלה, יחד עם ההקשר הארכיאולוגי שבו נמצא האריג קרוב לארמון המערבי במצדה, מעוררים את התהייה שמא הייתה פיסה זו חלק מבגדו של

produces bluer (more violet) purples. The redder purple pigments are DBI-rich, while the bluer purple pigments are IND-rich. Therefore, dyeing with these two kinds of *M. trunculus* snails will produce, respectively, redder or bluer purple dyes.

Processing the pigment in antiquity

The first stage in extracting the pigment is to break the snail's shell in order to expose the hypobranchial gland, containing colorless substances (chromogens) from which the final pigment is formed through a chemical process (Fig. 3). Puncturing the gland causes an enzyme within to act on these chromogens, and they continue to react with exposure to air and, in some cases, light to produce the purple pigment (Fig. 4). This pigment could be used as a paint to decorate an object such as the unique Darius jar (see pp. 138-139), or converted into a textile dye. However, to perform a dyeing with this pigment, it must first be dissolved. The dissolution process requires transforming the pigment's molecules into soluble forms by a process known as reduction, whereby the colorants gain hydrogen atoms (the opposite of oxidation – gaining oxygen atoms). In ancient times, the slow reduction, forming a less-colored greenish solution, was brought about by the anaerobic bacteria present in the fleshy glands. Today, strong synthetic reducing agents are available, such as sodium hydrosulfite, which of course did not exist in antiquity.

It is important to emphasize that while the pigment is being reduced and solubilized in the dye bath, effectively no sunlight penetrates this liquid, and thus no deliberate artificial photodebromination of the brominated indigoids would have occurred to produce more blue indigo. This is due to the fact that the vessels used for dyeing in antiquity were non-transparent clay vats. Further, the vat would not be left uncovered since the reduction process can only be effective if it is performed by the anaerobic bacteria in the most air-free environment possible. Such an oxygen-free atmosphere would have been achieved via the following: (i) the vat would be covered with a wooden or stone lid; (ii) the liquid of the dye solution would be filled nearly to the brim of the vessel in order to minimize the space above the liquid; and (iii), in any case, any quantity of air that would initially be

המלך הורדוס בכבודו ובעצמו.

הממצא השני ממצדה הנו אריג המתוארך לתקופה שמימי הורדוס ועד סוף המרד הגדול (37 לפנה"ס–74 לספירה). זוהי הדוגמה היחידה של אריג בצבע כחול-סגול כהה שהופק מחלזונות. זהו לדעתי גונה של התכלת המקראית. החוטים הצבועים רקומים על פיסת האריג הקטנה. בדיקתם הראתה שגם במקרה הזה הצבען מכיל כמות משמעותית של מונוברומו-אינדיגו, ומכאן שמקורו בארגמון קהה קוצים. אולם, בניגוד לאריג הצבוע ארגמן, במקרה הזה נעשה שימוש בחלזונות העשירים באינדיגו כדי להגיע לצבע הכחול הכהה הנוטה לסגול – צבעה של האבן לפיס לזולי, המכונה במקרא "אבן ספיר" והמשקפת את צבע התכלת המושלם לדברי רבי מאיר, התנא בן המאה השנייה לספירה.



פיסת אריג בגוון אדום-סגול שנצבעה בצבע שהופק מחלזונות ארגמון
צמר | מצדה, ישראל | המאה הראשונה לפנה"ס–המאה הראשונה לספירה

Fragment of a reddish-purple textile dyed with pigment produced from murex snails
Wool | Masada, Israel | 1st century BCE–1st century CE | IAA 95-9056

present in that small space above the liquid would be naturally driven out by the gases emitted during the malodorous bacterial fermentation. Subsequent to the dissolution of the dye, the actual dyeing is performed by immersion of a cleaned woolen fleece in the reduced dye bath for as little as half an hour to a few hours, depending on the depth of color desired. When the textile is lifted out of the solution, the dissolved and reduced greenish indigoids in the wet woolen fibers undergo air-oxidation and revert back to the original insoluble purplish pigment, now "imprisoned" inside the fibers. This textile could then be re-inserted back into the dye bath to produce darker colors.

