

# לא כל כך פשוט להתבונן: כיצד יכולים תלמידים ללמוד להתבונן באופן מדעי?

תלמידים לומדים על העולם הסובב אותם מתוך התבוננות יום-יומית, אבל מתקשים לבצע התבוננות באופן שיטתי ומדעי. מדוע קשה לתלמידים להתבונן באופן מדעי? מה מאפיין את ההתבוננות של תלמידים צעירים בחיי היום-יום ואיך אפשר ללמד אותם להתבונן באופן מדעי?

על פי המאמר:

Eberbach Catherine and Crowley Kevin (2009): From everyday to Scientific Observation: How Children Learn to Observe the Biologist's World. Review of Educational Research 79(1): 39-68.

עיבוד: גילת בריל



תצפית היא הבסיס של תהליך החקר. מדענים מבצעים תצפיות ומתבוננים בתופעות על מנת להעלות השערות ולאסוף נתונים אמיינים (Mayr, 1997). לכאורה, נראה שהתבוננות בתופעה היא משימה קלה יחסית: תופעות מתרחשות, אפשר להתבונן בהן ולתעד אותן. בנוסף, אנו רואים תופעות בתדירות יום-יומית, ואין ספק שתלמידים לומדים באמצעות התבוננות על העולם הסובב אותם (Rogoff et al., 2003).

אולם התבוננות באופן מדעי דורשת יותר מאשר קליטה באמצעות חוש הראיה בלבד. כדי להמחיש זאת, נשתמש בדוגמה של [תכנית לימודים של מרכז הצפרות בקורנל](#) (Trumbull, Bonney, & Grudens-Schuck, 2005), סמוך לעיר איתקה שבמדינת ניו-יורק, בצפון ארצות הברית. בתכנית זו תלמידים בחטיבת הביניים מתבקשים להניח מתקני האכלה לציפורים ברחבי בית הספר ולצפות בציפורים באופן שיטתי כחלק מתהליך של חקר מדעי. העיסוק בחקר ואיסוף המידע מהתצפיות היו אמורים ליצור ידע חדש. אולם, כאשר נבדקו הידע המדעי של התלמידים בתחומי התוכן של תכנית הלימודים ומיומנויות החקר שלהם, נמצא שלא היה בהן שינוי. מה השתבש?

בדיקת תכנית הלימודים העלתה, שהמפתחים הניחו שצפייה בציפורים היא עניין פשוט, ולא התייחסו למורכבות של עריכת תצפיות באופן מדעי. התלמידים התקשו לזהות ציפורים בתעופה, להבדיל בין פרטים כאשר ספרו את מספר הציפורים באוכלוסיה ולשאול שאלות על הציפורים שבהן צפו (Trumbull et al., 2005). כמו כן, הם הציבו את מתקני האכלה במקומות שהיו נוחים עבורם לצפייה בציפורים ולא בהכרח במקומות שימשכו ציפורים להגיע ולאכול. לעומתם, חוקרי





לתרבות יש השפעה משמעותית על ההתבוננות. לדוגמה, יש תרבויות שבהן הילדים מצופים להשתתף בפעילויות טקסיות או מבצעיות של החברה שבה הם חיים, להתבונן ולבצע בו-בזמן כמה התנהגויות ומשימות. לעומת זאת, בתרבויות שבהן ההתבוננות אינה אמצעי הלמידה המרכזי של ילדים, כמו בתרבויות מערביות, ילדים מצופים לבצע פעילויות בנפרד, זו אחר זו, שלב אחר שלב, ולהסתמך על הסברים, ולא בהכרח על התבוננות. לדוגמה, בפעילות משותפת של הורים וילדים במעמד הביניים בארצות הברית נמצא שהורים חשו צורך להסביר לילדיהם את התופעות שהם רואים (Ash, 2003).

(Ford, 2005). ללא קישורים אלה, התלמידים שהציבו מתקני האכלה לציפורים ראו תופעות באופן שטחי, ולא הצליחו להתבונן בהן לעומק.

היבט שלישי הוא, שלמרות שתלמידים מתמחים בתצפיות באופן יום-יומי וכך לומדים על העולם הסובב אותם (Meltzoff, & Kuhl, 1999), הם זקוקים לתמיכה כדי להתבונן באופן מדעי ושיטתי. לדוגמה, מעט מידע לגבי היכן כדאי להציב את מתקני האכלה יכול היה לשפר את התצפיות.

