

תצלומי-אוויר ומיפוי גיאולוגי

(בשולי עבודת חקירה בנגב)

מאת

יעקב בן-תור

מבוא

תצלומי-אוויר מילאו תפקיד חשוב במיפוי הגיאולוגי של הנגב, שנערך בשנתיים האחרונות ע"י ע. פרומן וכותב הטורים האלה. הואיל והיה זה המעשה הראשון של שימוש בשיטה זו במיפויים של שטחים נרחבים בארצנו, מן הראוי לסכם את הניסיון שנקנה ולהעריך את יתרונות השיטה ואת גבול תועלתה.

בפתח דברינו עלינו להעיר, שבמחקר מיוחד זה היו התנאים לשימוש בתצלומי-אוויר נוחים ביותר. לא זו בלבד שהיו בידנו תצלומים מצוינים מן המוכן לשטח כולו ובכמה וכמה קני-מידה, אלא שגם טבע הקרקע יפה הוא לשיטת תצלומי האוויר. הנגב מדבר-סלעים הוא, ושטחים נרחבים שבו אין עליהם כל מכסה אדמה או צמחים. ועל-כן המבנה הגיאולוגי בולט במלואו על פני השטח, וכל פרט שבו, וכל שינוי בטיבם של הסלעים משתקפים לאשורם בתצלומי אוויר.

ולא הרי התנאים הללו כתנאים שבשאר אזורי הארץ, ולפיכך אי אתה יכול להקיש מהם על תחומים אחרים, כגון עמק החוף או הגליל הדרום-מערבי. כנגד זה יש בתנאים הגיאוגרפיים של הנגב רוב סימנים מובהקים שאתה מוצא כמותם בתחומים נרחבים של המזרח הקרוב, ואין ספק, שהניסיון שנקנה בנגב יש בו משום עניין לרובו של השטח הנרחב הזה.

מלבד התנאים הנוחים האמורים, התלוים בטבע המציאות הגיאוגרפית, היה כאן עוד טעם אחד, טכני בעיקרו, להעדיף את תצלומי האוויר על המפות הטופוגרפיות הרגילות. הנגב היה עד לימים אחרונים אחד התחומים הנידחים שבארץ, שהחקירה הגיאוגרפית לא הכירה אותם כל צורכה, והמפות המועטות, שתואר בהן שטח זה, היו מפוקפקות ופגומות בהרבה פרטים; ולפיכך לא נגזים אם נאמר, שאלמלי תצלומי-האוויר לא היה מיפוי הגיאולוגי של הנגב בקנה-מידה של 1:100,000 בגדר האפשרות.

חילקנו את הסקירה על השימוש בתצלומי-אוויר לשלושה פרקים, לפי סדר השלבים של העבודה עצמה, ואלה הם: (1) חקירת התצלומים קודם היצאה לשדה; (2) שימושם בשעת עבודת השדה; (3) ערכם עם סיכום התוצאות והכנת המפות והדו"ח הסופי, לאחר ששבה המשלחת מעבודתה.

(1) שלב ההכנה

בדרך כלל, עבודתן של משלחות גיאולוגיות במדבר נעשית בתנאים קשים. משום כך יש חשיבות בדבר שמשלחת המתקינה עצמה לעבודה זו תכיר קודם ליציאתה לשדה את התנאים, שהיא עתידה להיתקל בהם, ותאסוף כל ידיעה אפשרית על בעיות השטח שהיא הולכת לחקור. וכאן ראשית תועלתם של תצלומי-האוויר.

כל תצלומי האוויר מהשטח העומד לחקירה נבדקים בדיקה

מדויקת בסטריאוסקופ גדול, תחילה לשם קניית הכרה ראשונה של התנאים המורפולוגיים. בבדיקה זו נקבעים המישורים ושאר אזורים מעוטי התבליט, שלפי המשוכלל לא תאריך העבודה בהם. בעיון יתר נבדקים האזורים ההרריים, תוך סימון הדרכים להגיע אליהם, שאפשר לעבור בהם ברגל ובמכונית.

לאחר בדיקה זו באה חקירתם של תצלומי-האוויר מבחינת המבנה הגיאולוגי המשתקף בהם. המטרה הראשונה של כל סקר גיאולוגי בשטח חדש ובלתי-ידוע היא להשיג חתך מדויק מסידרה של תצורות עבה ככל האפשר. אבל בידוע שיש שטחים נרחבים מאוד, שכולם עשויים תצורה גיאולוגית אחת בלבד, ועתים אין בהם אפילו כדי תצורה אחת שלמה לכל דרגותיה. וכנגד זה אתה מוצא איזור אחד המצומצם בשטחו ובו כמה וכמה תצורות שונות זו מזו, שנשתמרו מכוחן של סיבות מקומיות, מורפולוגיות או טקטוניות. החוקר בשדה חייב ליתן את דעתו קודם-כל על אותם השטחים, שהתפתחותם הגיאולוגית עשירה יותר. ההבדל שבין שטחים יחידי-תצורה ומרובי-תצורה מובלט יפה בתצלומי-אוויר, כפי שמראה הקבלת הצוירים 1 ו-2. הרי שתצלומי האוויר מספקים בידנו לערוך תוכנית יעילה לביצוע עבודת השדה.

משנערכה החלוקה המוקדמת של איזור העבודה, באה בדיקת תצלומי האוויר לפרטים. מסמנים בתצלומים את העצמים האמודים להיותם העתקים וקובעים את צניחת השכבות בכל מקום שהדבר אפשרי, ובדרך זו עולה תמונה ראשונה וארעית של המבנה הגיאולוגי. בעיון מיוחד עוקבים אחר עצמים קטנים מבודדים, כגון כתמים בהירים או כהים שבתצלום (עי' ציור 3). הללו אפשר שהם משקפים תופעות גיאולוגיות מיוחדות שהתפשטותן הגיאוגרפית מצומצמת, והחוקר בשדה עלול לפסוח עליהם בשגגה, ובפרט בשטחים בעלי מורפולוגיה מסובכת. על-פי בדיקות אלו של תצלומי האוויר נקבע מקום חנייתה הראשון של המשלחת. המגמה היא שיהיה המחנה קרוב ביותר לאיתו השטח העומד להיחקר בראשונה, ומשתדלים לקובעו במקום שיש דרכים נוחות לתנועת מכוניות מן המחנה אל השטח הנחקר.

לאחר הכנות אלו יוצאת המשלחת לשדה ובידה ציור כולל של אופי שטח החקירה, של מהותו הגיאולוגית הכללית, ומושגים ראשונים של הבעיות, שתצטרך לפתור.

(2) שימושם של תצלומי-אוויר בעבודת השדה
שימושם של תצלומי-אוויר בשדה הוא בשני אופנים: (א) באירגון עבודת המשלחת; (ב) בבירורם של גופי ענינים גיאולוגיים. נתאר תחילה את שימושם באופן הראשון.

א. שימושים שבאירגון העבודה
בכל ערב המשלחת עורכת את תוכנית עבודתה ליום

קווי-גובה שאינם בתצלום, וחסרון זה מורגש ביותר כשאתה בא להעריך את עובייה של חתכים. אמנם אפשר לסמן קווי-גובה גם על גבי תצלום-האוויר, אבל זוהי טכניקה פוטוגרא-מטרית מסובכת, ואם יש לך עסק בשטחים גדולים, הרי זו עולה בדמים מרובים ובאיבוד זמן רב. משום כך אין שימושה נוח אלא לאחר סיומה של עבודת השדה ואינו כדאי אלא בשטחים מובחרים שיש בהם עניין מיוחד או שמבנם מסובך. חוץ מפגם זה מרובה תועלתו של התצלום משל המפה הטופוגראפית שבאותו קנה-מידה. יתרון גדול שבו, שהוא מסייע בידי החוקר להתמצא בשדה בקלות. כל הפרטים (חוץ מקווי-הגובה) הנראים במפה הרגילה, ישנם גם בתצלום, ועוד יש בו מלבד זה מידה גדושה של פרטים נוספים שאינם במפה. דרך משל, תצלום-אוויר בקנה מידה 1:20,000 משקף את חלוקת הצורות שבנחלים, את גושי הצורות הגדולים עצמם ואף עצים בודדים, וכן את הצורות המיוחדות של הצוקים, של מפלי מים ושל סיבובי נחלים וכמה וכמה תופעות אחרות שבאירוויזיה.

עתים אתה מופתע למראה השלמות שבפרטי הנוף המש-תקפים בתצלום. היה מעשה ומצאנו בשעת עבודת השדה קבוצה של חמישה בורות מים וסימנו את מקומם בקירוב בתוך התצלום. כשחזרנו למעבדה ובדקנו את התצלום בסטרי-אוסקופ חזק, הבחנו בו את חמשת הבורות הללו, שאף אחד מהם לא היה קוטרו מרובה על מטר אחד. בדרך זו ניתן לנו לקבוע בדיוק מופלג את מקומם של הבורות, ומתוך כך קבענו גם את מצבו של הגבול הגיאולוגי הכרוך בהם. ועוד גורם אחד לחשיבותם של תצלומי-האוויר מבחינת האוריינטציה בשדה, שמפה טופוגראפית הנרשמת בידי אדם פרוצה לטעות, ואילו תצלום-אוויר אינו טועה לעולם. ודאי שגם בתצלום האוויר שכיחים עיוותים של התמונה הטופוגראפית, אבל הם כפופים לחוקיות מאתימאטית ברורה, ותוצאותיהם ניתנות לחישוב. נמצא השימוש בתצלומי אוויר מקנה לגיאולוג הרגשת ביטחון מוחלט, שאין המפה הטופו-גראפית יכולה לתת לו.