The number of snails used for each dyeing depended on the quantity of wool that was to be dyed. In order to produce very dark and impressive colors, the "1:10:100" ratio would have been used, which represents the following quantities:

1 g of wool : 10 snails : 100 mL of dye bath

A good dyeing would have also been accomplished if the relative number of snails was reduced somewhat, but of course the resultant shades would be lighter. Thus, dyeing enough wool for only one royal toga or cloak (about 1 kg) would have required about 10,000 snails!

Argaman and tekhelet

Based on the preceding discussions, we can now understand how the ancients were able to produce two different colored molluskan dyes – for religious or royal purposes – a red-purple (*argaman*) and a blue-purple (*tekhelet*). This thesis is proven by two prominent examples of *argaman* and *tekhelet* dyed textiles excavated at Masada, and analyzed by the present author (see pp. 94, 96).

One is a red-purple weave dated to King Herod's rule in Judea (37–4 BCE), and is the first textile dyed with molluskan purple that was unearthed in Israel. Chromatographic analyses of this purple dyeing showed that there is an appreciable quantity of MBI in the pigment, and hence *M. trunculus* snails were used for this dyeing. Further, as expected, the red-purple DBI content was greater than the blue IND colorant, and thus, the DBI-rich variety of *M. trunculus* snails was used for this dyeing. This

לסיכום, מעדויות ביולוגיות, כימיות, ארכיאולוגיות, היסטוריות ותלמודיות אפשר להסיק, כי הן צבע הארגמן והן צבע התכלת הופקו מחלזונות ממין ארגמון קהה קוצים, אך משני סוגים שונים של מין זה. הקדמונים ידעו אלו חלזונות לדוג, היכן ומתי, כדי להגיע אל הסוג הנדרש להפקת צבענים סגולים הנוטים לאדום או לכחול, לפי הנדרש. התעלומה בת 3,000 שנה סביב מקורם המדויק של הצבעים המקראיים שהופקו מחלזונות באה סוף סוף על פתרונה.

לקריאה נוספת, ראו עמ' 190-191



Royal Purple (sometimes referred to as Tyrian Purple) would have been the color of biblical *argaman*. From the physical weaving structure it may be assumed that this piece belonged to a completely purple garment and is not merely part of a decorative element. These characteristics, together with the archaeological context in which this textile was found near the Western Palace at Masada, present us with the tantalizing possibility that these textile fragments were part of a royal garment of King Herod.

The second dyed textile from Masada carries the only ancient example of a deep blue-purple hue from a molluskan source yet found, which the present author believes is the biblical *tekhelet*. It originates either from the same Herodian period or from somewhat later, up to the end of the Great Revolt of the Jews against Rome (37 BCE–74 CE). Dark blue-purple (or violet-blue) dyed yarns are embroidered onto the small weave fragment. Analyses of the dye used here have shown that it too, with its appreciable MBI composition, was produced from *M. trunculus* snails. However, contrary to the *argaman* dyeing, IND-rich snails were used for this beautiful blue-purple dyeing, which is the color of lapis lazuli, the biblical stone *sappir*, and the ultimate color of *tekhelet* according to the 2nd century CE sage Rabbi Meir.

In summary, based on the biological, chemical, archaeological, historical and talmudic evidence, it can be concluded that both the red-purple *argaman* and the blue-purple *tekhelet* woolen dyeings were produced from the same *Murex trunculus* sea snail species, albeit from two different varieties of this species. The ancients knew where, when, and which types to collect in order to use the appropriate "subspecies" that would produce redder-purple pigments and similarly colored dyeings, as well as bluer-purple ones. The 3,000-year old enigma concerning the sources for the two molluskan-based biblical colors has now finally been deciphered.

For suggested further reading, see pp. 190-191



פיסת אריג עם פס בגוון כחול-סגול הצבוע בצבע שהופק מחלזונות ארגמון

צמר | מצדה, ישראל | המאה הראשונה לפנה"ס – המאה הראשונה לספירה

Textile fragment with a purplish-blue band dyed with pigment produced from murex snails

Wool | Masada, Israel | 1st century BCE–1st century CE | IAA 2014-9211

קנקן צבוע ארגמן של המלך דריווש הראשון צבי קורן

קנקן האבן המזכיר בצורתו אגס מאוסף מוזאון ארצות המקרא ירושלים (ראו עמ' 138-139) הוא חפץ מיוחד במינו. לא זו בלבד שהקנקן נושא כתובות של המלך הפרסי דריווש הראשון בארבע שפות, פני הכלי אף נצבעו בצבע ארגמן שהופק מחלזונות ימיים. לקנקן בסיס מעוגל שטוח, שפה עבה משתפלת כלפי חוץ וכמה רצועות אופקיות טבעיות המקיפות אותו. הקנקן לא השתמר בשלמותו והוא מורכב כיום ממספר חלקים שרופאו וחברו מחדש.