לבסוף, ההיבט הרביעי הוא שמומחים בתחום יודעים לזהות דגמים מורכבים שעוזרים להם להעניק משמעות לתצפית (Ericsson, 1996), בדומה למומחים במשחק שחמט שיכולים לדמיין מהלכים רבים ומצבים רבים של כלי המשחק על לוח השחמט. חוקרי ציפורים מחפשים ללא הרף סימנים המבדילים בין פרטים באוכלוסיית ציפורים, בעוד התלמידים התקשו אפילו להבדיל בין מיני ציפורים שונים.

## הדרך שבה תלמידים צעירים מתבוננים: מאפייני ההתבוננות היום-יומית

כל אלה מצביעים על כך, שההתבוננות באופן מדעי שונה מההתבוננות היום-יומית. מה מאפיין את ההתבוננות של תלמידים צעירים בחיי היום-יום? ביצענו סקירת ספרות הכוללת מאמרים מתחומים שונים: פסיכולוגיה חינוכית, הוראת המדעים ומחקרים מדעיים, וחילקנו את הידוע על המאפיינים של ההתבוננות של תלמידים צעירים בהקשרים מדעיים לשלושה נושאים: יכולת הבחנה (noticing), צפיות (expectations) ותיעוד (records).

### יכולת הבחנה

היכולת להבחין היא הבסיס לכל התבוננות. מדענים מומחים מבחינים במימדים רבים של תופעה: מימדים מקרוסקופיים ומיקרוסקופיים, חדש לעומת מוכר, מוחשי ומופשט. לעומתם, תלמידים מבחינים לרוב בגודל יחיד, במה שקרוב אליהם פיזית,

•••



## התבוננות באופן מדעי דורשת יותר מאשר קליטה באמצעות חוש הראיה בלבד

ובמה שמוכר להם (Gopnik, 1996, p. 492). לדוגמה, תלמידים צעירים צעירים נוטים להבחין בנוף המוכר להם בעצמים נפרדים: גזע עץ, בועות בורם מים של נחל, ואינם נוטים להבחין בנופים רחוקים מהם או במספר עצמים בנוף שיש ביניהם קשר כלשהו (Hart, 1979).

הנטייה להבחין במאפיינים ובאירועים יחידים, באופן מנותק מעדויות אחרות שקיימות בתופעה, מאפיינת גם תלמידים בוגרים יותר, שמתקשים להבחין באוכלוסיות (אלא יותר בפרטים מתוך האוכלוסיה), בפיזור בשטח או בפיזור באוכלוסיה, בסדר היררכי או במערכות מורכבות. לדוגמה: תלמידי כיתה ז' העלו לרוב הבדל מורפולוגי יחיד כאשר השוו בין שני דגים (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004), ותלמידי כיתה ה' התמקדו באופן ספונטני בצמחים יחידים ולא באוכלוסיות של צמחים כאשר עקבו אחר גדילה של צמחים (Lehrer & Schauble, 2004). בדומה לכך, כאשר תלמידים עוסקים במודלים, הם לרוב מעלים רק חלק מהגורמים שאפשר לשנות על מנת לבדוק את המודל (Klahr, Fay, & Dunbar, 1993). לכן, פעמים רבות כאשר תלמידים נדרשים להביא עדויות התומכות בהשערה מסוימת הם מתקשים לעשות זאת, ומצליחים להעלות עדות יחידה בלבד.

מדוע הם עושים זאת? אפשר היה לטעון, שתלמידים צעירים חושבים באופן קונקרטי, ומתמקדים במאפיינים בולטים של תופעות משום שהם לא יכולים להבין קשרים מופשטים וסיבתיים שאינם נראים לעין. אילו טענה זו היתה נכונה, צריך היה לצפות לכך שעם הגיל, תשומת הלב של תלמידים צעירים תינתן גם למאפיינים מופשטים. אולם העדויות ממחקרים מראות שאין זה המקרה. לדוגמה, ניתוח הסברים של תלמידים מראה שהם

מדגישים תהליכים ביולוגיים מוחשיים כמו התנהגות וגדילה, ואינם עוסקים בתהליכים מופשטים, ללא קשר אם התלמידים הם בבית ספר יסודי, חטיבת ביניים או חטיבה עליונה (Abrams, Southerland, & Cummins, 2001). כמו כן, מבוגרים ותלמידים התייחסו למרכיבים המבניים של אקווריום כמערכת מחקר, ולא לתפקודם כחלק ממערכת דינאמית מורכבת (Hmelo-Silver, Marathe, & Liu, 2007). מחקרים כאלה מראים, שלא מדובר רק בהסבר התפתחותי להתבוננות במרכיבים באופן מנותק.

