



DOI: [10.71167/uaceg.2025.58S110](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.58S110)

Получена: 07.08.2025 г.

Приета: 20.08.2025 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГИС И БЛС ПРИ АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ЗЕМЕДЕЛСКИ КУЛТУРИ В СОФИЙСКА ОБЛАСТ

Ц. Атанасова-Евденова¹, Я. Липийска², А. Йорданов³

Ключови думи: БЛС, индексни изображения, пространствен анализ, ГИС

РЕЗИЮМЕ

В последните десетилетия бързото развитие на технологиите доведе до значителна интеграция на безпилотни летателни системи (БЛС) и дистанционни методи в селското стопанство. Чрез използването на индексни изображения, получени от БЛС, земеделските производители, учени и изследователи имат възможност за прецизен мониторинг на посеви, ранно откриване на стресови фактори и оптимизиране на добивите.

Настоящото изследване разглежда приложението на БЛС и вегетационни индекси на състоянието на растителността, с особен акцент върху земеделските култури като ечемик (*Hordeum vulgare* L.) и слънчоглед (*Helianthus annuus* L.).

Географските информационни системи (ГИС) играят ключова роля в интегрирането, интерпретацията и визуализацията на данни от дистанционно наблюдение, включително индексни изображения. В земеделието ГИС позволяват пространствен анализ на състоянието на културите чрез обработка на вегетационни индекси като NDVI, NDRE и NDRI.

Извършено е заснемане на земеделски земи в Софийска област чрез БЛС Mavic 3M. Като резултат от обработката са създадени индексни изображения, чрез които да се извърши анализ на състоянието на две земеделски култури – ечемик и слънчоглед. Резултатите показват потенциала на тези методи за бързо откриване на стресови фактори и оптимизиране на земеделските практики.

¹ Цветелина Атанасова-Евденова, гл. ас. д-р инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tsatanasova_fgs@uacg.bg

² Яна Липийска, гл. ас. д-р инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: yangelova_fgs@uacg.bg

³ Адриан Йорданов, ас. инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: a.yordanov_fgs@uacg.bg

1. Въведение

Използването на БЛС позволява събирането на висококачествени данни в реално време, които могат да бъдат анализирани чрез различни алгоритми и модели. Тези данни включват мултиспектрални изображения, които предоставят информация за физиологичните състояния на растенията, като хлорофилно съдържание, воден стрес и наличие на болести.

Вегетационните индекси, като нормиран разликов вегетационен индекс Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), са особено полезни за количествена оценка на тези параметри. Редица научни изследвания от последното десетилетие подчертават потенциала на БЛС и индексните изображения за мониторинг на земеделски култури [1]. В някои случаи [2] се използват мултиспектрални изображения с висока разделителна способност за предсказване на добива на царевица, като има извършени експерименти [3], в които се прилагат над 14 индекса в комбинация с машинно обучение за мониторинг на соя. Дори при малки стопанства в Африка [4] индексите NDVI и GNDVI, получени от БЛС, дават надеждна представа за състоянието на културите.

В България са проведени множество проучвания [5 – 8] върху царевица, слънчоглед и пшеница в района на Южна Добруджа, като демонстрират ефективността на NDVI, SAVI, EVI2 и други индекси при наблюдение на сезонни и пространствени промени в растителното здраве. В друго изследване [9] откриват силна корелация между NDVI и биомаса при слънчоглед, а също така и има направен критичен обзор [10] на над 20 индекса, използвани в различни агрокосистеми в Европа.

Едно от ключовите предимства на БЛС е тяхната способност да покриват средно големи площи за кратко време, което ги прави идеални за мащабни агрономически проучвания [11]. В комбинация с малкия размер на пиксела на изображенията позволява детайлен анализ на отделни растения или дори части от растенията. Това ниво на детайлност е трудно постижимо с традиционните сателитни изображения.