על הקנקן חרוטות כתובות המהללות את המלך דריווש. על צדו האחד מופיעה כתובת מצרית בכתב ההירוגליפים: "מלך מצרים העליונה והתחתונה, אדון שתי הארצות, דריווש, החי לנצח. שנת 36". על צדו השני מופיעה הכתובת "דריווש, המלך [הגדול]" בכתב היתדות בפרסית עתיקה, בעילמית ובאכדית. בעוד שכלים ימיים כסרכסס הראשון (Xerxes I) וארתחשסתא הראשון נושאים אף הם כתובות בארבע שפות אלה, כלים דומים ימיים דריווש הראשון נושאים רק כתובות במצרית.

מבט מקרוב על שאריות החומר המכסה את הקנקן מגלה כי כל שטח הפנים שלו ואף בסיסו טווחו בחומר גירי לבן, ולאחר מכן נצבעו בגוון סגול-אדום. בדיקת חומר הצביעה והציפוי הגירי, הקאוליניט, שעל פני קנקן האבן באמצעות מיקרוסקופ מעלה את האפשרות שהחומרים הללו עורבבו לפני צביעת הקנקן. אפשר שתערובת מסוג זה היא חומר הצביעה אותו הזכיר ההיסטוריון הרומי פליניוס בשם *purpurissum*, כחמש מאות שנים מאוחר יותר.

בחינת שרידי הצבע בעין אנושית אינה יכולה לקבוע את מקורו ואפשר לזהותו באופן ודאי רק בבדיקה כימית, מאחר שהקדמונים ידעו להשיג את הגוון הארגמני גם ממקורות אחרים. כך לדוגמה, זוהו חומרי צבע ורוד וסגול ממקורות מינרליים בלוח צבעים של אומן ובציורי קיר בארמון המלך הורדוס ביריחו, מהמאה הראשונה לפנה"ס.

על צדו החיצוני של הקנקן מצויים במקומות רבים שרידי חומר גוני ארגמן שונים. דגימות חומר קטנות נלקחו בזהירות מפני הכד בשני מקומות ונבדקו בשיטת כרומטוגרפיה נוזלית בעלת ביצועים גבוהים (HPLC). הרכיבים העיקריים שהתגלו בבדיקה היו דיברומו-אינדיגו, מונוברומו-אינדיגו ודיברומו-אינדירובין, עם נוכחות קטנה של אינדיגו ו-6-ברומו-איסטיין. הימצאות הדיברומו-אינדיגו לכשעצמו בדגימה מעידה בוודאות שהצבע אשר שימש לצביעת הקנקן הופק מחלזונות ימיים, ולפיכך מדובר בצבע הארגמן האמיתי. יתר על כן, אפשר לעמוד על מקורו המדויק של צבע זה הודות לעובדה שגם מונוברומו-אינדיגו מצוי בו בכמות ניכרת. חומר זה מופיע בכמות

Royal Purple Painted Jar of King Darius the Great

Zvi C. Koren

The pear-shaped stone jar from the collection of the Bible Lands Museum Jerusalem (see pp. 138-139) is a unique object. Not only does it feature a quadrilingual inscription of the Achaemenid king Darius I, but also its entire surface was originally painted with molluscan purple pigment. The jar has a flat rounded bottom, a thick everted rim, and several horizontal natural bands encircling it. In its present state, this incomplete jar is composed of several fragments that were reassembled during the restoration process.

The jar contains incised inscriptions extolling King Darius I in four languages: Egyptian hieroglyphs and, on the opposite shoulder, cuneiform texts in Old Persian, Elamite, and Akkadian. Though similar vessels of Xerxes I and Artaxerxes I also have quadrilingual inscriptions, other comparable vessels of Darius I only have inscriptions in Egyptian hieroglyphics. In the three cuneiform inscriptions on the present jar, the texts read "Darius, [Great] King." The Egyptian text is longer and states: "King of Upper and Lower Egypt, Lord of the Two Lands, Darius, living forever, year 36."