מלבד מעלותיו אלו של תצלום-האוויר יש בו עוד יתרון אחד על המפה, שאפשר להכין אותו בלי יגיעה מרובה. בשעת מיפויים של שטחים מסוימים בנגב היה צורך במפות מפורטות מאלו שהיו בנמצא, והחסרון נתמלא על-ידי צילומים שהותקנו תוך ימים מועטים. אילו באנו לערוך סקר טריגונומטרי, היינו צריכים לעבוד על כך חודשים רבים, וקרוב לוודאי שבתנאים הקיימים לא היה הדבר עולה בידנו. ועל כל יתרונותיו של התצלום בבחינת מפה, הריהו גם מקור של ידיעות הרבה על גופי עניינים גיאולוגיים, ובעיקר בתחום הבעיות הסטראטיגרפיות והטקטוניות, שהמפה הטופו-גראפית מטבעה שאין בה פתח תשובה עליהן.

המחר וקובעת את דרך מסעותיה לאותו יום. מרובה היגיעה הכרוכה בקביעת הדרך, שכן משתדלים למצוא דרכים שבהן יוכלו המכוניות להתקרב ככל האפשר אל שטח העבודה. וחשיבות מיוחדת לדבר במקום שהעבודה נעשית בשטח מדברי, שהמרחבים שבו גדולים ומחנה אחד צריך לשמש בסיס לחקירת שטח של כמה מאות קמ"ר. אם ניתן למכוניות להתקרב אל מקום העבודה ממש, אפשר להמשיך בעבודה עד קרוב לשקיעת החמה. מה שאין כן אם צריך לעשות דרך ארוכה אל המכוניות בהליכת-רגל מייגעת; ויגיעה כפולה ומכופלת היא אם יש להעביר אל המחנה דוגמאות מרובות של סלעים.

בשטחים הרריים הדרכים הנוחות ביותר לתנועת המכוניות הם אפיקי הנחלים, שבכמה וכמה מקומות הם משוקעים עמוק בתוך הסלעים — ופעמים הן הן הדרכים היחידות. קושי מיוחד בעבירתם של מפלי-המים היבשים המצויים בנחלים רבים; מהם שקל לעוברם ברגל, אבל חוסמים הם לחלוטין את דרכן של המכוניות, ואפילו גובהם כחצי מטר בלבד. פעמים הרבה תצלומי-האוויר מסייעים לגלות את המפלים הללו. במפלים הגדולים קל להבחין בתצלום את צוק המפל, ואילו המפלים הקטנים נראים בתצלום כקו שחור החוצה את האפיק מקצהו ועד קצהו. דוגמה לכך התצלום הניתן בציור 4, שנראה בו בבירור, שאין דרך למכוניות להקיף את שני המפלים, המסומנים בחצים א' ו-ב'. ואילו מן התצלום שבציור 5 נראה, שיש מקום למכוניות לעקוף את המחסום, ואין הן צריכות אלא לנטות מאפיק הנחל הראשי ולנוע לאורכו של היובל האחרון שמתחת למפל עד שיגיעו שוב אל הנחל הראשי בדרך היובל השני שמעל למפל.

פרטים כגון אלו חשיבותם מרובה לקביעת הדרך, אף-על-פי שגם תצלומי-אוויר אין בכוחם לגלות את כל המכשולים. ניכרים בהם רק המפלים הגדולים, ואילו המפלים הקטנים, שפעמים הם משמשים מחסום קשה, יש ואינם משתקפים בתצלום כל עיקר.

ומרובה תועלתם של תצלומי-האוויר בשעה שהקבוצה הגי-אולוגית עוזבת את המכוניות ויוצאת לדרך ברגל, כדי לסייר את השטח. אותה שעה שתי הקבוצות, קבוצת הרגלים וקבוצת הנוסעים, קובעות להן מקום שבו ייפגשו בשעה מאוחרת באותו יום. מקום הפגישה נבחר לאחר בדיקת תצלומי-האוויר ותוך התייעצות עם הנהגים. בעבודתנו על מיפוי הגיאולוגי של הנגב לא אירע אף פעם אחת ששתי הקבוצות לא ייפגשו במקום הקבוע, ואפילו לא ראה איש מאנשיהן את המקום מעולם; אבל על-פירוב היתה הקבוצה הגיאולוגית באה באיחור של כמה שעות.

ב. בירור עניינים גיאולוגיים בשדה על-ידי תצלומי-אוויר

(a) תצלומי-אוויר בתור מפות טופוגראפיות

שימושם של תצלומי אוויר בבירורם של עניינים גיאולוגיים עיקרו בכך, שהם ממלאים את תפקידם של מפות טופוגראפיות. כל ידיעה גיאולוגית הנקנית על-ידי חקירה בשדה, יכול אתה לרושמה מיד על גבי התצלום.

יפה המפה מן התצלום בבחינה אחת בלבד, שיש בה

(b) הבחנה בגבולות שבין התצורות

בכל מקום, שבו תצורה גיאולוגית אחת גובלת בתצורה אחרת העשויה מחומר אחר, הגבול שבין שתי התצורות נראה בתצלום-אוויר בצורת קו ברור פחות או יותר, כפי שאנו רואים בציור 6. האיזור הכהה שבתצלום זה משקף מחשוף

בתכונות הרפלקסיה שלהם, הם נראים בתצלום במסכת מורכבת של גוונים בהירים וכהים יותר. מסכת זו משקפת בנאמנות מרובה או מועטת את חלוקתם של סוגי הסלעים על-פני השטח. הרי שמבחינה זו טיבו של תצלום-אוויר דומה יותר למפה פטרוגרפית מאשר למפה גיאולוגית.

אמנם, גוני התצורות, כפי שהם נראים בתצלום-אוויר, יסודם בטבע הסלעים, וביתר דיוק, בטבעו של קרום הבלייה, המתרקם עליהם. אף-על-פי-כן עלולה המסכת של סידרת סלעים מסוימת להשתנות ממקום למקום, מכוח המורפולוגיה של השטח, מחמת שינוי הארה בשעת עשיית הצילום ולפי מידת הבלייה של הסלעים. משום כך אי אפשר לקבוע כללים לזיהוין של התצורות השונות.

סלעים דומים, אפילו הם שונים זה מזה בגילם, בדרך כלל דומים הם במראהם גם בתצלום, שאינו משקף אלא תכונות ליתולוגיות ולא סטראטיגרפיות. אף-על-פי-כן אנו מוצאים לפעמים, ששתי סדרות של סלעים השווים במראהם, שאין להבחין ביניהן בשדה, יש ביניהן שינוי-מראה בתצלום, מחמת הבדלים מועטים שבתכונות הבלייה של שני סוגי הסלעים. מכאן שאין להעמיד את זיהוי התצורות הגיאולוגיות על תצלומי האוויר בלבד. בשלבים הראשונים של עבודת השדה החוקר חייב לבדוק ברוב עיון את מחשופי הסלעים כנגד תמונתם בתצלומים ולברר את היחס שביניהם בדרך גישוש וניסוי, וכל המרבה בבדיקה ובבירור מובטח לו שגיע לדי תוצאות ודאיות, ועתים גם מפתיעות בדיוקן.

קו אופייני ביותר בתצלום של תצורה גיאולוגית, החשופה על גבי שטח נרחב, היא מסכת הניקוז. דוגמה מובהקת לכך נראית בציור 7. אותו תצלום מחולק לשני חלקים נפרדים על-ידי קו חריף החוצה את התצלום מלמעלה למטה. קו זה משקף חלק מן הצוק של מכתש רמון. האזור משמאלו של קו הצוק עשוי דולומיטים קשים מתקופת הקנומאן, ואילו השטח שממינו מורכב אבני-חול נוביות רכות, השייכות לקרטיקון התחתון. למעשה אין הבדל גוון בין שתי התצורות הללו: שתיהן נראות בתצלום באותו גוון אפור-בהיר, אבל מסכיות הניקוז של שתיהן שונות זו מזו תכלית שינוי. האזור הקנומאני מראה מספר מצומצם של נחלים גדולים לפי ערך, שכל אחד מהם מסתמן בצורת עקלתונים (מיאנדרים), נטויים כקשתות, ודפנותיהם תלולות, ואילו האזור של אבני-חול הנוביות עשוי מספר רב של נחלים קטנים ושטוחים, שהילוך כל אחד מהם כאילו משונן ומסועף.

ובדרך אגב נעיר, שהנחלים החתורים בתוך הסלעים הקנו-מאניים מראים בתצלום בבירור מאות קווים דקים שכיוונם ניצב כנגד אפיק הנחל. קווים אלה משקפים חלק מן המערכת המורכבת של סכרים מלאכותיים מתקופת הנבטים.

על אף כל הקשיים, הכרוכים בזיהוין הסטראטיגרפי של התצורות לפי תמונתן בתצלומי האוויר, העלינו כמה כללים, שנתבררו לנו קמעה קמעה מתוך עבודות השדה בנגב, והננו נותנים אותם כאן:

(1) פרי-קאמבריון

דוגמה לשטח פרי-קאמברי הוא הציור 8, המראה חלק

של סלעים פרי-קאמבריים והוא מוקף מכל צד אלוביון פלייס-טוקני, הנראה בתצלום בגוונים בהירים יותר. בכל מקום כגון זה, מיפוי המחשוף וצורתו הנעשה על-פי תצלום-אוויר ניתן לכוונו בדיוק יתר על כל שיטה אחרת, חוץ ממדידות מיוחדות, אלא שהללו יגיעתן מרובה וממושכת והן זקוקות למכשירים מיוחדים. אמנם בתצלום-האוויר אי אתה יכול להבחין שהשטח הפרי-קאמברי אינו אחיד והוא מורכב שני סוגי סלעים שונים, שהם גראניט וקווארץ-פורפיר. הבחנה זו צריכה הסתכלות מקרוב בשדה גופו.