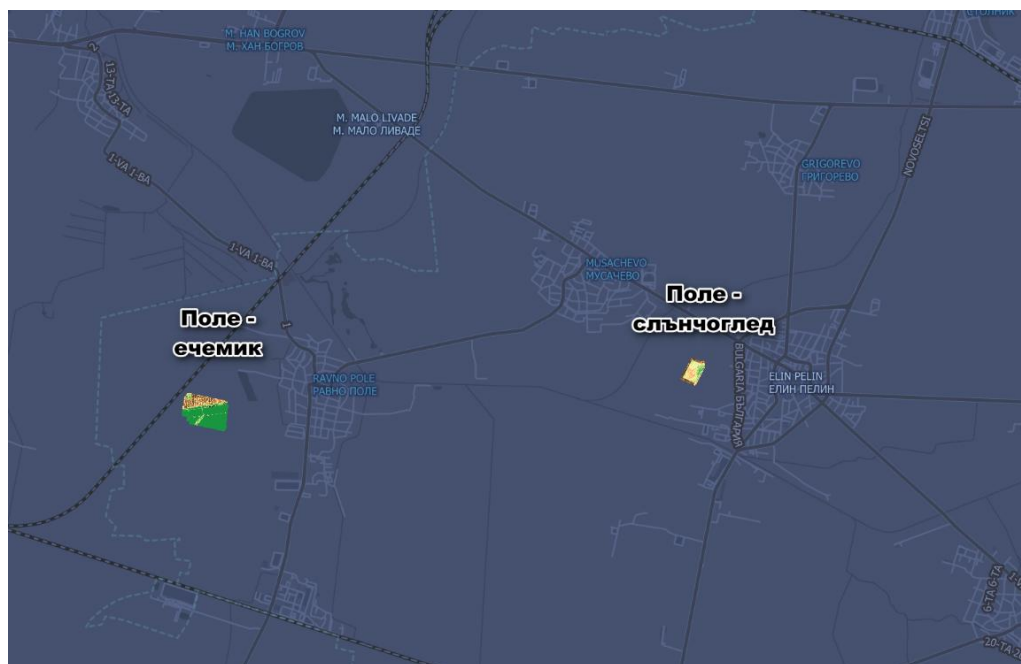
Прецизното земеделие се стреми към ефективно използване на ресурсите чрез минимизиране на разходите и максимизиране на добивите [12, 13]. С развитието на дистанционното наблюдение и навлизането на безпилотни летателни системи (БЛС) се отварят нови възможности за динамично, неинвазивно и икономически ефективно проследяване на здравето на растенията. Вегетационните индекси, особено Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) и Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), позволяват количествена оценка на хлорофила, фотосинтетична активност и биомаса на растенията.

Използването на дистанционно наблюдение чрез сателити [14, 15], БЛС и наземни сензори генерира огромно количество пространствени данни за целите на земеделието [16]. Без подходяща система за управление тези данни биха останали неизползвани. Най-подходящо е да се използват географските информационни системи (ГИС), които служат като платформи за интегриране на геопропространствена информация, обработка на вегетационни индекси и подпомагане на вземането на решения [17, 18]. Обработката на изображенията е извършена с помощта на Agisoft Metashape и QGIS, като резултатите са представени в среда на ГИС чрез пространствен анализ, включително клъстерен анализ и анализ на горещи точки (hotspot analysis).

2. Фотограмметрично заснемане и обработка

2.1. Изследвани обекти

За целите на анализа са избрани два земеделски участъка, разположени съответно в землището на гр. Елин Пелин (сечемик) и с. Равно поле (слънчоглед). И двата обекта са част от по-големи земеделски масиви и се намират в равнинна територия с типични за района агро-климатични условия.



Фиг. 1. Обекти на изследване

2.2. Заснемане с БЛС

Фотограмметричната обработка на мултиспектрални изображения, получени от БЛС, има няколко предизвикателства. Разделителната способност на мултиспектралните изображения е по-ниска в сравнение с тази на стандартните цифрови RGB камери. Полето на зрение (FOV) на мултиспектралните камери обикновено е по-тясно.

За целите на това изследване се извърши заснемане на земеделските култури чрез безпилотна летателна система DJI Mavic 3M, класифициран като БЛС с „роторни перки“. Летателният апарат се движи напълно автономно чрез предварително зададен летателен план от наземния контролер за управление.

БЛС е оборудвана с RGB и мултиспектрална камера. Мултиспектралният модул регистрира отражения в следните спектрални диапазони: Green (560 ± 16 nm), Red (650 ± 16 nm), Red Edge (730 ± 16 nm) и Near Infrared – NIR (860 ± 26 nm). За всеки полет е използван вграден сензор за слънчева радиация с цел радиометрично калибриране на изображенията.