A close inspection of the residual material encompassing the Darius jar revealed that the entire exterior wall of the stone vessel was first plastered with a white chalky material (kaolinite) and then painted with the red-purple pigment. Indeed, even the base of the vessel was painted purple, as residual plaster and adherent purple pigment are still visible. Upon observation of microscopic images of the pigment and white powder, it is possible to suggest that the purple pigment was mixed with the white plaster material before applying it to the jar. This mixture may be the "*purpurissum*" which the Roman historian Pliny described five centuries later.

Visual inspection of the purple residue cannot determine its composition and only a chemical analysis can provide a clear identification, since purple hues could be obtained not only from murex snails. For example,

משמעותית רק בצבענים שמקורם בחלזונות ממין ארגמון קהה קוצים. צביעת חפץ בארגמן המופק מחלזונות – להבדיל מצביעת אריג – כמו בממצא ייחודי זה, הינה תגלית בעלת חשיבות רבה. זיהוי כרומטוגרפי של צבע שהופק מחלזונות על גבי חפצים שאינם אריגים מוכר רק בצירוי הקיר המינואיים באקריוטירי שבסנטוריני ובאיים הסמוכים, מהמאה ה-17 לפנה"ס בקירוב. כדי שאפשר יהיה להשתמש בארגמן המופק מחלזונות לצביעת חפץ, יש לבודד את חומר הצביעה על ידי הפרדתו משאריות בשר הבלוטה התת-זימית של החלזונות. כדי לעשות זאת, אפשר לערבב במים את בשר הבלוטות עד שחומר הצביעה נפרד מן הבשר ושוקע בתחתית הכלי. בשלב זה שופכים את המים, אוספים את חומר הצביעה מהתחתית ומייבשים אותו. שאלת מקום ייצור הקנקן היא מורכבת. הכתובת ההירוגליפית מצביעה על כך שהוא יוצר במצרים, שהייתה חלק מהאימפריה הפרסית בתקופת דריווש הראשון, והמקום היחיד בו נעשה שימוש סדיר בכתב ההירוגליפי המצרי. אולם, אין שום עדות לשימוש בצבע שהופק מחלזונות במצרים הפרעונית. מכאן אפשר להניח שהקנקן צופה בצירוי הגירי ונצבע בארגמן באזור שתושביו התמחו באופן מסורתי בהפקת צבע מחלזונות ארגמן – ככל הנראה בחוף המזרחי של הים התיכון. כתובות דומות על גבי כלים שונים מימי המלכים הפרסיים דריווש הראשון, כסרכסס הראשון ואתחשסתא הראשון, עשויות ללמד כי כלים אלה יוצרו לפי תקן אחיד, בהוראת המלך. כלים אחדים מסוג זה נמצאו בערי הבירה של האימפריה הפרסית, שושן ופרספוליס, כמו גם באתרים שונים מחוץ לאיראן, כגון אורוך (עיראק), ציפורי (ישראל), הליקרנסוס (טורקיה) ואורסק (רוסיה). מכאן עולה שאין מדובר בכלים שהובאו כמנחה למלך, אלא בכלים שהעניק הכתר לנכבדים ששירתו אותו. קנקן האבן המלכותי שנצבע בארגמן יוצר כנראה בהוראת דריווש הראשון והוענק לאדם כלשהו שהמלך הוקיר את שירותיו. הדבר מזכיר את התיאור במגילת אסתר, לפיו המלך אחשוורוש (ככל הנראה כסרכסס הראשון, בנו של דריווש הראשון) העניק בגדי מלכות למרדכי היהודי: "פָּכָה יְעֹשֶׂה לְאִישׁ אֲשֶׁר הִמְלִיךְ חָפֶץ בְּיָקָרוֹ" (אסתר ו, יא).

לקריאה נוספת, ראו עמ' 190-191

pink and violet mineral pigments were found in an artist's palette and on wall paintings at King Herod's 1st century BCE palace at Jericho.