דוגמה אחרת לגבולות תצורתיים המשתקפים בתצלום אנו רואים בציור 2. בחלקו העליון של תצלום זה נראית שורה של פסים, כהים ובהירים לסירוגין (חצים א-א). פסים אלה מציינים אופקים שונים זה מזה בתוך הסידרה של הירא התיכוני. ואף-על-פי שאין בכוחו של התצלום לתת את הפירוש הסטראטיגרפי של האופקים השונים, הרי הגבולות שביניהם ניתן למפותן בדיוק מופלג על פי התצלום בלבד.

אותו ציור 2 יש בו גם משום דוגמה מובהקת להגבולות, ששיטה זו כפופה להן. המשולש הכהה הגדול שבפינתו השמאלית התחתונה של התצלום, משקף בבירור סוג מיוחד של סלעים, הבולטים בשינוי מראהם מן הסלעים הבהירים יותר של הסביבה. אזור כהה זה הוא הסדן המאגמאטי של ג'בל א-רישה שבנחל-רמון (קוארדינאטים 135/999). גבולות הסדן הזה שנרשמו במפה הגיאולוגית 1:250,000 של ארץ-ישראל הדרומית, מכוונים ככולם עם צורת האזור הכהה שבתצלום, ואף-על-פי-כן הותוו הגבולות הללו בטעות. לאמיתו של דבר, הסדן מצומצם בחלקו התחתון בלבד של האזור, שהוא כהה יותר וצורתו אליפטית בקירוב, ואילו הכתם הכהה השכן שבצד צפון-מערב, שצורתו צורת משולש, הוא למעשה מישור העשוי סידרת גבס טריאסית, אלא שהוא מכוסה גושים וצורות של הסלע המאגמאטי, שנתגלגלו מן הסדן התלול שבדרום. אפשר שאילו בדקו כאן את תצלום-האוויר ביתר שקידה, היו מגלים בו רמז כלשהו למציאותו של הגבס מתחת למכסה הצורות המאגמאטיים; שהרי סלע בהיר זה בולט מבעד לצורות במקומות רבים, ובעיקר לאורך הילוכי הנחלים הקטנים. מכל מקום, בדיקה סטריאוסקופית לא היתה מניחה ספק בנידון זה.

דוגמה זו של ג'בל א-רישה מראה לנו את אחת ההגבולות העיקריות בשימושם של תצלומי-האוויר לשם קביעת הגבולות שבין תצורה לחברתה. כלומר, שפעמים הרבה אי אפשר להבחין בין המחשוף של תצורה מסוימת לבין השטחים השכנים, המכוסים צורות של תצורה זו. ומכאן אנו למדים, שכל מקום שיש ספק בעניין הגבול הגיאולוגי המדויק, שנקבע על-פי תצלומי האוויר, יש לשוב ולבדוק את הקו בשדה גופו.

(c) זיהוין של תצורות בתצלומי-אוויר

זיהוי הסטראטיגרפי של התצורות הוא אחד השימושים החשובים ביותר של תצלומי-האוויר, אלא שמרובה הקושי שבהבחנה. הגוון שבו נראית שום סידרה של סלעים בתצלום תלוי בתכונות הרפלקסיה המיוחדות של הסלע הנידון, הואיל וסלעים השונים זה מזה בהרכבם, בדרך כלל שונים הם גם

לאחר שהוכר בשדה פירושם של כל הגוונים האלה, אפשר לצייר על-פיה התצלום בלבד את הגבולות שבין הסדרות השונות, המרכיבות את המערכת הטריאסית, אבל פעולה זו יש לעשותה בזהירות. שהרי סידרה אחת של גיר ודולומיט בת הגיל הקנומאני, כלומר צעירה הרבה יותר, מצויה באיזור סמוך, והיא עושה בתצלום מסכית דומה לזו, ועל-כן יש מקום לטעות. אי אתה יכול לכוון כאן את התחומים שבין התצורות, אלא אם כן יודע אתה מלכתחילה, שלפניך שתי סדרות סטראטי-גראפיות שונות, הדומות זו לזו בטבע, והכרת לאשורם את יחסי הסדרות השונות אל סידרה הניתנת לזיהוי בקלות ובוודאות, כגון סידרת הגבס הלבנה, קשה בעיקר לתחם את הגבול שבין סידרת הגיר והדולומיט לבין סידרת הגבס. שני החצים אי-א מסמנים שטח בחלקו הימני של הציור, שלפי צבעו הוא שייך לסידרת הגיר והדולומיט. אבל בתוך איזור אפור זה נראים כתמים לבנים רבים, וחקירת השדה מעלה, ששטחים בהירים אלה עשויים גבס. נמצא איזור זה אינו שייך כלל אל סידרת הגיר והדולומיט, כפי שאפשר היה להניח על סמך התצלום, כי אם אל סידרת הגבס. סלעים אלה רובם מכוסים סחף מן הסידרה הגירית-דולומיטית, שאף-על-פי שנמוכה היא מסידרת הגבס בסדר הסטראטיגראפי, גבוהה היא ממנה מבחינה טופוגראפית. הגבול המדויק שבין שתי הסדרות מכוסה כאן, ולפיכך אינו ניתן לתיחום אלא בשדה בלבד.

(3) יורא

מחשופים ודאיים של סלעים יוראסיים אינם מרובים בארץ, ולפיכך אנו בוחרים שוב באיזור רמון כדוגמה לתצורה זו. החתך היוראסי מורכב כאן שתי סדרות ימיות של גיר ודולומיט, וביניהן מתמצעת סידרה של אבני-חול נוביות, רובן יבשתיות. ציור 10 מראה את פרצופה האופייני של הסידרה הימית התחתונה. בחלקו העליון של התצלום נראית שורה של פסים בהירים וכהים לסירוגין, הכל לפי הדרגות השונות של הסלעים בתוך סידרה זו. כאן ניתן לקבוע ברוב דיוק גם את הגבולות שבין הדרגות השונות של הסידרה. איזור זה אפשר למפותו על-פי התצלום בלבד במשך חצי שעה, ואילו מיפוי על-פי חקירה בשדה צריך זמן של יומיים, לכל הפחות, ואין בו משום תוספת דיוק.

הסידרה היוראסית התיכונה, המורכבת אבני-חול נוביות, סימניה בתצלום כסימניהן של שאר אבני-חול נוביות. צילום 7 מראה, בחלקו הימני, את הסידרה הימית היוראסית העליונה. היא נראית כאן בצורת פס כהה בעל שכבתיות מובהקת, החוצה את הצילום מלמעלה למטה. מיפוייה של סידרה ימית זו, הרבוצה בין שתי סדרות של אבני-חול נוביות, אינו נתקל בשום קשיים, וניתן לעשותו מתוך התצלום בלבד.

(5) קנומאן-טורון

סימניה המובהקים של תצורות הקנומאן-טורון בתצלומי-אוויר הם: צבעים אפורים בינוניים, ומסכית אירוויבית חזקה. מספר הנחלים מועט הוא בדרך כלל, אבל הם רחבים, ולעתים קרובות חתורים הם בתוך הסלעים בדמות קניונים. תכונות אלו בלבד אינן מספיקות כדי זיהוי הוודאי של

של הנגב הדרומי. האזורים הכהים שבתצלום זה עשויים סלעים מאגמאטיים ומטאמורפיים; אמנם הסלעים הקריסטאליניים השונים, בדרך כלל אינם ניתנים להבחנה בתצלום: סלעים פלוטוניים, וולקאניים ומטאמורפיים נראים בו בדמות אחת; אבל האופי הקריסטאליני הכללי של האיזור ניתן בקלות להבחנה בתצלום על-ידי העדרם של מישורי רבידה ועל-פי המורפולוגיה החדה והזוויתית האופיינית.

דייקים מאגמאטיים גדולים נראים הם גופם בתצלומים טובים, ואילו דייקים קטנים אנו יכולים להסיק בדרך עקיפין על מציאותם, אם מרובים הם כדי להטביע על המורפולוגיה מסכית ליניארית. דוגמה לכך היא אותו הציור 8. בשטח זה נקבע כיוון הלכס העיקרי של רוב הנחלים על-ידי ציבור של דייקים מאגמאטיים, ומסכית הערוכה בכיוון צפון-צפון-מזרח ודרום-מערב נראית בבירור בתצלום. כללו של דבר, חשיבותם של תצלומי האוויר בשטחים קריסטאליניים פחותה מחשיבותם באזורים של תצורות משקעיות (סדימנט-טאריות).

(2) אבן-חול נובית

אבני-חול אלו מצויות בכל התקופות שמן הקאמבריון ועד הקרטיקון ועד בכלל. אבל בין בשדה בין בתצלום אין כללים קבועים לחלוקתה של סידרה זו לפי התקופות. השטחים של אבני-חול נוביות משתקפות בתצלום-האוויר על-ידי ריבוי נחלים קטנים, שהילוכו של כל אחד מהם מסתמן בפיתולים רבים ועדינים, כפי שנראה בבירור בחלק הימני של ציור 7. מלבד זה נוטים שטחים של אבן-חול נובית להעלות בתצלום מסכית מנומרת, ואף-חסרים הם סימני שכבתיות. ועוד סימן מובהק להם, שהם מעלים בתצלום כתמים כהים מרובים, שאינם מסוימים בצורתם. כתמים אלה פעמים הם ערוכים בשורות, ופעמים אין בהם סדר כלל (ציור 9). ההסתכלות בשדה מעלה, שכתמים אלה סימן הם לשטחים של אבני-חול כהות, בעיקר קווארציות או ברזיליות, המתהוות בשטחים מצומצמים בתוך סידרת אבן-החול הנובית.

(3) טריאס

המחשף הגדול של סלעים טריאסיים, היחיד בארץ, נמצא במכתש רמון. מערכת הסלעים הטריאסיים מתחלקת כאן לארבע סדרות: הנמוכה שבהן עשויה סלעים מאגמאטיים (הסי-לים הבזלטיים הטריאסיים); עליה רבוצה סידרה של אבני-חול ופצלים (פונט-זאנדשטיין), ועל גביה של זו סידרה גירית ודולומיטית (מושלקאלק); הסידרה העליונה עשויה גבס לבן גושי (קויפר?).