- Ечемик (Елин Пелин): заснет на 30 юли 2025 г., 1540 изображения от 385 проекционни центъра при височина на полета 80 m.
- Слънчоглед (Равно поле): заснет на 27 юли 2025 г., 3924 изображения от 981 проекционни центъра при височина на полета 40 m.

2.3. Фотограметрична обработка

Технологичната схема, по която са обработени и двете полета, е аналогична. Предварителната обработка на данните от безпилотната летателна система, както и създаването на ортомозайка от изображенията, получени чрез тази технология, е извършена в програмния продукт Agisoft Metashape [19].

Калибриране на отражателната способност

Важна стъпка при анализа на агрикултури е да се приложи компенсация на светлината към регистрираните стойности на пикселите в изображенията. По този начин като стъпка на предварителна обработка трябва да се извърши калибриране на отражателната способност на мултиспектралните изображения. В това изследване за получаване на по-точни резултати от индекса, както и по-висока точност на данните, е използвано слънчевото излъчване от вградения сензор на използваната БЛС.

Технологична схема на обработка

За да могат да се създават индексни изображения от данните, добити чрез БЛС, е необходимо те да бъдат обработени и да бъде създадена ортомозайка.

Първата стъпка в обработката е вътрешното и относителното ориентиране на изображенията. Калибрирането на БЛС камера е извършено в средата на софтуерния продукт като са определени параметрите на камерата, както и систематичните грешки от изкривяване на обектива. Използвана е корелация за автоматично измерване на свързващите точки. Въз основа на тях се определят всички параметри на камерата: позиция, ориентация и вътрешна геометрия. В резултат на това е създаден рядък облак от точки за визуална оценка на ориентацията и застъпването на изображенията.

Във втората стъпка от работния процес е създаден плътен облак от точки. Този облак от точки е основата за последващата фотограметрична обработка, необходима за създаване на 3D модели и ортомозайки. На този етап се формират и дълбочинни карти. Те съдържат информация за проекционното отдалечение. Стойността на всеки пиксел съответства на разстоянието на този пиксел от проекционния център.

Следващата стъпка в обработката на данните от БЛС е формирането на мрежови модел. На този етап е създаден тримерен полигонален модел на обекта. Мрежата представлява геометрията на обекта.

На базата на генерирания плътен облак от точки е създаден цифров височинен модел (DEM).

Последната стъпка от работния процес е генерирането на ортомозайка. Ортофототрансформирането е извършено въз основа на височинния модел. Параметрите на получените фотограметрични продукти са показани в таблица 1.

Таблица 1. Параметри на обектите

	Поле ечемик	Поле слънчоглед
Цифров височинен модел с разделителна способност [cm/pix.]	7,5	3,0
Ортомозайка с разделителна способност [cm/pix.]	3,8	1,4
Площ [ha]	21,2	7,6

2.4. Получаване на индексни изображения

Нормализираният разликов вегетационен индекс (NDVI) се основава на силата и жизнеността на растителността на земната повърхност. NDVI се изчислява на базата на мултиспектрални изображения, като се анализират регистрираните стойности на интензитета в червения и близкия инфрачервен спектрален диапазон. Здравата растителност се характеризира с по-висока отразяваща способност при 0,7 μm .

Хлорофилът играе ключова роля за промяната на нивото на отражение в близкия инфрачервен диапазон, както и за определяне на жизнеността и гъстотата на растителността. По-високата фотосинтетична активност съответства на по-висока отразяваща способност в близкия инфрачервен диапазон. NDVI се базира на съотношението между близкия инфрачервен (NIR) и червения (Red) спектрален канал:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}, \quad (1)$$