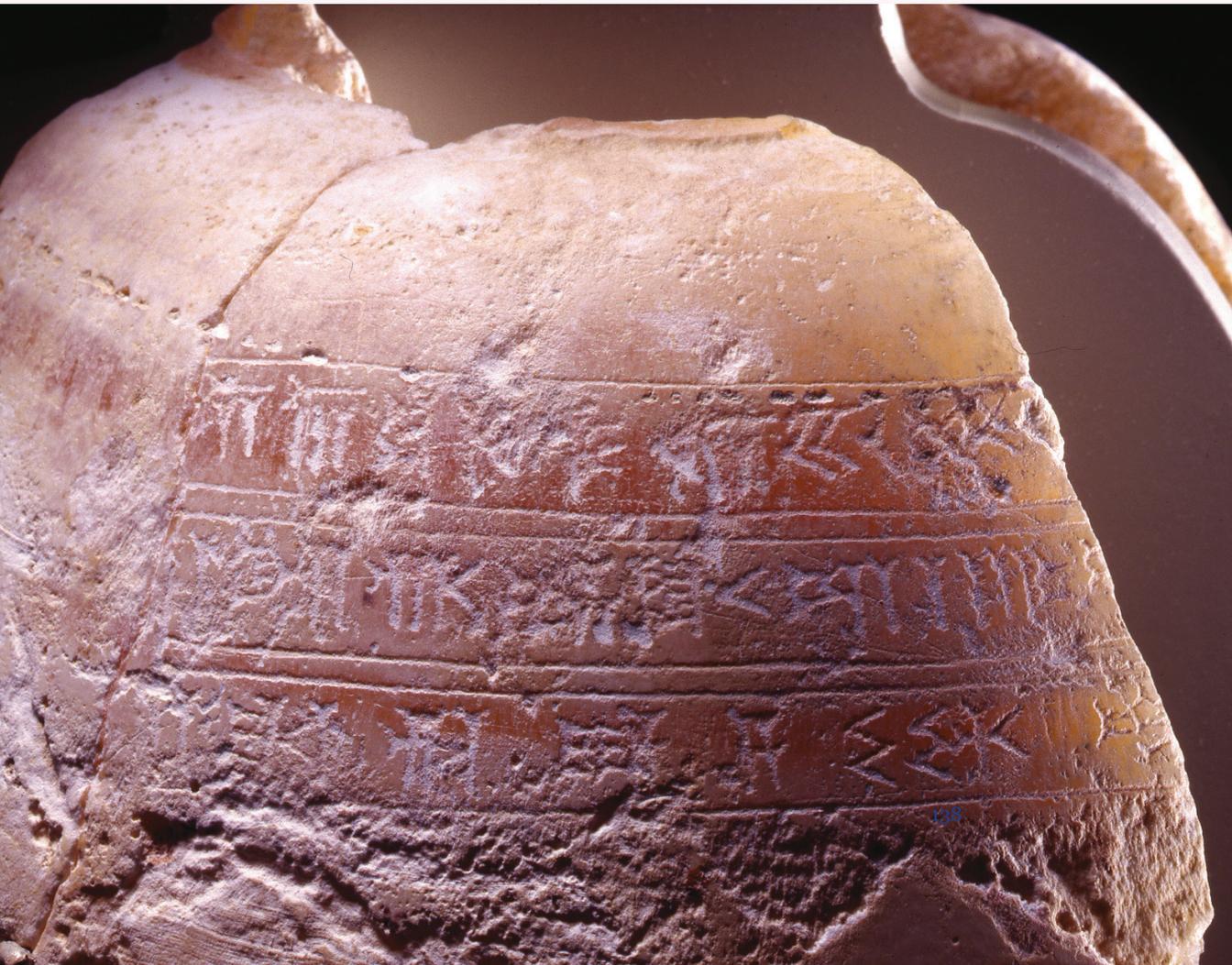
Many exterior areas of the jar carry residues in a variety of purple hues. Minute samples were carefully scraped from the wall of the jar in two areas. Each sample consisted of a mostly white, powdery material mixed with some purple pigment. A micro-sample was dissolved in an appropriate solvent and analyzed via High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The main dyes detected in the sample were DBI (dibromoindigo), MBI (monobromoindigo), and DBIR (dibromoindirubin), with additional traces of IND (indigo) and 6BIS (6-bromoisatin). The identification of DBI in this sample is definite evidence that the purple used to paint the stone vessel was extracted from murex snails. The malacological provenance of the colorant can be further determined by the presence of a considerable amount of MBI – only found in appreciable quantities in pigments extracted from *Murex trunculus* sea snails.