כל ארבע הסדרות האלו נראות בציור 10, בחלקו המרכזי התחתון. הסידרה המאגמאטית הנמוכה צבעיה כהים ביותר. סידרת אבני-החול והפצלים עושה בתצלום מסכית-ניקוז עדינה, בדומה לזו של אבן-החול הנובית. כאן נראה מספר רב של נחלים קטנים שהילוכם משונן ועקלקל. סלעי הגיר והדולומיט מסתמנים במסכית נחלים גסה וצבע אפור-כהה אחיד, ואילו סידרת הגבס שבראש המערכת בולטת בצבעה הלבן המובהק; פס בהיר זה של הגבס חוצה את כל התצלום משמאל לימין.

צין (ואדי פקרה), התברר בעבודת השדה, ששטחים נרחבים, שמופּו כסאנטון על סמך תצלום-אוויר, עשויים למעשה סלעי קאמפאן בפאציאס של עשישייה. ועוד קושי נוסף בזיהוי של הצור הקאמפאני בתצלום-אוויר: דרגה זו נוטה ביותר ליצירת חמאדה, שכמעט אין להבדילה בתצלום מרובדי הצור של הקאמפאן, כפי שהם במקום גידולם.

(7) מאסטריכט ודאניון

תצורות אלו מפותחות בנגב בדמות סידרה בהירה של קירטון וחואר. מטעם זה דומה מראיתן בתצלום-האוויר לשל סלעי הקירטון של הסאנטון, אלא שבדרך כלל גונם קצת פחות בהיר. על-פי-רוב אפשר להבחין בין שתי הסדרות הללו על-ידי הסטריאוסקופ, שכן הוא מראה, אם הסידרה הבהירה רבוצה מעל לקאמפאן הכהה או מתחתיו.

מקום שתצורות של מאסטריכט ודאניון חשופות על פני שטח נרחב, גורמים סלעי הקירטון והחואר הרבים לטופו-גראפיה של אדמות משובשות (badlands), כפי שאנו מוצאים בציור 4. בשעה שאנו רואים בתצלום-האוויר איזור בהיר של אדמות משובשות סמוך למחשופי הקאמפאן הכהים, מובטח לנו שהוא מאסטריכט או דאניון.

(8) איאוקן

האיאוקן התחתון שבנגב עשוי סידרה של חואר וקירטון המכילים לעתים בולבוסים צור. סלעים אלה נבדלים בתצלום-האוויר מן הקירטון הסאנטוני בגונם הכהה יותר, והם אינם שונים הרבה מן השכבות שמגיל המאסטריכט והדאניון, שתוארו לעיל. אלא שסלעי קירטון של איאוקן על הרוב מצו-ררים הם, ולפיכך הם קשים יותר ואינם עושים מורפולוגיה של אדמות משובשות; כנגד זה הם מעלים מסכית נחלים דנדריטית אופיינית, כפי שהיא נראית בציור 1.

האיאוקן התיכוני שבנגב עשוי ברוב השטחים סלעי-גיר מרובדים וקשים. הנוף של האיאוקן התיכוני דומה, הן בשדה והן בתצלום, לנוף טורוני, ואין לקבוע כללים ודאיים להבחנתן של שתי הסדרות האלו.

(9) הערות כלליות לבעיית הזיהוי של תצורות שונות בתצלום-אוויר

הכלליים האמורים בסעיפים הקודמים, יפים הם כיסוד להנחית על מהותן הסטראטיגרפית של התצורות המשתקפות בתצלום, אבל יש להדגיש בכל לשון של הדגשה, שאין הללו גמר-מסקנות, והן טענות אישור בכל מקום ומקום על-ידי הסתכלות ישירה בשדה גופו. רק לאחר מכן אפשר לעקוב אחר הגבולות האלה על-פני שטח מסוים בתצלום-האוויר, ובמה דברים אמורים, במקום שהתצורות חשופות ללא הפסק. מכל מקום יש לבדוק את החתך בשדה בדילוגים של כמה קילומטרים בלבד, ובשום פנים אין להפליג בדילוג יותר מעשרה קילומטרים.

זיהוי זה של התצורות הגיאולוגיות בתצלום-האוויר הוא טכניקה עדינה ביותר, ואף-על-פי-כן הוא אחד השימושים

התצורות הללו. לפיכך השתמשנו בשעת טיפולנו בסידרה זו של תצורות בשיטה מיוחדת, שאפשר לבנותה בשם שיטת הגבול. תצורות אלו רבוצות על גבי אבן-חול נובית, שאפשר להבחין בה בקלות בתוך התצלום. חקירתו של איזור, האמוד להיותו עשוי סלעים טורוניים-קנומאניים, צריך שתתחיל, עד כמה שאפשר, בגבולו התחתון, ששם הוא נוגע באבן-חול הנובית. אם התצורות הרבוצות על גבה של זו מראות את הסימנים האמורים לעיל, אפשר לשייכן לקנומאן-טורון. וברור מזה הוא הגבול העליון של תצורות אלו, שלמעלה מהן באים הקירטון והצור מגיל סנוני, (עי' פרקים (6)-(7)), ואפשר להסתייע בו על אותה הדרך. והואיל והסנון נפוץ בנגב בשטחים נרחבים יותר משל אבן-חול הנובית, חשיבותו של גבול תצורתי זה חשוב משל חברו.

בעיה קשה היא להפריד בין קנומאן לבין טורון. כל גיאולוג-שדה, שטיפל בתצורות אלה, יודע יפה, כמה קשה קביעתו של הגבול שביניהם בהעדרה של פאונה מציינת, שהרי בהרבה מקומות הסלעים דומים ביותר משני צדדיו של גבול זה. וראה זה פלא, שעתים קל יותר לקבוע גבול זה בתצלום-אוויר מאשר בשדה עצמו. דוגמה טובה לכך ניתנת בציור 11. שטח התצלום רובו ככולו מראה תבליט חזק, אבל בולטים בו שני שטחים מיוחדים (חצים א' וב'), שצבעיהם אחידים וכהים מן הרגיל. שני השטחים האלה הם שרידי טורון, שהאירוניה עדיין לא ביתרה אותם, והגבול שביניהם לבין הסלעים הקנומאניים היותר נמוכים הוא ברור וחרף. בדבר זה נתנסינו לא פעם בשעת עבודתנו בנגב.

(6) סאנטון וקאמפאן

כבר נאמר למעלה, שסלעי הסנון נראים בתצלום-אוויר בפרצוף אופייני ביותר. הסידרה התחתונה של הסנון (סאנטון) עשויה קירטון לבן, ועליו רבוצה סידרת קאמפאן, המורכבת בעיקר רובדי צור, בתנאי המדבר צור זה מתכסה קרום-בלייה שחור, שבוטט ניגודו אל לובן הקירטון. מסכית שחורה-לבנה זו של הסלעים הסנוניים השונים, כפי שהיא נראית לדוגמה בציור 12, היא אופיינית בכולה והכרתה קלה ביותר.

אמנם, בשטחים נרחבים בנגב לא הורבדה כלל הסידרה הקירטונית של הסאנטון. כל מקום שתצלום-האוויר מראה את הפס של הצור הקאמפאני הכהה מונח פִּינן על הטורון האפור-בהיר, ואין הפס הלבן של הקירטון הסאנטוני חוצץ ביניהם, יש בית-מיחוש לאי-התאמה.

יש וזיהוי של הצור הקאמפאני עצמו אינו קל כל כך. תצורה זו מצויה בנגב בשתי צורות פאציאס שונות. הפאציאס של חראז מצויינת בריבוי דרגשי הצור, כנגד זה הפאציאס השנייה, זו של עשישייה, עתים כמות הצור מצומצמת בה כדי 20%-30% של כלל העובי, ואילו שאר הסלעים הקאמפאניים הם בעיקר קירטוניים. מלבד זה אין הצור של עשישייה מקבל את קרום המדבר הכהה, ועל כן אין הוא נראה בתצלום-האוויר בצבע שחור. פעמים הפאציאס של עשישייה עשירה בסלעי קירטון במידה כזו, שדמותה בתצלום-האוויר דומה ביותר לקירטון הסאנטוני. בכמה מקומות, ובעיקר באיזור נחל

הכתמים הדומים שבציור 13, שגם הם מסודרים בשורה אחת – אף הם כבולות, הממשיכות את הקילוח הגדול. לאמיתו של דבר, אין קילוח זה נמשך עד לתוך השטח שבציור 13, ועל אף דמיונם הרב של הכתמים שבשני התצלומים, הן בגוון והן בסדרם, משקפים הכתמים שבציור 13 מחשופים של אבני-חול ברזיליות מתקופת היורא התיכונה.

מעשה אחר בטעות שבפירוש באיזור רמון ניתן בציור 14, תצלום זה מראה בחלקו הדרומי את קצהו הצפוני של מפרץ אל-חמלה. הן במזרחו (חצים א') והן בצפונה (חצים ב') של מפרץ זה נראים כמה כתמים שחורים בודדים בתוך שטח קנומאני. כתם א' (קואורדינטים 148/010) עניינו מרובה משל כתם ב'. הסטיריאוסקופ מראה, שמעל לסלעים הכהים הללו, וכן מתחתיהם, רבוצה סידרה של סלעים בהירים, כמעט לבנים. לפיכך נתפרשו הכתמים האלה במפת ארץ-ישראל הדרומית כשרידי סלעים סנוניים ואיאוקניים, המונחים מעל לגיר הטורוני-קנומאני. אבל סביבה זו נמצאת על גבי אחד הצירים הטקטוניים של רמון, בסמוך לאיזור השיא של הציר. מתוך שיקולים עיוניים עלה הספק, אם סנון ואיאוקן תחתון עשויים להימצא במסיבות טקטוניות כאלה, לפיכך הוחלט לבקר במיוחד באיזור זה, שהגישה אליו אינה קלה ביותר. והנה התברר, שהשטח הנראה בתצלום בגוון כהה הוא רמה קטנה, שנתכסתה חלוקי קוורצולית מגיל קנומאני, שנפלו עליה מן המורדות מסביב. שום עקבות של סלעים סנוניים או איאוקניים לא נתגלו בכל הסביבה.

