

# אפידמיולוגיה מרחבית ושימוש במדע הנתונים לחקר תהליכים אפידמיולוגיים - מקרי

## מבחן

### ליאור בלנק<sup>1</sup> ויפית כהן<sup>2</sup>

<sup>1</sup> מחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים, מרכז וולקני, ראשון לציון

<sup>2</sup> הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון

## תקציר

התפשטות פתוגנים במערכות חקלאיות בזמן ומרחב היא תהליך מורכב ודינמי. ההטרונות בפיזור המחלה קיימת בקנה מידה אזורי וגם בקנה המידה של החלקה הבודדת. האופי ההטרוגני של המשתנים הביזיים והאביוטיים, המניעים את הדינמיקה של הפגעים, קשה למדידה ולכימות וכולל מגוון של סקאלות מרחביות. בשנים האחרונות פותחו טכנולוגיות לאיסוף ולשיתוף של נתונים. כמו כן השתכללו מערכות מידע גיאוגרפיות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים. פרק זה עוסק בחקר הגורמים המשפיעים על הדינמיקה של פתוגנים בזמן ובמרחב ומתמקד בשלושה פתוגנים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי.

אופן הציטוט: בלנק ל' וכהן י' (2021) אפידמיולוגיה מרחבית ושימוש במדע הנתונים לחקר תהליכים אפידמיולוגיים - מקרי מבחן בספר תובנות חדשות במחלות צמחים, בעריכת אלעד י', דומברובסקי א', מנוליס-ששון ש' ועזרא ד', הוצאת המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים.  
<https://volcaniarchive.agri.gov.il/skn/tu/e51955>



## מבוא

התפשטות פתוגנים במערכות חקלאיות בזמן ומרחב היא תהליך מורכב ודינמי. לרוב פיזור הפגעים במרחב ומידת הנזק שהם גורמים אינה הומוגנית (Blank et al., 2016; Mendelsohn et al., 2018). ההטרונות בפיזור המחלה קיימת בקנה מידה אזורי וגם בקנה המידה של החלקה הבודדת (Ben-Hamo et al., 2020). ההטרונות נובעת מכך שגורמים רבים, וקשרי הגומלין שבניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב, בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה, משך רטיבות, גשם, רוח וכו') (Firester et al., 2019; Tsrer et al., 2020; Blank et al., 2018) וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי, מעורבות של אורגניזמים אחרים כמו וקטורים המעבירים ווירוסים וכו') (Krasnov et al., 2019). אופיים הדינמי של תהליכים אפידמיולוגיים מציב אתגר ייחודי למחקר ולהתמודדות עם הפתוגן, היות ובמערכות אלה מתקיימות אינטראקציות מגוונות (שלא כולן ידועות) ומעורבים בהן משתנים סביבתיים רבים, שהשפעות שלהם אינן בהכרח לינאריות (Metz et al., 2012). יתר על כן, האופי ההטרוגני של המשתנים הביזיים והאביוטיים

המניעים את הדינמיקה של הפגעים קשה למדידה ולכימות וכוללת מגוון של סקאלות מרחביות (Levin 1992; Thébaud et al., 2006; Ben-Hamo et al., 2020). כתוצאה מכך, עד כה, היו מעט ניסיונות לבחון את הדינמיקה של פתוגנים בקנה מידה אזורי במרחב ובזמן.

בשנים האחרונות עם התפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים, פיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) משוכללות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים, נעשה במחקר החקלאי שימוש בגישה שקבלה את הכינוי 'אקואינפורמטיקה' (Rosenheim and Gratton, 2017). על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה (ובכלל זה נתונים גיאוגרפיים). הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפתחות הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינמיקה של התפתחות הפגעים בזמן ובמרחב ב"עולם האמיתי".

השפעה רבה נודעת להיבט המרחבי, מבנה הנוף והרכבו על התפוצה והמאפיינים האפידמיולוגיים של מזיקים וגורמים פתולוגיים במערכות חקלאיות (Plantegenest et al., 2007). נופים חקלאיים מאופיינים בנוף הטרוגני ופסיפס מרחבי שכולל מגוון שטחים גידול חקלאיים, ובמגוון שימושי וכיסויי קרקע שונים (Bennett et al., 2006), אזורים טבעיים פתוחים, יערות, אזורי מרעה, חורש, מקווי מים שונים, וכן שימושי קרקע אנתרופוגנים כגון כבישים, אזורים עירוניים, שבילים, פארקים, ועוד (Bennett et al., 2006). בנוסף, הנוף החקלאי עובר שינויים בזמן (שינוי עונות, שינוי מחזורי חיים של הצמחים (פנלוגיה וכדומה)) ושינויים במרחב (כגון, שינויים בכיסוי הקרקע הנובע ממחזורי גידולים (crop-rotation), שינויים כתוצאה מפעילות אנתרופוגניות, ועוד). שינויים אלו עשויים להשפיע על דינמיקה של הפגעים במרחב ובזמן (Bennett et al., 2006). בגלל הבעייתיות של חקר המערכת הכוללת, ממשק ההדברה של פגעים מתבסס כיום על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת וזה הבסיס לשיטת ה'הדברה המשולבת' (IPM או ICM).