The presence of molluskan purple as a paint pigment – and not as a textile dye – on an artifact such as this is a major singular discovery. The only other definitive chromatographic detection of the use of purple as a paint pigment is from the 17th century BCE Minoan wall paintings from Akrotiri, Santorini, and neighboring regions. In order to use molluskan purple to paint an object, the purple pigment extracted from the sea snails needs to be purified by separating it from the flesh of the gland where it is secreted. This can be accomplished by placing the fleshy material in water with agitation. After a while, the pigment will separate and precipitate to the bottom of the vessel, at which point it is collected and dried.

The jar's origin poses a riddle. The hieroglyphic inscription suggests that it was made in Egypt, which was part of the Achaemenid Empire and virtually the only place where Egyptian hieroglyphs were regularly used. However, there is no known evidence of the use of molluskan purple pigment in Pharaonic Egypt. Therefore, the plastering and the painting would have been performed at a geographical location where the expertise in extracting the purple pigment from murex snails existed, most likely on the eastern coast of the Mediterranean.

The similarity of inscriptions on several vessels from the reigns of the Achaemenid kings Darius I, Xerxes I, and Artaxerxes I indicates that they were made to a uniform standard by royal order. Some of these artifacts were found in the Achaemenid royal cities of Susa and Persepolis, as well as at sites outside of Iran, such as Uruk (Iraq), Zippori (Israel), Halicarnassus (Turkey), and Orsk (Russia). Such dispersal suggests that the vessels were not gifts offered to the king, but rather presented by the crown to those who rendered service. This majestic purple painted jar was probably commissioned by Darius as a gift for an individual that he held in high esteem. Such an act recalls the account in the book of Esther, in which King *Ahashverosh* (probably Xerxes I, the son of Darius I) conferred royal apparel on Mordecai: "In this manner shall be done to the man whom the king desires to honor" (Esther 6:11).

For suggested further reading, see pp. 190-191





קנקן צבוע בארגמן, הנושא כתובות של דרייוש הראשון מלך פרס בארבע שפות
בהט | האגן המזרחי של הים התיכון | 486 לפנה"ס

Jar painted in purple, bearing inscriptions of Darius I, king of Persia, in four languages
Alabaster | Eastern Mediterranean | 486 BCE | BLMJ 1979

For Further Reading

לקריאה נוספת

Dyeing with Sea Snails for the Production of *Tekhelet* and *Argaman* in Antiquity

By Zvi C. Koren:

Koren, Z. C. 1997. "The Unprecedented Discovery of the Royal Purple Dye on the Two Thousand Year-Old Royal Masada Textile," *American Institute for Conservation, The Textile Specialty Group Postprints* 7: 23-34

Koren, Z. C. 2008. "Archaeo-Chemical Analysis of Royal Purple on a Darius I Stone Jar," *Microchimica Acta* 162: 381-392

Koren, Z. C. 2013. "New Chemical Insights into the Ancient Molluscan Purple Dyeing Process," in *Archaeological Chemistry VIII*, eds. R. A. Armitage and J. H. Burton, ACS Symposium Series 1147; American Chemical Society, Washington, DC, pp. 43-67

Koren, Z. C. 2015. "Modern Chemistry of the Ancient Chemical Processing of Organic Dyes and Pigments," in *Chemical Technology in Antiquity*, ed. S. C. Rasmussen, ACS Symposium Series Vol. 1211, American Chemical Society: Washington, DC, pp. 197-217

Kraft, D. 2011. "Memo From Ramat Gan: Rediscovered, Ancient Color Is Reclaiming Israeli Interest," *New York Times*, February 27, 2011
<http://www.nytimes.com/2011/02/28/world/middleeast/28blue.html?mcubz=1>

For Further Reading

לקריאה נוספת

Royal Purple Painted Jar of King Darius the Great

By Zvi C. Koren:

Koren, Z. C. 2008. "Archaeo-Chemical Analysis of
Royal Purple on a Darius I Stone Jar," *Microchimica
Acta* 162: 381–392

Westenholz, J. G. and Stolper, M. W. 2002. "A Stone Jar
with Inscriptions of Darius I in Four Languages," *Arta*
2002.005: 1–13

<http://www.achemenet.com/pdf/arta/2002.005-loc.pdf>