הסבר אפשרי נוסף יכול להיות, שתלמידים צעירים מתמקדים במרכיבים שנראים לעין ובאופן מנותק זה מזה משום שחסר להם ידע בתחום התוכן (Johnson & Mervis, 1997). לדוגמה, במחקר שבו ילדים בני חמש בעלי ידע מועט ביותר בציפורי חוף השוו בין מינים שונים של ציפורים, הם התייחסו למרכיבים מורפולוגיים בלבד. עם הזמן, ככל שהידע שלהם על ציפורי חוף התפתח, התפתחה גם יכולתם להבחין להשוות ולקשר בין מרכיבים פיזיים והתנהגותיים רבים, ולמצוא מאפיינים של ציפורי חוף שמבדילים ביניהם לבין ציפורים אחרות (Johnson and Mervis, 1994). לעומת זאת, במחקר שעסק בפעילות חקר על חסילונים של תלמידים בני 12 ללא ידע בתחום, התלמידים, כצפוי, התייחסו למרכיבים הבולטים ביותר כמו צבע והתנהגות של החסילונים, אבל לא קישרו ביניהם לבין הזווית, לדוגמה. למרות העניין הרב שיצרה הפעילות, התלמידים רשמו אירועים מנותקים זה מזה, וכללו בהם מרכיבים רלוונטיים ובלתי רלוונטיים (Tomkins & Tunnicliffe, 2001). כלומר, כאשר תלמידים צעירים נחשפים לפעילות ללא ידע בתחום, התבוננות בתופעה הופכת לכלי בלתי מתאים לאיסוף נתונים במקום כלי המעודד חשיבת חקר.

### ציפיות

חשיפה חוזרת ונשנית לתופעות יוצרת אצל תלמידים צעירים את הציפייה לכך שהן יתרחשו. לדוגמה, עם רדת הלילה נצפה







להבחין בירח ובכוכבים כפי שקורה בכל לילה. פעוט מצפה לכך שצעצועים מסוימים יצופו באמבטיה ואחרים ישקעו. הקשר בין תופעה לציפייה להתרחשות של תופעה יכול להיות גם בכיוון הפוך: הציפייה של תלמידים צעירים יכולה להשפיע על יכולת ההבחנה שלהם. כלומר, תלמידים צעירים יכולים לעיתים להבחין רק במה שהם מצפים לראות ומתאים לניסיון חייהם, ומתעלמים ממה שסותר את הידוע להם והבלתי צפוי (Klayman and Ha, 1987). לדוגמה, הציפייה לראות את הירח זורח רק בלילה גורמת לכך שתלמידים צעירים מתקשים להבחין בירח הזורח גם ביום (Vosniadou & Brewer, 1994). דוגמה אחרת מגיעה מניסוי שבו התבקשו תלמידים צעירים לאזן אבני משחק בצורות גיאומטריות שלרוב מרכז הכובד שלהן נמצא במרכז הצורה. כאשר נתנו לתלמידים הצעירים צורות כאלה שמרכז הכובד שלהן שונה באופן שלא נראה לעין, התלמידים המשיכו שוב ושוב לאזן את הצורות על פי מרכז הכובד הצפוי, ולא על פי מרכז הכובד בפועל למרות כישלונות חוזרים ונשנים (Karniloff-Smith and Inhelder, 1975).

קושי נוסף ביכולת ההבחנה של תלמידים צעירים נובע מהמורכבות של התופעות היום-יומיות. ללא ידע או ניסיון מספיקים, קשה מאוד למתבוננים בתופעות מורכבות להבחין במרכיבים השונים ולבודד מתוכם את המרכיבים הרלוונטיים.