אפשר היה להרבות עוד בדוגמאות. כולן מביאות אותנו למסקנה אחת. והיא: בשום מקום אין לפרש את מהותם של מחשופים מבודדים על-פי תצלומי-האוויר בלבד.

(e) טקטוניקה

כל גיאולוג-שדה יודע יפה, שפרטים טקטוניים מרובים נראים בשדה ביתר בירור ממרחק מסוים מאשר בהסתכלות קרובה מדי. ולפיכך אין תימה, שתצלומי-האוויר נוחים ביותר להבחנתן של תופעות טקטוניות, ובייחוד של מבנים גדולים, בין שהם קימוטים ובין שהם העתקים. לעתים קרובות הללו נראים בתצלום בצורה ברורה הרבה יותר משאפשר לראותם בשדה, וכמה מהם, המצויים בנגב, נתגלו למעשה על-ידי הסתכלות מתוך אווירון.

(1) תופעות קימוט

בכל אותם השטחים המרובים שבנגב, שצניחת השכבות קובעת את הצורות המורפולוגיות, אפשר לקבוע על-פי התצלום את צניחת השכבות ואת מגמתן. דוגמה לכך הציור 10. בחלקו העליון נראית הסידרה היוראסית הימית התחתונה בפסים בהירים וכהים לסירוגים, וצניחתה של סידרה זו לצפון-מערב בולטת ביותר. אותו ציור 10 מראה גם דוגמה אחרת, מסובכת יותר, מתחת למרכזו של התצלום נראה שטח שצבעו אפור-כהה וצורתו אליפטית בקירוב. החצים ב' מסמנים את מרכזו של איזור זה. עוקב אתה בתצלום משמאל לימין אחר צניחת השכבות, שאיזור זה עשוי מהן, אתה רואה שינוי דרוג בכיוון הצניחה

החשובים ביותר של תצלומי-האוויר בידי חוקר בעל ניסיון.

(d) זיהויים של מחשופים מבודדים

מחשופים מבודדים, פעמים הרבה הם נראים בתצלום-האוויר בדמות כתמים, שצבעיהם בהירים או כהים יותר מגוני התצורות שמסביב. וכאן צריך החוקר להיזהר שלא יפרש מחשופים אלה על סמך תצלומי-האוויר בלבד. נראה, שרוב הטעויות שנעשו בפירושה של תצלומי-האוויר יסודן באי-זהירות שנכשל בה הגיאולוג בנידון זה.

דוגמה לקשיים, הכרוכים בזיהויים של מחשופים מבודדים אלה, אנו מוצאים בציור 3. כאן נראה שטח נרחב, שבוטל בו מבנה של אדמות משובשות מובהקות, ואין ספק שיש לייחסו לתקופות המאסטרית והדאניון. באמצע שטח זה נראים שני כתמים שאין צורתם מסוימת. שעה שנתגלו לנו כתמים אלה בתצלומי האוויר בשלב ההכנה, נאמרו של סברות זיהויים: א) שהם "חלונות", שבהם חשפה האירוניה את הצור הקאמפאני שמתחת לשכבות הסביבה; ב) שהללו הם שרידים של צור מתקופת האיאוקן התחתון, המונח מעל לדאניון של הסביבה; ג) שכתמים אלה הן נקודות של התפרצות וולקאנית.

בדיקה בעזרת הסטיריאוסקופ הראתה, שכתמים כהים אלה יושבים על ראשי גבעות, ובה נתבטלה הסברה הראשונה. בשלב מאוחר יותר נחקר השטח בשדה והוברר, שכתמים אלה אף אינם שרידי צור איאוקני, ואף לא נקודות של התפרצויות-געש, אלא שהם קונגלומראט של חלוקי צור, השייך לסידרת חצבה (חוצב) מגיל ניאוגני. פתרון זה היה לא-צפוי, ולא יכולנו להעלותו על דעתנו תחילה.

יכול אתה לומר, שתצלום-האוויר עשוי היה להכשיל את החוקרים, אבל אלמלא הרמז שמצאו בו על התצורה הגיאולוגית המיוחדת שבמקום זה, אפשר שלא היו משגיחים בה והיו פוסחים עליה בשדה. ומשהובררה מציאותם של קונגלומראטים של חצבה באיזור זה, נתגלו בסביבה גם מחשופים אחרים של תצורה זו, כגון עורקים של אבני-חול, שלא נראו כלל בתצלומי-האוויר.

ועוד דוגמה אחת לקשיים שבזיהוי מחשופים מבודדים – הפעם משטח מכתש רמון. פירושו של שטח זה על-פי תצלומי-האוויר גרם לכמה מן הטעויות, שבאו במפה הגיאולוגית 1:250,000 של הנגב (ארץ-ישראל הדרומית). התצלומים מאיזור זה רובם מראים כתמים שחורים במספר רב, שכולם דומים זה לזה. חקירות בשדה העלו, שכל אחד מן הכתמים האלה יכול שישקף אחת מן התצורות הבאות: צור מגיל איאוקני או קאמפאני, קוורצולית טורונית או קנומאנית, בזלת, סלעים מאגמאטיים אינטרוזיביים, אבני-חול ברזיליות או קוורציות מתוך הסידרה הנובית. בשני התצלומים 9 ו-13 נראה חלק הצוק של מכתש רמון, ובשניהם שורה של כתמים שחורים, הנמצאים בפנים המכתש בריחוק שווה ממרגלות הצוק. שורת הכתמים שבציור 9 מציינת את הקילוח הבולתי הראשי של היורא העליון ביותר; קילוח זה נסתר במקומות רבים מתחת לחולות צעירים, ועל כן הוא נראה במחשופים בלתי-רצופים. מסיבה זו נתפרשו במפת ארץ-ישראל הדרומית

שקו ההעתק נראה בהן בבירור. למעשה צורת ההעתקים היא על-פי-רוב מסובכת הרבה יותר. דרך משל, ההעתק הראשי, הניתן בציור 8, מסומן במפה של ארץ-ישראל הדרומית כקו ישר, ואילו למעשה הקו הוא קעור כעין חצי עיגול, שחלק ממנו נראה בציור 8.

עתים גיאולוג-השדה, העוסק בהעתקים, מתלבט לקבוע, אם שני מחשופים או כמה מחשופים, שמתגלה בהם קו העתקים, שייכים להעתק אחד או לכמה העתקים שונים. שאלות מעין זו על הרוב הן מתיישבות מתוך מבט אחד על תצלום השטח. אבל אין קו העתקים בולטים בתצלומים תמיד בבהירות זו. מקום שסוגי הסלעים משני עברי ההעתק דומים בטבעם, יש להשתמש בשיטות אחרות, כדי לקבוע את מקום ההעתק בתצלום. עתים מראים שני הגושים, הנפרדים על-ידי העתק, צניחות שונות של שכבותיהם. שינוי פתאומי של הצניחה, לאורך קו ישר פחות או יותר, הנראה בתצלום, יש בו בית-מיחוש שהוא קו-העתק. דוגמה טובה נראית בציור 10 לאורך החצים ג'. כאן קו ישר, החוצה את הצילום כולו, מבדיל בין שני גושים שצניחתם שונה. הגוש הדרומי נטוי בחריפות כלפי דרום-דרום-מזרח, ואילו שכבותיו של הצפוני הן אופקיות למעשה. זהו חלק מן ההעתק הראשי של רמון. גיזרה אחרת של אותו העתק נראית בציור 16. גם כאן בולט קו ישר, החוצה את התצלום משמאל לימין, אלא שכאן אפשר לעמוד על קיום ההעתק על-פי תמונתו של צוק ההעתק (fault escarpment), החוצה באלכסון את התצורות הגיאולוגיות השונות. הוא שובר את הצוק הראשי של רמון וחודר הרחק לאיזור שמעבר למכתש.

כללו של דבר, כל מקום, שבוולט בתצלום קו ישר, החוצה את המבנים הגיאולוגיים, רמז הוא למציאותו של העתק. דרך משל, הקו ד' שבתצלום 10, המציין את העתק הבסיס של הטריאס במכתש רמון. בשעת עבודת השדה בשטח זה אירע לא פעם אחת, שלא נמצא שום רמז למציאותם של העתקים עד שלא נבדק השטח בתצלום. ורק משמצאנו רמז כלשהו בתצלום, עלתה בידנו להכיר את ההעתק גם בשדה.

דוגמה מובהקת לקו טקטוני, המעיד על עצמו בתצלום על-ידי צורתו הישרה, אתה מוצא בציור 11. כאן נראה נחל ישר-הילוך, החוצה את התצלום כולו, וצורתו עושה ניגוד בולט להילוכם המתפתל של שאר הנחלים של הסביבה. משהרגשנו בכך, מיד עלתה בנו ההשערה, שנחל זה עוקב אחר קו בעל אופי טקטוני. חקירה בשדה אישרה הנחה זו בכולה. נחל זה נמשך למעשה מהלך 6 ק"מ לאורך צלקת טקטונית. לאורך קו זה נטויות השכבות משני צדי הנחל בזווית חדה משני הצדדים, בדומה לצלעות של האות V, ואף-על-פי-כן לא חלה כאן תווה אנכית של השכבות. אין צריך לומר שפרטים אלה, לא היה אפשר לעמוד עליהם מתוך הצילום בלבד.