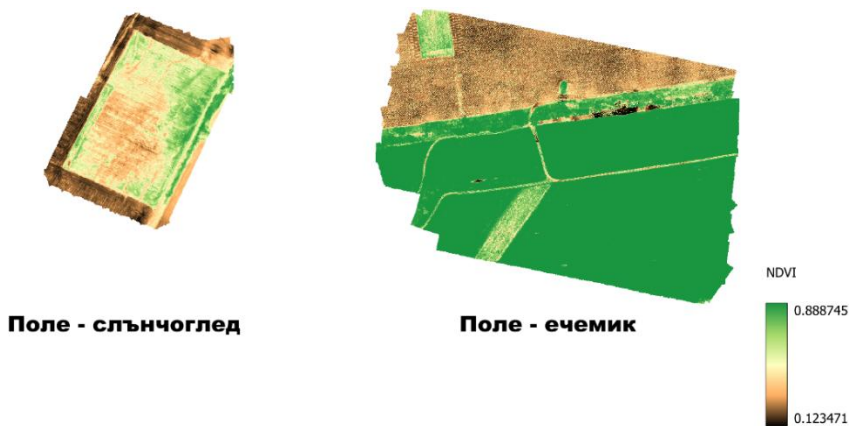
където RED съответства на червения диапазон на електромагнитния спектър (0,6 – 0,7 nm);

NIR съответства на близкия инфрачервен диапазон на електромагнитния спектър (0,75 – 1,5 nm).

NDVI обикновено варира от -1,0 до 1,0, като отрицателните стойности показват зони без растителност като сняг, облаци и вода, докато положителните стойности близо до нула (0,1 или по-малко) предполагат гола почва. Средните стойности (0,2 до 0,5) съответстват на рядка растителност. По-високите положителни стойности на NDVI (0,6 или повече) съответстват на гъста растителност. NDVI се свързва с индекса на листната площ (LAI), зелената биомаса, фотосинтетичната активност и процента на почвеното покритие.

NDVI обикновено се използва за мониторинг на растителната покривка, но има своите ограничения, особено в райони с гъста култура, където може да предостави неточни стойности на индекса поради атмосферни ефекти. Използването на данни от БЛС може да помогне за намаляване на атмосферните смущения.

Математическата формула за нормиран разликов вегетационен индекс (NDVI), разгледана в настоящата статия, е използвана за създаване на индексни изображения. На фиг. 2 са показани получените индексни изображения.



Фиг. 2. Индексни изображения

3. Пространствени анализи и моделиране в ГИС среда

Пространственият анализ в географска информационна система (ГИС) предлага инструменти за изследване на структурата и моделите в разпределението на здравословното състояние на растителността в земеделските полета.

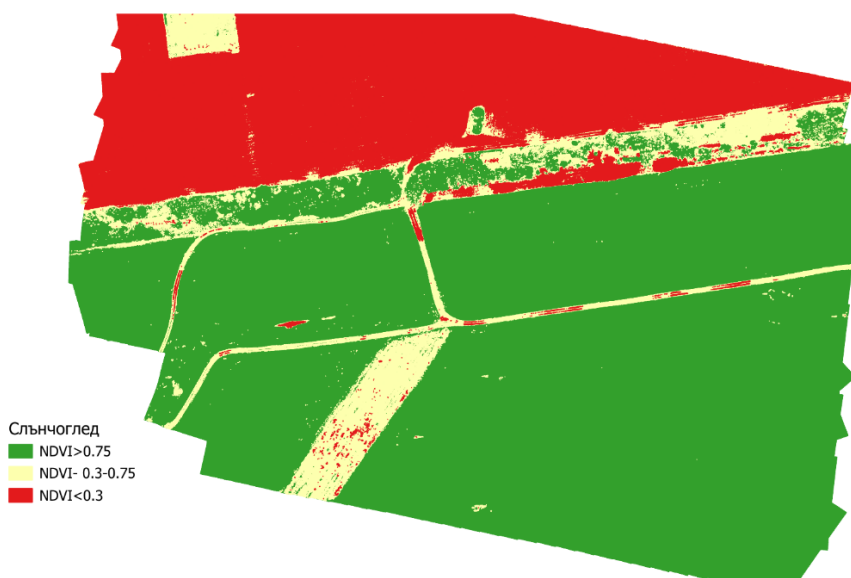
3.1. Клъстерен анализ на стойности на NDVI

Клъстерният анализ е мощен инструмент за пространствен анализ в ГИС, използван за групиране на пиксели или вектори със сходни спектрални или атрибутивни характеристики. В контекста на агромониторинг и по-специално при наблюдение на култури като слънчоглед, клъстеризацията помага да се идентифицират зони с добро състояние на вегетация, както и на проблемни участъци, които могат да изискват агротехническа намеса, включително приложение на торове или пестициди.