השילוב בין מורכבות התופעות לבין הציפייה להתרחשותן של תופעות והנטייה לחפש עדויות מאשרות לניסיון קודם מקשה על תלמידים להתבונן באופן מדעי בתצפית שלהם.

## יכולת לתעד

תלמידים צעירים אינם נלהבים לתעד את התצפיות שלהם, אפילו כאשר הם מתלהבים מהתצפית עצמה (Ford, 2005). הספרות מוצפת בדוגמאות שבהן תלמידים צעירים ערכו תצפיות מבלי לתעד אותן. לדוגמה, בפעילות משותפת הורים וילדים של ניסוי מדעי ילדים בני 9-12 תיעדו 5% מהנתונים, בעוד שההורים תיעדו 77% מהנתונים (Gleason & Schauble, 2000). תלמידים צעירים אינם נוטים לתעד באופן ספונטני: לא לשם תכנון ניסוי ולא לשם הסקת מסקנות, אלא נוטים לפרש תוצאות ולהסיק מסקנות על פי הזיכרון שלהם מהתצפית או על פי הנחיית המבוגר הנוכח (Gleason & Schauble, 2000). גם כאשר תלמידים צעירים מתעדים את התצפיות שלהם, התייעוד נעשה בדרך שאינה עוזרת להם לפתח ידע מדעי או ליצור הסברים: המידע המתועד הוא חלקי או לא רלוונטי

למטרת הניסוי (Schauble, 1990). במצב כזה, התייעוד אינו מסייע לתלמידים הצעירים ליצור הקשרים לרעיונות מרכזיים או להסברים מדעיים.

מדוע לתלמידים צעירים קשה כל כך לתעד באופן שיאפשר הסברים מדעיים? מחקרים מראים שיש גורם התפתחותי (מיומנות המתפתחת עם הגיל) המשפיע על היכולת לתעד, שכן תלמידים צעירים מתקשים במיומנות זו יותר מתלמידים בוגרים. היכולת לתעד מתפתחת עם הגיל והופכת להיות מדויקת יותר ומורכבת יותר (Triona & Klahr, 2006), מה גם שתלמידים בוגרים מודעים יותר לצורך לתעד על מנת לתמוך ביכולת הזיכרון שלהם.

אולם, קימות עדויות לכך, שהקושי לתעד קיים גם אצל אנשים בוגרים (Duschl et al., 2007), ולכן אי אפשר להסתפק בהסבר התפתחותי. גם כאן יש עדויות לכך שידע מועט בתחום התוכן מקשה על היכולת לתעד (Roth & McGinn, 1998), ובנוסף גם מטרת התייעוד וההוראות כיצד לתעד לא ברורות (Trumbull et al., 2005).

**למרות שילדים מתמחים  
בתצפיות באופן יום-יומי וכך  
לומדים על העולם הסובב אותם,  
הם זקוקים לתמיכה כדי להתבונן  
באופן מדעי ושיטתי**

## איך אפשר ללמד להתבונן באופן מדעי?

יכולת ההבחנה של תלמידים צעירים, הצפיות שיש להם מהתצפית והיכולת שלהם לתעד אותה משפיעים על מיומנות ההתבוננות שלהם. בבואם עם המיומנות הזו לתצפיות עם הקשר מדעי, אחד הגורמים המרכזיים החסרים להם הוא ידע בתחום התוכן. לעומתם, כאשר מדענים מבצעים תצפיות אותנטיות במחקר המדעי, התצפית נערכת בהקשר של ידע נרחב בתחום התוכן וביישומים שלו (Norris, 1985).

האם אפשר ללמד תלמידים להתבונן באופן דומה יותר למדענים? בהחלט, אבל יש לדאוג להכנה מתאימה: לא רק הרחבת הידע בתחום התוכן, אלא גם סביבת למידה תומכת וכלים מתאימים ללמידה של מיומנות התצפית המדעית.