ממשק הדברה מתואם בכל חלקות הגידול באזור, מכונה 'ממשק הדברה אזורי' (Area-Wide ICM) ומאפשר להתמודד עם הפגעים טוב יותר מאשר ממשק הדברה המתבצע ברמת החלקה הבודדת (Vreysen et al., 2007). ממשק הדברה אזורי חיוני במיוחד במקרים בהם הפגעים מופצים למרחק או שהם רב-פונדקאים ובאזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. פרק זה עוסק בחקר הגורמים המשפיעים על הדינמיקה של פתוגנים בזמן ובמרחב ומתמקד בשלושה פתוגנים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי: האוואמיצט *Phytophthora infestans* המחולל את מחלת הכימסון בתפוח-אדמה ובעגבנייה (פרק מודל מרחבי עיתי); הפטרייה *Erysiphe necator* המחוללת את קימחון הגפן (פרק דינמיקה של התפשטות), והפטרייה *Plenodomus tracheipuilus* המחוללת את מחלת המל-סקו בהדרים (פרק קימחון בזמן ובמרחב).

### סיכום שלוש דוגמאות

הפיזור של פגעים במרחב החקלאי ומידת הנזק שהם גורמים אינם הומוגניים (Blank et al., 2016, 2019; Ben-Hamo et al., 2020; Blank et al., 2016; Firester et al., 2018; Goldshtein et al., 2020; Sokolsky et al., 2013). גורמים רבים, וקשרי הגומלין שביניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים

בזמן ובמרחב. עד לשנים האחרונות מחקרים בתחום הגנת הצומח התבססו על איסוף מידע באופן ידני, מחקר במעבדה וביצוע ניסויים מבוקרים בהם נבחנו מספר קטן של טיפולים לשם הסקת מסקנות. בגלל מורכבות המערכות הביולוגיות והמספר הרב של הגורמים העשויים להשפיע על הפגעים ועל חומרת פגיעתם, לא ניתן תמיד להגדיר בניסויים מבוקרים את החשיבות של גורם בדיד זה או אחר ולהגיע למסקנה מהימנה לגבי חשיבותו מפני שהשפעתו עשויה להיות תלויה בגורמים נוספים שלא נכללו בניסויים. יתרה מכך, ניסויים מבוקרים עשויים להניב ממצאים שהם אמנם נכונים אך חלקיים מאחר והם לא מייצגים את תנאי הגידול המסחריים. דרך אפשרית להתגבר על בעיה מחקרית זו היא להתמקד במערכת הטבעית-חקלאית הכוללת. זאת, על ידי איסוף נתונים כמותיים המבטאים את התהליכים המתרחשים במערכת המשקית וניתוחם בכלים מתאימים. גישה זו התפתחה בשנים האחרונות הודות להתפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים, פיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ונגישות גדלה לתוצרים של חישה מרחוק (לדוגמה מלוויינים, מטוסים ומרחפנים) ומקרוב (לדוגמה מחיישנים בקרקע או על כלים חקלאיים). על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובסביבתה הקרובה. הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על תפוסת הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינאמיקה של הפגעים בזמן ובמרחב (Rosenheim and Gratton 2017).

התמקדנו בשלושה פתוגנים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. ההשערה שעמדה בבסיס המחקרים האלו היא שההפצה/תנועה של פגעים במרחב מושפעת מגורמים מקומיים, המצויים בתוך החלקה, ומגורמים חיצוניים, הנמצאים בסביבת החלקה. בנוסף, אנו מניחים שפגעים בעלי אופי שונה מושפעים באופן שונה מהסביבה (Avelino et al., 2012) (פרקי אפידמיולוגיה מרחבית).

כדי לפתח עקרונות כלליים לגבי דרך השימוש וצורת היישום של המימד המרחבי-עיתי בעת פיתוח גישות של ממשק הדברה משולבת אזורית, בחנו את החשיבות שיש לגורמים שונים המאפיינים את החלקה ואת סביבתה. עבור כל אחד מפגעי המודל ניתחנו בשיטת האקואינפורמטיקה נתונים היסטוריים שנאספו מעשרות עד מאות חלקות גידול במשך מספר שנים.

לגישת המידע מספר יתרונות חשובים על פני הגישה האמפירית. ישנם תהליכים שאי אפשר לבחון בקנה מידה קטן (השפעות של שינויי אקלים, שימושי קרקע או טופוגרפיה על תפוצת מחלות ומזיקים) (Drenkhan et al., 2020). בנוסף, מחקר בגישת המידע מתבצע בחלקות מסחריות ולכן תוצאותיו רלוונטיות למערכת החקלאית והן זוכות לאמון של המגדלים. אך חשוב לזכור שאת הקשרים המתקבלים בגישת המידע יש לפרש בזהירות. מתאם בין משתנים לא מרמז על סיבתיות, גם כאשר מספר התצפיות גדול. לכן חשוב לבחון את התופעות ביחס להיפותזות מבוססות ובמידת האפשר לבחון בגישה אמפירית את התוצאות שאין להן תימוכין בתחום.