В QGIS се използват предимно два алгоритъма за клъстерен анализ: метода на к-средните (K-means) и Fuzzy C-Means [20].

Според [21] методът на к-средните е итеративен алгоритъм за клъстеризация, който разделя данните в К-групи, минимизирайки сума от квадратните разстояния до центроидите. При този метод се дефинират К на брой начални клъстера (центроида) и всеки пиксел се присвоява към най-близкия центроид (Евклидово разстояние). Центроидите се преизчисляват спрямо средно аритметичната стойност на данните в клъстера. Процесът се извършва итеративно, докато центроидите се стабилизират или се достигне максимално предварително зададен брой итерации.

Според [20] при метода Fuzzy C-means се избират начални стойности за матрицата на принадлежност, задава се степента на размиване на параметъра за принадлежност (fuzzifier, m), обикновено между 1,5 и 2,5. Изчисляват се центроидите като средноаритметична стойност на всички точки. Преизчислява се принадлежността на всяка точка към всеки клъстер. Стъпките се повтарят до сходимост.



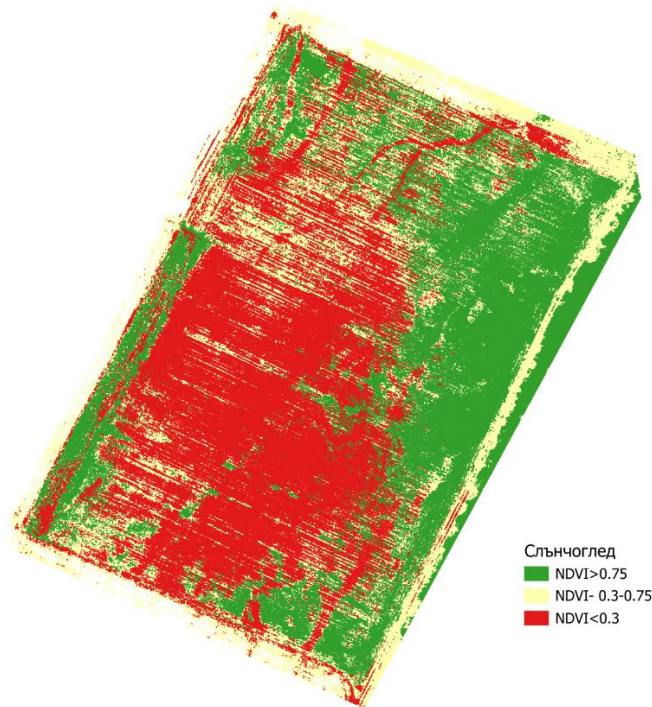
Фиг. 3. Клъстерен анализ – ечемик

Избрано е да се направи клъстеризация по метода на к-средните (K-means), като са определени три класа:

- Здрави растения със стойности на NDVI $> 0,75$;
- Средно състояние със стойности на NDVI между $0,3 - 0,75$;
- Стресирани/болни растения или липса на растителност със стойности на NDVI от 0 до $0,3$.

В средата на QGIS е преобразувано растерното изображение във векторно. Премахнати са всички стойности от изображението, които имат отрицателен NDVI индекс.

След това е приложен алгоритъмът на к-средните (K-means). Направени са картосхеми, на които ясно може да се определят различните степени на развитие на растенията. Те са представени на фиг. 3 (ечемик) и фиг. 4 (слънчоглед).



Фиг. 4. Клъстерен анализ – слънчоглед

3.2. Пространствена статистика на горещи точки – Hot Spot Analysis Getis-Ord G_i^*

Алгоритъмът Getis-Ord G_i^* е пространствен статистически инструмент, използван за откриване на значими клъстери от високи или ниски стойности на даден атрибут – в случая NDVI. Пространственият анализ Getis-Ord G_i^* изчислява z-статистика за всеки обект (точка или пиксел), която показва дали локалната област (обект + съседни) има системно висока (hotspot) или ниска (cold spot) стойност спрямо общата пространствена средна стойност [22].