(3) השימוש בתצלומי-האוויר לאחר סיום עבודת-השדה

ערכם של תצלומי האוויר בעבודה הגיאולוגית אינו פוסק עם גמר עבודת-השדה. משחזרת אל המעבדה אתה חייב למיין את הידיעות שנאספו בשדה, ולהשוותן ולסכמן. הצעד

מצפון-מערב דרך צפון עד לכיוון מזרח. יכול אתה להבחין בדרגות-המשנה השונות של סידרת-סלעים זו על-פי גוניהן השונים בתצלום, וכל דרגה ודרגה מראה אותו שינוי בכיוון הצניחה של שכבותיה. זוהי תמונה ברורה של כיפה טקטונית, שהיא המערבית בשלוש הכיפות האנטיקלינאליות, הנמצאות בגרעינו של האנטיקלינוריון של רמון. בכל נידון כגון זה אפשר לברר על-פי התצלום את המבנה הטקטוני בשלמותו.

עד כאן התצלומים, שהשכבות הבודדות ניכרות בהם. אבל גם אותם התצלומים שאין בהם כדי הבחנה בשכבות הבודדות, גדושים ידיעות על המבנה הטקטוני. כאן אנו מבססים את הברור על חלוקת התצורות השונות בשטח, והיא שיטה הידועה יפה מתוך קריאתן של מפות גיאולוגיות רגילות. הציור 15 מראה שטח בעל צורה אליפטית, שצבעו אפור-כהה וקל לפרשו כטורון-קנומאן. שטח זה מוקף מכל צדדיו מסכית לבנה-שחורה, שהיא אופיינית לסלעי הסנון. אף נראים על גבי הצבע האפור של הטורון-קנומאן כמה כתמים בודדים של סלעים קאמפאניים כהים. ודאי שתמונה זו משקפת כיפה טקטונית. למעשה היא מראה אחד הקימורים האופייניים של הנגב המזרחי, שבגרעינים חשופות התצורות הקנומאניות-טורוניות ולצדיהן מונח הסאנטון, ואילו הצור הקאמפאני מונח באופן דיסקורדנטי בגרעין על גבי הטורון.

שיטה זו של פירוש המבנים הגיאולוגיים מוגבלת היא, ואין שימושה יפה במקום שהמבנה הטקטוני אינו בולט עוד בצורת הנוף או שהתבליט החריף של השטח מטשטש לחלוטין את הקווים הטקטוניים הראשיים.

(2) העתקים

מקום ששתי סידרות סלעים שטבעם שונה, מובאות במגע על-ידי העתק, בולט קו ההעתק בתצלום, כפי שאנו מוצאים בציור 8. בחלקו השמאלי של הציור נראה איזור אפור-בהיר, הגובל מימינו בשטח כהה לאורך קו חריף, עקום וחלק. אין לשער תמונה ברורה יותר של קו העתק. בהירות התמונה באה כאן מן הניגוד הרב שבין סידרות הסלעים. התצורה האפורה-בהירה מצד שמאל עשויה סלעי גיר ודולומיט מתקופת הקנומאן, ואילו האיזור הכהה בתצלום עשוי סלעים קריסטאליניים פרי-קאמבריים. באותו תצלום, בפינה השמאלית התחתונה של הציור, נראה איזור כהה שני העשוי גם הוא סלעים פרי-קאמבריים. נמצא שהגוש הקנומאני הוא, לפי מבנהו הטקטוני, בקצה טקטונית משוקעת. בקצה דומה, קטנה מזו, נראית בצדו הימני של אותו התצלום.

יתר על כן, התצלום לא זו בלבד שהוא מראה את מציאותו של ההעתק אלא הוא גם משקף את צורתו המדויקת ואת מצבו בשטח של מישור ההעתק. על-ידי בדיקת קו ההעתק והשוואתו אל הנחלים השונים החוצים אותו, ניתן למפותו על-פי התצלום בדיוק מרובה משל הבדיקה בשדה; שהרי בשדה אזורי העתקים נסתרים במקומות רבים תחת סחף או צרורות.

מפות הרבה מראות העתקים בצורת קווים ישרים. לכלל קווים אלה הגיעו מתוך חיבורן של אותן הנקודות שבשטח.

מסקנות

אין מקום לספק כלשהו, שהמצאת תצלומי-האוויר סיפקה לגיאולוג מכשיר-חקירה חדש בעל כוח גדול. ברוב הבחינות תצלומי-האוויר עולים ביעילותם על מפות טופוגרפיות רגילות, ופעמים הרבה הם כמעט מפה גיאולוגית אלא שהיא טעונה מפתח.

ודאי שתצלומי-האוויר כפופות להגבלות, ככל שיטת-עבודה. הפירושים שהם זקוקים להם מסובכים, ומניחים מקום לספק. אין בדיקת התצלומים יכולה לבוא במקום עבודת-השדה הרגילה, דרושה מידה גדושה של ניסיון, כדי להסיק מן התצלום מסקנות שבוודאות מספקת.

שאלות הרבה המעניינות את הגיאולוג, התצלום אינו משיב עליהן אלא תשובות חלקיות בלבד, ושאלות אחרות אין בכוחו להשיב עליהן כלל. עוביין של התצורות השונות, אופיים הליתולוגי של הסלעים, שינויי הפאציאס ופרטים מינרלוגיים ופאליאונטולוגיים — לגבי כל הבעיות הללו אין תצלום-האוויר אומר כלום.

עם כל ההגבלות האלה יש לראות בתצלום-האוויר כלי-עבודה רב-תועלת בידי הגיאולוג, אלא שלעתים הוא גם כלי מסוכן.

המכריע בנידון זה הוא הכנת המפה הגיאולוגית הסופית. אם מפות טופוגרפיות של השטח הן בנמצא, העברתם של הגבולות הגיאולוגיים מן התצלום אל המפה אינה נתקלת בקשיים. אם אין מפות כאלו, ובנגב על הרוב לא היו מפות, יש צורך להכנין על-פי מדידות פוטוגראמטריות של תצלומי האוויר, תוך שקידה מיוחדת על סילוק העיוותים השכיחים בתצלום. לצורך זה נוח מאוד, אם הגבולות הגיאולוגיים סומנו כבר בתוך התצלום המקורי, שהרי עם כל תיקון של התצלום מצד הנתונים הטופוגרפיים אפשר לתקן גם את הגבולות הגיאולוגיים, וממילא נקבל מפה גיאולוגית מתוקנת.

כשבאים לסכם את תוצאות עבודת השדה במעבדה, מתגלות בהכרח נקודות רבות, שלא הובהרו די צרכן. שאלות אופייניות מסוג זה הן: אם נמצא גבול גיאולוגי מסוים לרגלי מורד או בפסגתו? אם חוצה העתק מסוים את הנחל או הוא התרפא קודם לכן? אם מחשוף מיוחד מבודד או הוא קשור אל התצורה העיקרית? קצתן של שאלות אלו מתיישבות מתוך בדיקה סטט-ריאוסקופית של תצלומי-האוויר. אבל כמה פעמים השתמשנו בשיטת-ביקורת יעילה יותר, טסנו מעל לשטח המסופק באווי-רון בעל מהירות קטנה, והתצלום בידנו. רק לעתים רחוקות מאוד היה צורך לבקר את השטח בשנית לאחר טיסות אלו.

[לוחות V—XII למאמרו של
י. בן-תור].

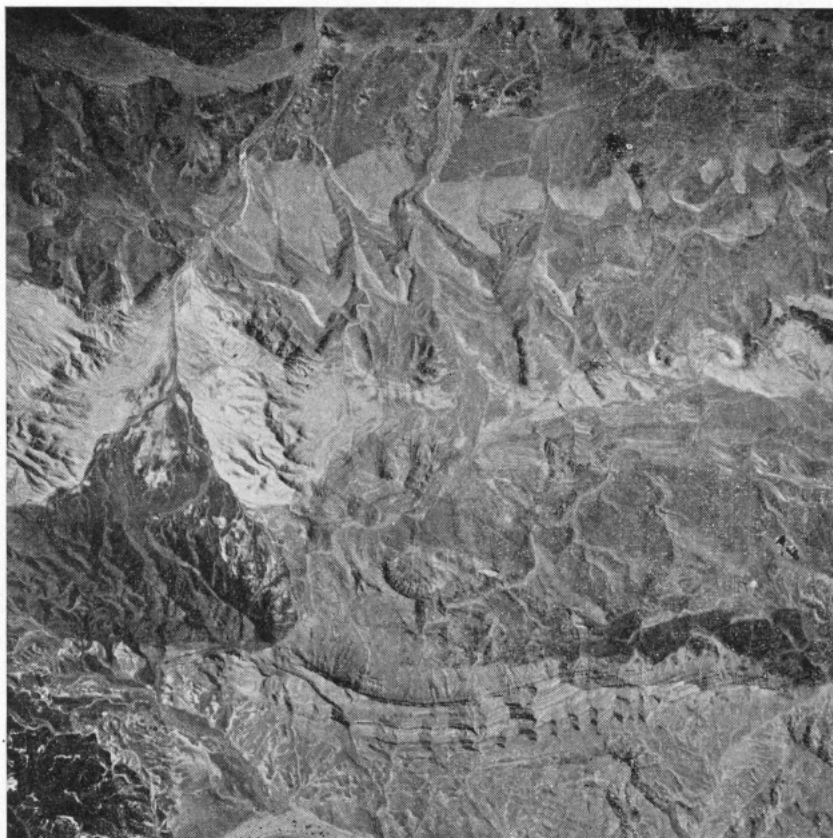


ציור 1

מסכית אילנית (דנדריתית)
של נחלים, אופיינית לאי-
אוקן התחתון.
איור באר-שבע

ציור 2

- א: רצועות בהירות וכהות
לסירוגין: גיר של היורא
התיכוני.
- ב: שטח שחור: הסדן המא-
גמתי של ארישה.
- ג: קו העתק: דרומית ממנו
צוק, בנוי שכבות הקנומאן
והטורון הנטויות בזווית
חדה, צפונית ממנו שכבות
טריאסיות כמעט אופקיות.
- ד: הרצועה הלבנה: סידרת
הגבס של הטריאס העליון.
- ה: שטח אפור-כהה: כיפה אנ-
טיקלינאלית, בנויה בעיקר
שכבות-גיר של הטריאס
התיכוני: השטח הכהה
בגבולו הדרומי: סלים
טראכטיים הנחתכים על
ידי העתק.
- ו: שטח אפור בינוני: אבן-
חול גובית של היורא
התיכוני.
- נחל רמון



ו - >

א - >

ד - >

ב - >

ג - >

ו - <

א - <

ד - <

ה - <

ג - <

א
|
ב

א
|
ה

א
|
ו

א
|
ו

א →



ציור 3

מורפולוגיה של קרקעות משובשות (badlands):
מאסטריכט-דאניון.
א"א: כתמים כהים, שהם קונגלומראטים ניאוגיניים
(סידרת חצבה), המונחים באי-התאמה על פסגות
הגבעות.