גישת המידע אינה גישה חדשה והיא תמשיך להתפתח ולהשתפר עם הזמן. למשל באופן איסוף הנתונים ובשיטות ניתוח מותאמות לבסיס נתונים גדולים עם אוטוקורלציות בזמן ובמרחב. מחקר חקלאי יישומי צריך לקחת בחשבון את היתרונות של גישת המידע ובהתאם לתכנן באופן מושכל את איסוף הנתונים בשדה, שילוב של מקורות מידע כמו חישה מרחוק, חיישנים שונים ומידע מטאורולוגי ובנוסף לתכנן את הניסויים המשלימים לגישה זו. מסגרת מחקרית כזו תהיה בעלת תועלת רבה ותאפשר לבסס מסקנות במגוון של סקאלות ולנסח

עקרונות לממשק חקלאי מצד אחד מותאם יותר לאזור הגידול ומצד שני למדויק יותר ברמת החלקה. היעד המרכזי בגישה זו היא אופטימיזציה של הממשק החקלאי והיא עשויה להוביל לצמצום השימוש בחומרי הדברה ואף לשיפור היבול בעקבות התמודדות טובה יותר עם הפגע.

## מבאות

- Avelino J., Romero-Gurdián A., Cruz-Cuellar H. F., and Declerck F. A. (2012) Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. *Ecological Applications* 22: 584–596.
- Drenkhan R., Ganley B., Martín-García J., Vahalík P., Adamson K., Adamčíková K., et al., (2020) Global geographic distribution and host range of *Fusarium circinatum*, the causal Agent of pine pitch canker. *Forests* 11: 724.
- Ben-Hamo M., Ezra D., Krasnov H. and Blank, L. (2020) Spatial and temporal dynamics of Mal Secco disease spread in lemon orchards in Israel. *Phytopathology* 110: 863-872.
- Bennett A. F., Radford J. Q. and Haslem A. (2006) Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments. *Biological Conservation* 133: 250–264.
- Blank L., Cohen Y., Borenstein M., Shulhani R., Lofthouse M., Sofer M., et al., (2016) Variables associated with severity of bacterial canker and wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato greenhouses. *Phytopathology* 106: 254–261.
- Blank L., Martín-García J., Bezos D., Vettraino A. M., Krasnov H., Lomba J. M., et al., (2019) Factors affecting the distribution of pine pitch canker in northern Spain. *Forests* 10: 305.
- Firester B. Shtienberg D. and Blank L. (2018) Modeling the spatio-temporal dynamics of *Phytophthora infestans* at a regional scale. *Plant Pathology* 67: 1552–1561.
- Goldshtein E., Cohen Y., Hetzroni A., Cohen Y. and Soroker V. (2020) The spatiotemporal dynamics and range expansion of the red palm weevil in Israel. *Journal of Pest Sciences* 93: 691-702.
- Krasnov H., Cohen Y., Goldshtein E., Mendelsohn O., Silberstein M., Gazit Y., et al., (2019) The effect of local and landscape variables on Mediterranean fruit fly dynamics in citrus orchards utilizing the ecoinformatics approach. *Journal of Pest Sciences* 92: 453–463.
- Levin S. A. (1992) The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943–1967.
- Mendelsohn O., Dayan T., Aidlin-Harari S., Silberstein M., Orlov V. and Blank L. (2018) Mediterranean fruit fly subplot hot spots prediction by experts' experience. *Journal of Applied Entomology* 142: 371–379.

- Metz M. R., Frangioso K. M., Wickland A. C., Meentemeyer R. K. and Rizzo D. M. (2012) An emergent disease causes directional changes in forest species composition in coastal California. *Ecosphere* 3: 1–23.
- Plantegenest M., Le May C. and Fabre F. (2007) Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface* 4: 963–972.
- Rosenheim J. A. and Gratton C. (2017) Ecoinformatics (big data) for agricultural entomology: pitfalls, progress, and promise. *Annual Review of Entomology* 62: 399–417.
- Sokolsky T., Cohen Y., Zahavi T., Sapir G. and Sharon R. (2013) Potential efficiency of grapevine leafroll disease management strategies using simulation and real spatio-temporal disease infection data. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19: 431-438.
- Thébaud G., Sauvion N., Chadø euf J., Dufils A. and Labonne G. (2006) Identifying risk factors for European stone fruit yellows from a survey. *Phytopathology* 96: 890–899.
- Tsrer L., Lebiush S., Hazanovsky M., Erlich O. and Blank L. (2020) Aerial dispersal of *Spongospora subterranea* sp. f. *subterranea*, the causal agent of potato powdery scab. *European Journal of Plant Pathology*. In Press.
- Vreysen M. J. B., Robinson A. S. and Hendrichs J. (2007) *Area-wide Integrated Pest Management (AW-IPM): Principles, Practice and Prospects*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.