Според [20] високи положителни G_i^* стойности показват кълстери от високи NDVI стойности (запазена или здрава растителност), ниски или отрицателни – кълстери от ниски стойности (стрес, деградация). Анализът разкрива пространствена хетерогенност и зонални тенденции в растителното покритие. Анализът G_i^* се дефинира математически по следния начин:

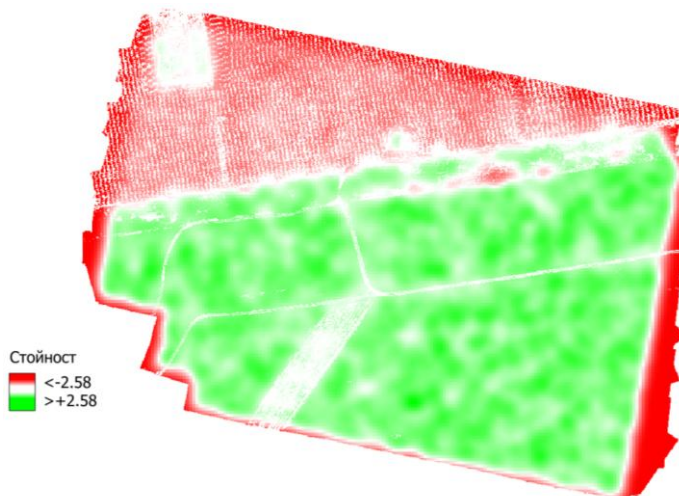
$$G_i^* = \frac{\sum_j w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_j w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_j w_{i,j}^2 - \left(\sum_j w_{i,j}\right)^2}{n-1}}}, \quad (2)$$

където x_j е стойността (NDVI) в точка j ;
 $w_{i,j}$ – пространствена тежест между i и j ;
 \bar{X} – средната стойност на NDVI;
 S – стандартното отклонение на NDVI;
 n – брой на всички точки.

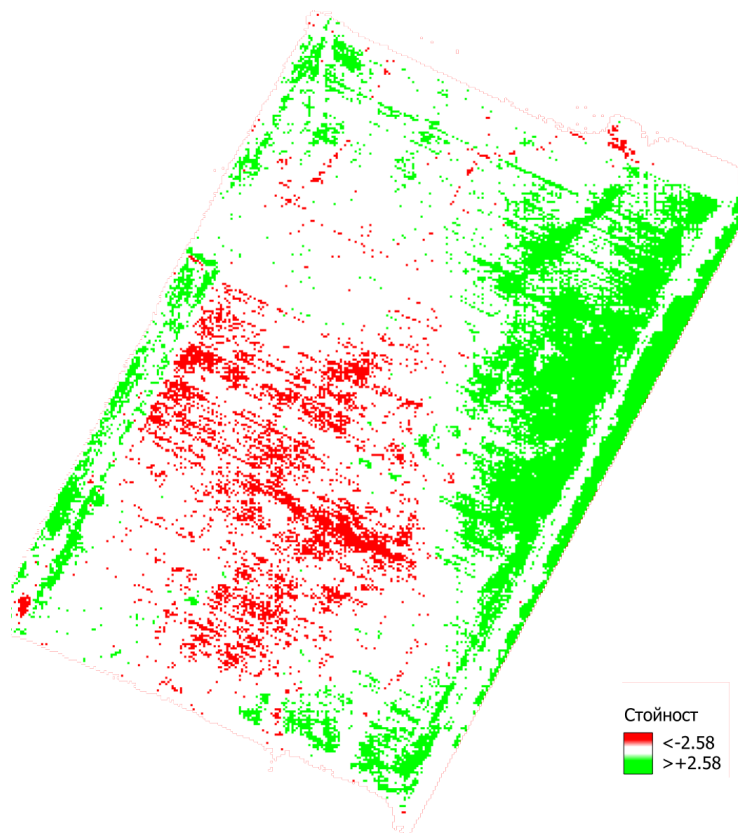
G_i^* не е директен индекс като NDVI, а статистика, която измерва до каква степен стойността на дадена точка е статистически по-висока или по-ниска от тази в съседните точки.