שטח חתרורים

א
|
ו

א
|
ו

← א



→ ב

ציור 4

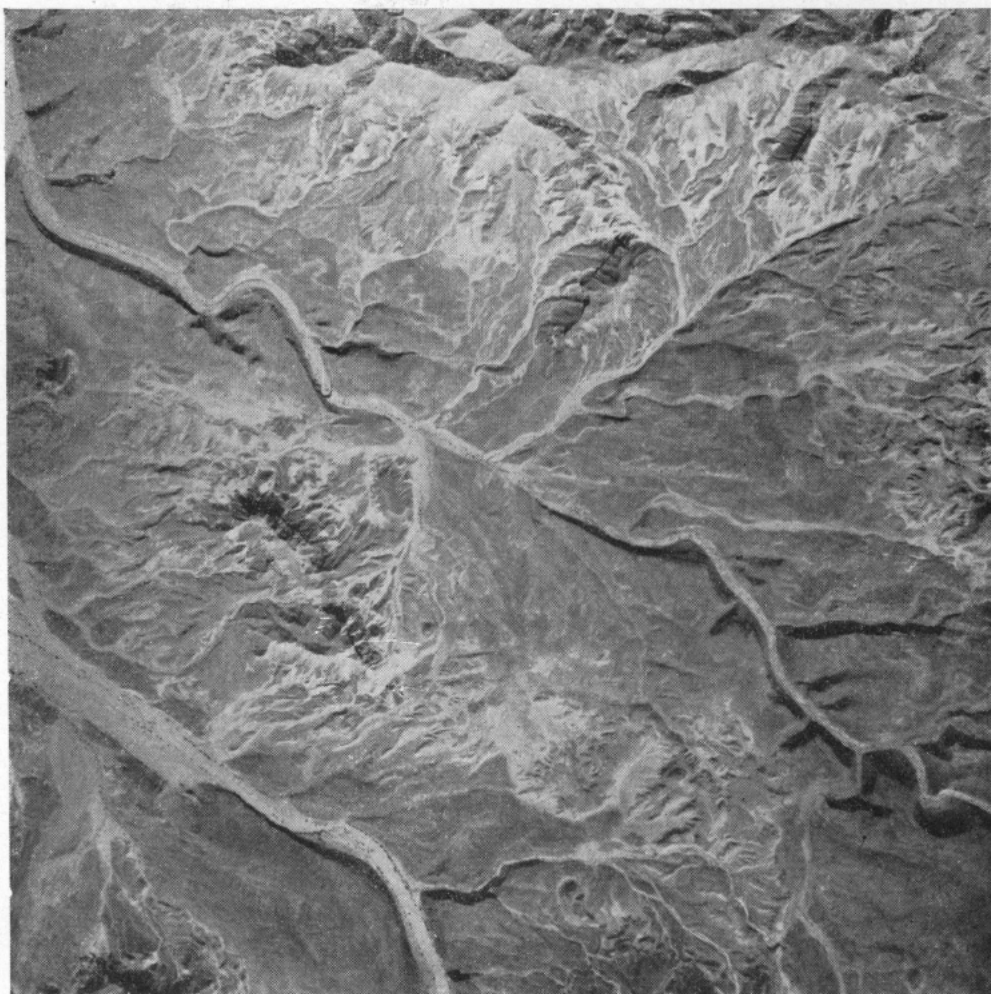
נוף קנומאני:
א"א ו"ב: מפלים באפיקי נחל
סביבת נחל רמון

א
|
ו

→ N

N
↓

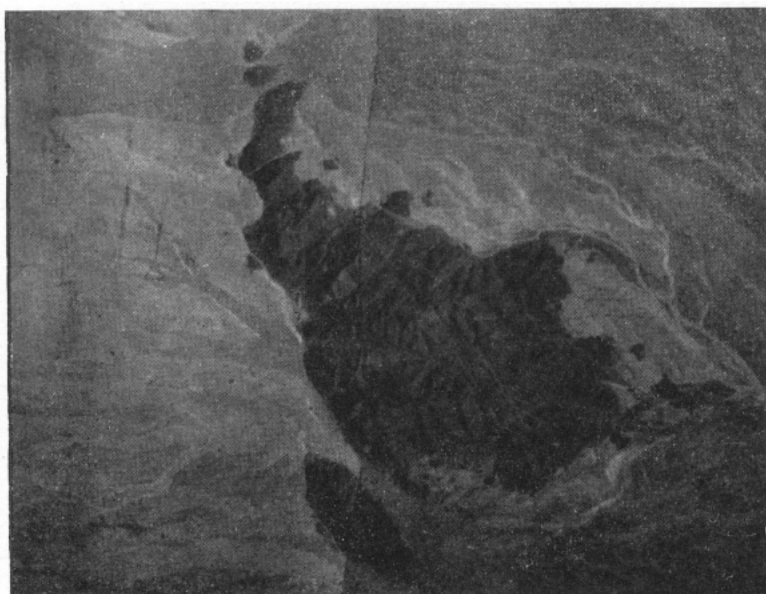
↗



ציור 5

נוף טורוני;
א"א: מפל באפיק נחל
סביבות נחל רמון

↑
צ



ציור 6

השטח הכהה הוא מחשוף מבודד של סלעים
מאגמתיים פריי-קאמבריים. השטח הבהיר יותר
מסביב מכוסה צורות צעירים.
גוש אבו דריב, איזור אילת

א
|
vג
|
vז
|
v

ציור 7

א-א: חלק של צוק הרמון
בגובה של 250 מ' :
מערבית ממנו : שטח
קנומאני, המצוין על-
ידי נחלים גדולים הזור-
מים בקשתות רחבות.
מזרחית ממנו : אבן-
חול נובית מתקופת
הקרטיקון התחתון, ב-
שבו התפתחו נחלים
קטנים רבים שהילוכם
מראה פיתולים דקים.
ב-ב: שטח שחור: חלק של
קילוחי הלבנות מתקופת
היורה העליון.
ג-ג: פסים אפורים: שכבות
ימיות של היורה
העליון
נחל רמון

א
|
אב
|
בג
|
גא
|
vז
|
v

א-א

ציור 8

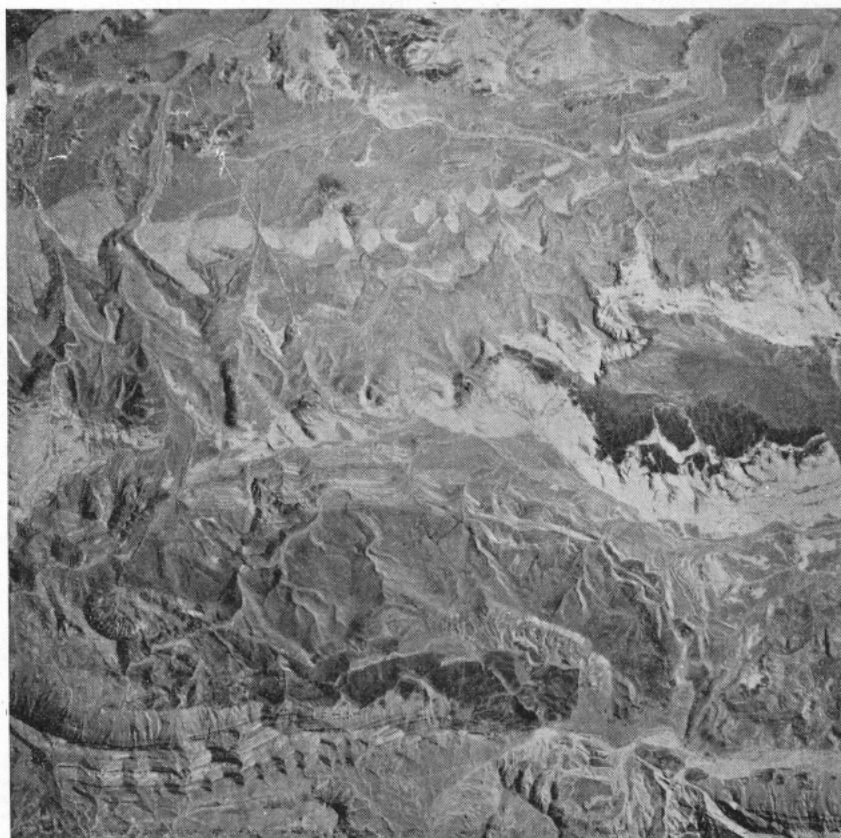
שטחים כהים (במזרח ובפינה הדרום-
מערבית): סלעים מאגמטיים פרי-קאמ-
בריים; השטח האפור בהיר: בקעה
טקטונית בנויה גיר קנומאני; האיזור
האפור הקטן א-א: בקעה קנומאנית קטנה.
איזור אילת



ציור 9

בחלקו המזרחי של הצי-
לום נראה חלק של צוק
הרמון ומעליו שטח קנור
מאני ; יתר השטחים
בנויים אבן-חול גובית.
השורות של כתמים כהים:
אבן-חול ברזילית.