על מנת להציע דרך ללמד תלמידים לערוך תצפית מדעית, יצרנו מסגרת של שלבי למידה המבוססת על שלושת ההיבטים שציינו: יכולת התבוננות, ציפיות ויכולת לתעד. הרעיון המרכזי הוא, שבמעבר מהתבוננות יום-יומית שבה התלמידים מומחים, לעריכת תצפית באופן מדעי כמו מדענים מומחים בתחום, ישנם שלבי ביניים. זיהוי שלבי הביניים האלה ותרגומם לפעילויות למידה יכולים לסייע במעבר לעריכת תצפית מדעית. לשם המחשה למה הכוונה, נביא דוגמאות הקשורות ליכולת הבחנה וליכולת לתעד תצפיות בציפורים.

## חשיפה חוזרת ונשנית לתופעות יוצרת אצל ילדים את הציפייה לכך שהן יתרחשו

## יכולת הבחנה

תלמידים רגילים להבחין במספר מועט של מאפיינים של ציפורים. מאפיינים אלה יכולים להיות מאפיינים מקובלים (מקור חד ומעוקל) או בלתי מקובלים במדע (שירה עצובה). חלקם של מאפיינים אלה מנותקים מידע על ציפורים. המטרה היא להביא אותם ליכולת של מדענים להסיק על התנהגות הציפור ועל התפקוד שלה מתיאור מאפיינים מורפולוגיים מקובלים במדע. שלב הביניים המוצע כאן הוא, לאפשר לתלמידים להשתמש במאפיינים שנקבעו על ידי אחרים, לדוגמה במגדיר ציפורים (בד בבד עם הנחיות כיצד להשתמש במגדיר) ואחר כך לקשר בין המאפיינים לבין התפקוד וההתנהגות של הציפורים.

## כאשר ילדים נחשפים לפעילות ללא ידע בתחום, התבוננות בתופעה הופכת לכלי בלתי מתאים לאיסוף נתונים במקום כלי המעודד חשיבת חקר

על מנת למנף את שלב הביניים, רצוי להפעיל גישות הוראה ולמידה שמעודדות הרחבה של ההבחנות בתצפית ויכולת לשפר אותן. דוגמה אפשרית אחת היא עבודה שיתופית, שבה תלמידים משתפים תלמידים אחרים במאפיינים שבהם הבחינו בתצפיות ובקריטריונים שהעלו בעקבות התצפית. שיתוף כזה מעשיר את ההבחנות שנעשו, מאפשר לראות מאפיינים בדרך השונה מהפירוש האישי של כל אחד, מאפשר ביקורת עמיתים ותיקון בהתאם לביקורת (Lehrer and Schauble, 2004). גישה נוספת היא שאילת שאלות על התצפית (Smith and Reiser,)





(2005) שיוצרת שרשרת של תהליכים עוקבים: תצפית, שאילת שאלות, בחינה מחדש וחיידוד של ההבחנות בתצפית שבוצעה ובתצפיות נוספות. עבודה שיתופית ושאילת שאלות הן דוגמה לשיח מדעי שחיוני על מנת להתבונן באופן מדעי, שמאפיין גם את דרך העבודה בפועל של מדענים.

## יכולת לתעד

כאמור, תלמידים אינם נוטים באופן עצמאי לתעד תצפיות. מדענים, לעומת זאת מתעדים את התצפיות שלהם באמצעות ייצוגים מגוונים ומארגנים את התיעוד בסטנדרטים המקובלים בתחום המחקר שלהם. בשלב הביניים אפשר שתלמידים יקבלו הנחיות כיצד נהוג לתעד בתחום המחקר המתאים לתצפית וינסו להשתמש בייצוגים שונים.

שלושה תנאים יכולים לגרום לכך שתלמידים יבצעו בעצמם תיעוד של תצפיות: א. כאשר התיעוד מסייע באופן ברור לפתור בעיה שמעניינת את התלמיד ב. אם הדרך שבה התלמידים משתמשים בתיעוד היא שלהם ולא מוכתבת על ידי אחרים ג. בתיווך על ידי בעלי ניסיון (Lehrer and Schauble, 2004). לכן, בשלב המעבר רצוי לעשות שימוש בבעיות אותנטיות שיכולות לגייס את התלמידים וליצור צורך לתעד את התצפיות. כמו כן, כדי שדרך תיעוד התצפיות תיקבע על ידי התלמידים, יש ללמד אותם את הכלים המקובלים לתיעוד בתחום. כך אפשר להגדיל את הרפרטואר של דרכי התיעוד שמהם יוכלו התלמידים לבחור ולהחליט בעצמם כיצד לתעד. עזרה מקצועית מבעלי ניסיון יכולה להיות באמצעות המורה או אמצעי עזר חיצוני מקצועי כמו מגדיר.