За горещи точки са приети стойности на $G_i^* > 2,58$ (има висока стойност на NDVI, заобиколна от други високи стойности), за студени точки са приети стойности на $G_i^* < -2,58$ (има ниски стойност на NDVI, около които има още ниски стойности). Стойности на параметъра $-1,95+1,95$ са приети за междинни и без значима зависимост.

Алгоритъмът е приложен върху същия набор от NDVI данни, използван и в кълстерния анализ. Получените резултати са визуализирани чрез картосхеми, от които ясно се открояват зоните с най-здрави растения, както и районите, в които са наблюдавани отклонения в растежа.



Фиг. 5. Анализ на горещи точки G_i^* – ечемик



Фиг. 6. Анализ на горещи точки G_i^* – слънчоглед

3.3. Приложимост на резултатите

Получените картосхеми са създадени във векторен формат, което позволява тяхната последваща обработка, споделяне и интеграция в различни платформи. Данните могат да бъдат експортирани в стандартизирани формати (например .shp, .geojson, .kml) и използвани както в земеделски машини с GPS-навигация, така и в веб-базирани приложения като Google Maps, My Tracks и други.

4. Заключение

Интеграцията на безпилотни летателни системи (БЛС), вегетационни индекси като NDVI и пространствени анализи в ГИС платформи предоставя ефективен и устойчив подход към мониторинга на земеделски култури. Прецизното локализиране на проблемни зони позволява целенасочено прилагане на торове, пестициди и водни ресурси, като същевременно се намалява екологичният отпечатък от земеделската дейност. Ролята на БЛС в прецизното земеделие не само допълва, но и в много случаи надминава традиционните методи за мониторинг на култури по точност, бързина и прецизност.

Комбинацията от клъстерен анализ (K-means) и пространствена статистика (Getis-Ord G_i^*) разкрива както общи, така и локални модели в здравето на растенията. Това потвърждава необходимостта от приемането на ГИС и NDVI като стандартни инструменти за оценка на вегетационното състояние и основа за създаване на карти за променливо торене.

Методът Getis-Ord G_i^* доказва своята добавена стойност в селскостопанския анализ, тъй като идентифицира пространствени клъстери от стрес или продуктивност, които може да не са видими с обикновен визуален NDVI анализ.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-301/204 и договор БН-317/25 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dadhwal, V. K., Ray, S. S.* Crop assessment through NDVI. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 55(2), 107 – 119, DOI: 10.1016/S0924-2716(00)00036-6.
2. *Kumar, V. et al.* Multispectral UAV-based vegetation indices for maize yield prediction. Precision Agriculture, 2023, 24(4), 1450 – 1472, DOI: 10.1007/s11119-023-09970-9.
3. *Shammi, M. et al.* Machine learning and vegetation indices for soybean yield estimation. Remote Sensing of Environment, 2024, 301, 113872. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113872.
4. *Wahab, M. A. et al.* UAV-based monitoring of small-scale African farms. Agricultural Systems, 2018, 163, 1 – 12, DOI: 10.1016/j.agsy.2018.06.010.
5. *Atanasov, A. I., Atanasov, A. Z.* Analysis of Opportunities for Agricultural Area Surveillance by UAV and Satellite in Precision Agriculture Acta Technologica Agriculturae, 28, (2), 88 – 96, 2025, DOI: 10.2478/ata-2025-0012.
6. *Atanasov, A. I., Stoyanov, H. P., Atanasov, A. Z.* Differentiating Growth Patterns in Winter Wheat Cultivars via Unmanned Aerial Vehicle Imaging. AgriEngineering 2024, 6, 3652 – 3671, <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040208>.
7. *Koleva, L. et al.* NDVI Dynamics for Wheat Yield Forecasting in Eastern Europe. Agronomy, 2023, 13(3), 789, DOI: 10.3390/agronomy13030789.
8. *Dimitrov, P. et al.* Sunflower Monitoring Using SAVI and EVI2 in Semi-Arid Regions. // European Journal of Agronomy, 2021, 126, 126312. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126312.
9. *Vega, F. A. et al.* NDVI and sunflower biomass correlation. Field Crops Research, 2015, 176, 31 – 41, DOI: 10.1016/j.fcr.2015.04.011.
10. *Vidican, M. et al.* Overview of vegetation indices for European agriculture. Environmental Monitoring and Assessment, 2023, 195(1), 92. DOI: 10.1007/s10661-023-10994-5.
11. *Guebsi, R. et al.* IoT, UAV integration in smart farming. Sensors, 2024, 24(2), 554. DOI: 10.3390/s24020554.
12. *Mulla, D. J.* 25 years of remote sensing in precision ag. Biosystems Engineering, 2013, 114(4), 358 – 371, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
13. *Navarro, A. et al.* GIS-Based NDVI Analysis for Precision Agriculture in Southern Europe. European Journal of Agronomy, 2020, 119, 126103. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126103.