נחל רמון



ציור 10

ה- א: שטח בנוי גבס,
מכוסה צורות.
ב: כיפה אנטיקלינא-
לית בנוייה שכבות
טריאסיות. צניחות
השכבות, המופנות
בהתמדה חוצה
נראות בבירור.
ג: קו העתק.
ד: העתק.
ה: לאקולית בתוך
סידרת הגבס.
מרכז מכתש רמון

ד ->

ב ->

ג ->

א
ב

א
ה

א
ה



ב

X

ב ←



ציור 11

נוף קנומאני אוסייני.

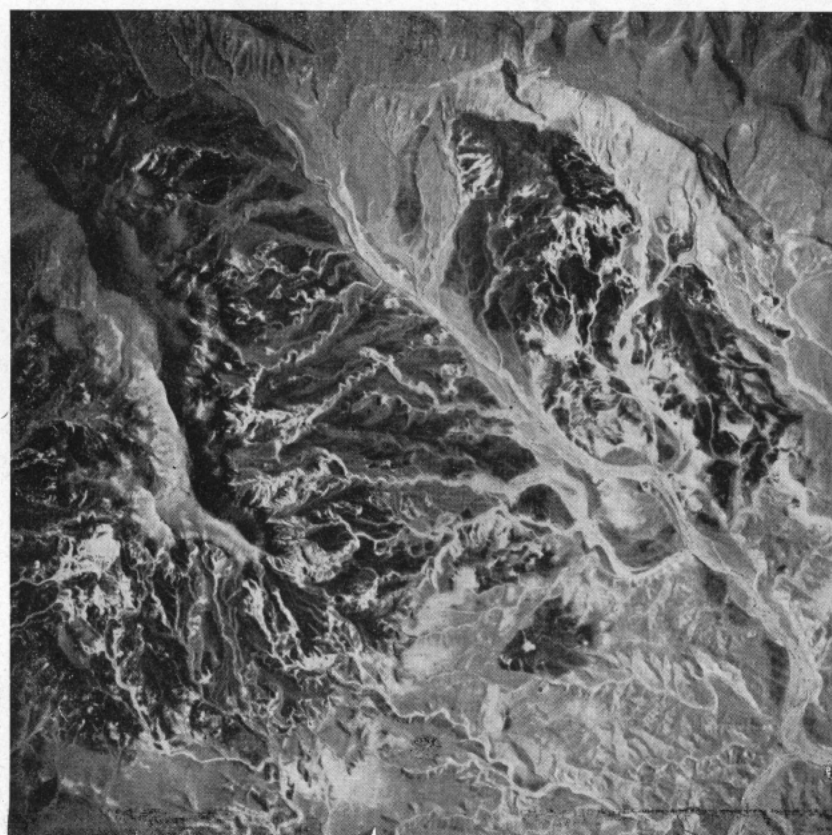
א"א : שרידים לוחיים של תצורת הסורון.

ב"ב : נחל הזורם לאורך קו טקטוני.

א ←

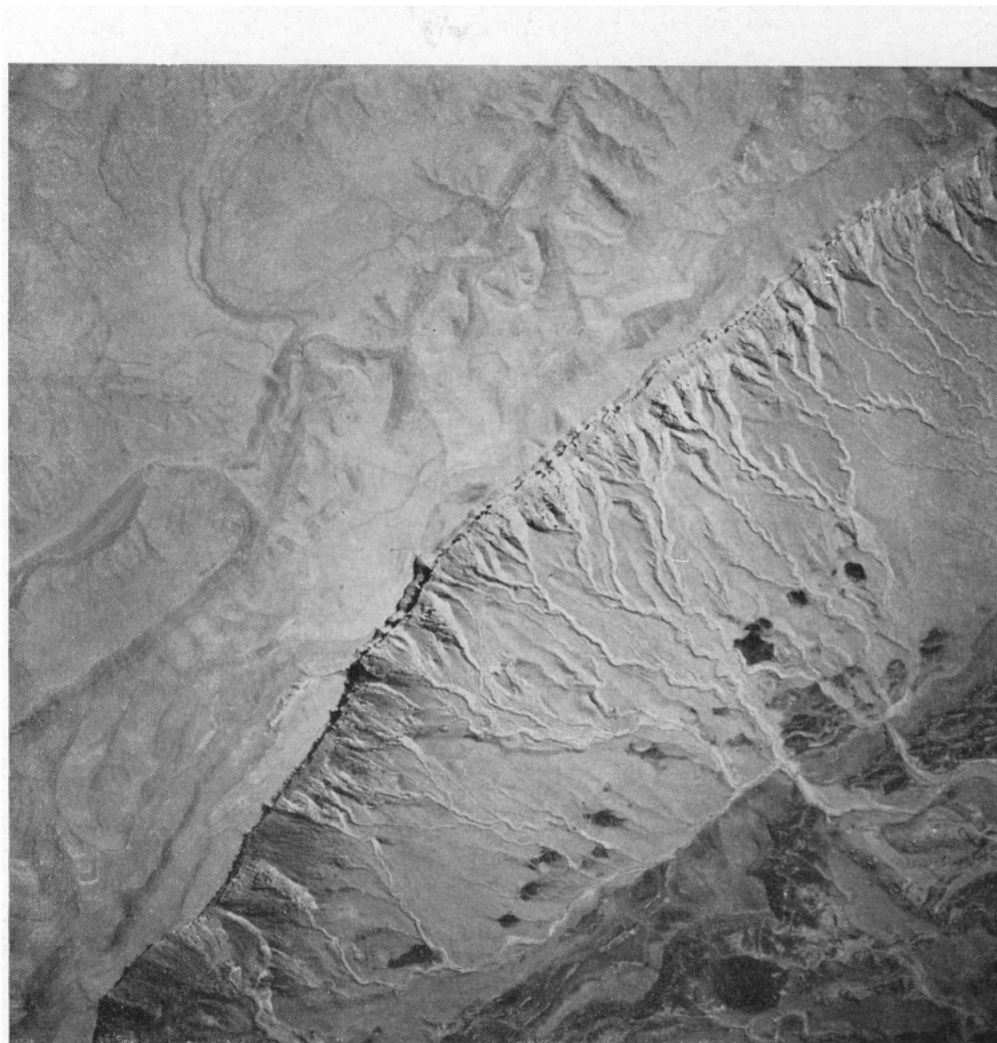
קרוב לנחל רמון

א
↑



ציור 12

שטח שחור-לבן : קירטון
סאנטוני (לבן) ומעליו צור
קאמפאני (שחור); הקירטון
חשוף בעיקר לאורך אפיקי
הנחלים הקטנים.
קרוב לנחל רמון



ציור 13

ביאור השטח כמו בציור 7. מלבד זה :
א"א : שורה של כתמים שחורים : מחשופים בודדים של הקילות הבולתי היוראסי. נחל רמון

ב
|
ו



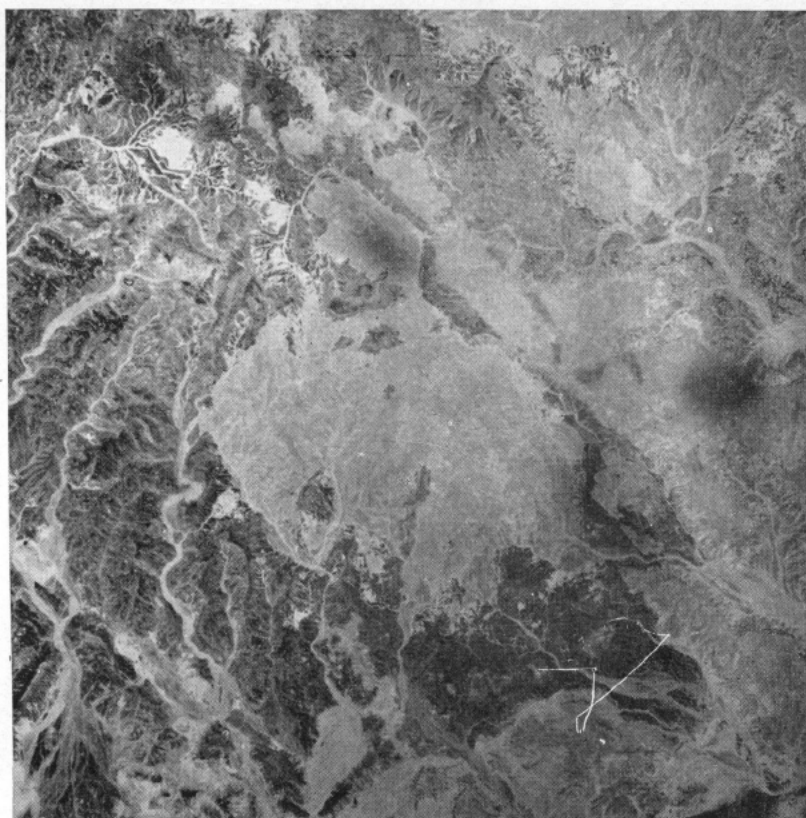
ציור 14

הפינה הצפון-מזרחית של מכתש רמון. בתוכו : אבן-חול גובית ; מחוצה לו : קנומאן. הכתמים הכהים א"א, ב"ב : קוורצולית בתוך הקנומאן.

א
|
א

→ ב

← א



ציור 15

השטח האליפטי בצבע אפור-בהיר: כיפה
טקטונית בגובה גיר טורוני; הכיפה מוקפת
סידרת הקירטון והצור הסינונית (שטח
לבן-שחור).
שרידים של צור קאמפאני רבוצים ישר
על גבי הטורון.
ראש אל גייב



ציור 16

הפינה המערבית של מכתש רמון. השטחים הכהים בתוכו: קילוחי בזלת יוראסיים. מחוץ למכתש: בצפון ובמערבו:
קנומאן (אפור-בהיר); בדרומו: סידרת הקירטון והצור הסינונית (שחור-לבן). א-א: העתק רמון.
[לוחות XII-V למאמרו של י. בן-חור]