## סיכום

עריכת תצפית מדעית היא מיומנות שנראית לכאורה פשוטה, במיוחד משום שתלמידים מבצעים תצפיות באופן יום-יומי. אולם קיימים הבדלים בין מיומנות התצפית היום-יומית ומיומנות התצפית המדעית, שלעיתים מעכבים את יכולתם של תלמידים לבצע תצפיות בהקשרים מדעיים. הכרת המאפיינים של תצפית יום-יומית ומאפיינים של תצפית מדעית מאפשרת ליצור מסגרת חשיבה להגדרת שלבי ביניים ופיתוח סביבות למידה מתאימות שבעזרתם אפשר יהיה ללמד את התלמידים להתבונן באופן מדעי.

## מקורות

Abrams, E., Southerland, S., & Cummins, C. (2001). The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23, 1271-1281.

Chinn, C.A., & Malhotra, B.A. (2001). Epistemologically authentic scientific reasoning. In K. Crowley, C.D. Schunn, & T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from ev-*

eryday, classroom, and professional settings (pp.351-392). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Duschl, R.A., Schweingruber, H.A., & Shouse, A.W. (Eds.). (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades k-8*. Washington, DC: National Academies Press.

Ericsson, K.A. (Ed.) (1996). *The road to excellence: the acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports and games*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Ford, D. (2005). The Challenges of observing geologically: Third graders' descriptions of rock and mineral properties. *Science Education*, 89, 276-295.

Gleason, M., & Schauble, L. (2000). Parents' assistance of their children's scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 17, 343-378.

Gopnik, A. (1996). The scientist as a child. *Philosophy of Science*, 63, 485-514.

Hart, R. (1979). *Children's experience of place*. New York: Irvington Publishers, Inc.

Hmelo-Silver, C.E., & Pfeffer, M.G. (2004). Comparing expert and novice understanding of complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28, 127-138.

Hmelo-Silver, E.C., Marathe, S. & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 16, 307-331.

Johnson, K.E., & Mervis, C.B. (1994). Microgenetic analysis of first steps in children's acquisition of expertise on shorebirds. *Developmental Psychology*, 30, 418-435.

Johnson, K.E., & Mervis, C.B. (1997). Effects of varying levels of expertise on the basic level of categorization. *Journal of experimental Psychology*, 126, 248-277.

•••



- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating knowledge. *Journal of Experimental Psychology*, 49, 31-57.
- Smith, B.K., & Reiser, B.J. (2005). Explaining behavior through observational investigation and theory articulation. *Journal of the Learning Sciences*, 14, 315-360.
- Tomkins, S., & Tunnicliffe, S.D. (2001). Looking for ideas: Observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking scientific investigations. *International Journal of Science Education*, 23, 791-813.
- Trino, L.M., & Klahr, D. (2006). A new framework for understanding how young children create external representations for puzzles and problems. In E. Teubal, J. Dockrell, & L. Tolchinsky (Eds.), *Notational Knowledge: Development and historical perspectives* (pp 159-178). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Trumbull, D., Bonney, R., & Grundes-Schuch, N. (2005). Developing materials to promote inquiry: Lessons learned. *Science Education*, 89, 1-22.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. (1975). "If you want to get ahead, get a theory". *Cognition*, 3, 195-212.
- Klahr, D., Fay, A.L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific exploration: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 24, 111-146.
- Klayman, J., & Ha, Y.W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2004). Modeling variation through distribution. *American Educational Research Journal*, 41, 635-679.
- Mayr, E. (1997). *This is biology*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Norris, S.P. (1985). The philosophical basis for observation in science and science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 817-833.
- Rogoff, B., Paradise, R., Mejia Arauz, R., Correa-Chavez, M., & Angelillo, C. (2003). Firsthand learning through intent participation. *Annual Review of Psychology*, 54, 175-203.
- Roth, W.M., & McGinn, M.K. (1998). Inscription: Toward a theory of representing as social practice. *Review of Educational Research*, 68, 35-59.