14. *Stafford, J. V.* Remote Sensing and GIS in Precision Farming: Global Trends. *Remote Sensing*, 2020, 12(3), 456, DOI: 10.3390/rs12030456.
15. *Mondal, P., Basu, T.* Precision Agriculture: A Review of GIS and Remote Sensing Applications. *Precision Agriculture*, 2021, 22(5), 1433 – 1455, DOI: 10.1007/s11119-021-09808-9.
16. *Matese, A. et al.* Vegetation Indices for Crop Monitoring via Satellite and UAV Data. *Sensors*, 2019, 19(11), 2580, DOI: 10.3390/s19112580.
17. *Papadavid, G. et al.* Integration of GIS and Remote Sensing for Crop Health Monitoring in Mediterranean Agroecosystems. *Remote Sensing*, 2018, 10(9), 1462, DOI: 10.3390/rs10091462.
18. *Zhang, X. et al.* Remote Sensing and GIS for Crop Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 2021, 13(15), 2961, DOI: 10.3390/rs13152961.
19. *Lipiyska, Y., Atanasova-Evdenova, T., Patalov, S., Filipov, D., Ivanova, B.* Unmanned Aerial Systems (UAS) for Agricultural Surveys, E-Proceedings, 9th International Conference on Cartography and GIS, pp. 888 – 897, 2024, Nessebar, Bulgaria ISSN: 1314-0604.
20. *Bezdek, J. C.* Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function Algorithm. Plenum Press, 1981, DOI: 10.1007/978-1-4757-0450-1.
21. *MacQueen, J. B.* Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. (1967) In: Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics, University of California Press, Berkeley, 281 – 297.
22. *Guerri, G.* Thermal Summer Diurnal Hot-Spot Analysis: The Role of Local Urban Features Layers. *Remote Sensing*, 2021, 13(3), 538, DOI: 10.3390/rs13030538.

APPLICATION OF GIS AND UAV FOR CROP CONDITION ANALYSIS IN THE SOFIA REGION

Ts. Atanasova-Evdenova¹, Y. Lipiyska², A. Yordanov³

Keywords: UAV, indices, spatial analysis, GIS

ABSTRACT

The technological advancements in recent decades have facilitated the widespread adoption of unmanned aerial systems (UAS) and remote sensing methodologies in agricultural practices. These innovative approaches enable precise crop monitoring, early stress detection, and yield optimization through the analysis of vegetation indices derived from aerial imagery. This study investigates the application of UAS-acquired multispectral data and vegetation

¹ Tsvetelina Atanasova-Evdenova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: tsatanasova_fgs@uacg.bg

² Yana Lipiyska, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: yangelova_fgs@uacg.bg

³ Adrian Yordanov, Assist. Prof. Eng., Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: a.yordanov_fgs@uacg.bg

indices for crop health assessment, with particular emphasis on barley (*Hordeum vulgare* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.).

Geographic Information Systems (GIS) serve as a critical platform for integrating, processing, and visualizing remote sensing data, including vegetation indices such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Red Edge Index (NDRE), and Normalized Difference Red Index (NDRI). Our research methodology employed a DJI Mavic 3M UAS equipped with multispectral sensors to conduct aerial surveys of agricultural plots in the Sofia region of Bulgaria. The acquired data were processed to generate index maps that facilitate quantitative assessment of crop physiological status.

The implemented workflow demonstrates an efficient technology for rapid identification of agronomic issues and supports data-driven decision making. The results highlight the potential of UAS-GIS integration for precision agriculture applications, particularly in monitoring cereal and oilseed crops under temperate climatic conditions. This approach provides agricultural stakeholders with timely, spatially explicit information for crop management while establishing a framework for future research in precision farming technologies.