

Българска академия на науките
Институт за космически изследвания и
технологии



Милен Русев Чанев

Определяне на биомасата и добивите от посеви от лимец
Triticum monocosum L., отглеждан в условията на биологично
земеделие, чрез дистанционни методи

АВТОРЕФЕРАТ

на

Дисертация

За получаване на образователна и научна степен „Доктор“

Област на висше образование:

4. „Природни науки, математика и информатика“

Професионално направление: 4.4. „Науки за земята“

Научна специалност: „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:
проф. д-р Лъчезар Филчев

София
2022 г.

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Дистанционни изследвания и ГИС“ на ИКИТ-БАН, състояло се на 28 07.2022 г.

Дисертационният труд включва 154 страници, 33 таблици, 52 фигури и 226 литературни източника от които 18 на кирилица и 208 на латиница.

Дисертационният труд има следната структура:

Съдържание

Списък с фигурите

Списък с таблиците

Списък на ползваните съкращения

I УВОД

II МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

III РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

IV ИЗВОДИ

V ЗАКЛЮЧЕНИЯ

VI ПРИНОСИ

VII БЛАГОДАРНОСТИ

ЛИТЕРАТУРА

Списък на използваните съкращения

БЛА - Безпилотен летателен апарат	NDRE - Normalized Difference Red Edge
ВИ - Вегетационен индекс	NDTI - Normalized Difference Turbidity Index Water
ДМ - Дистанционни методи	NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
BI - Brightness Index	NDVIG - Normalized Difference Vegetation Index Green
BIM - Brightness Index Modified	NDWI - Normalized Difference Water Index
BSI - Bare Soil Index	NGRDI - Normalized Green Red Difference Index
CCCI - Canopy Chlorophyll Content Index	NMDI - Normalized Multi-band Drought Index
CI - Coloration Index	OSAVI - Optimized soil-adjusted vegetation index
CIRE - Chlorophyll Index Vegetation Index	RI - Redness Index
Clrededge - Chlorophyll Index red edge	RVI - Ratio Vegetation Index
CVI - Chlorophyll Vegetation Index	SAT - Overall Saturation Index
DVI - Difference Vegetation Index	SCI - Soil Colour Index
EVI - Enhanced Vegetation Index	SHP - Shape index
GCI - Green Chlorophyll Index	SI - Spectral Slope Saturation Index
GCVI - Green chlorophyll vegetation index	SR - Simple ratio
GDVI - Green Difference Vegetation Index	TCARI - Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index
GLAI - Green leaf area index	TGI - Triangular Greenness Index
GLI - Green Leaf Index	TO - TCARI/OSAVI
GRVI - Green-Red Vegetation Index	TVI - Triangular Vegetation Index
HI - Hue Index	VARI - Visible Atmospherically Resistant Index
HUE - Overall Hue Index	VVI - Visual Vegetation Index

I. УВОД

Биологичното земеделие се заражда поради проблемите на околната среда и здравето на бъдещите поколения. То е заимствано от самата природа и се стреми да бъде в хармония с нея, без да ѝ навреди. Биологичното земеделие не позволява използването на минерални торове, пестициди, регулатори на растежа и фуражни добавки и при които за поддържане и подобряване на храненето на почвата се разчита на сеитбообръщения, растителни остатъци, оборски тор, зелен тор и биологична растителна защита (Yancheva et al. 2012). Стратегиите за защита на културите в биологичното земеделие са превантивни и лечебни и целят предотвратяване на проблеми с насекоми, болести и плевели чрез оптимизиране на системата за отглеждане като цяло (Olabiyi et al. 2009).

Лимеца е първата култивирана пшеница (*Triticum monocossum* L. subsp. *monocossum*), той е опитомена в Югоизточна Турция през предгрънчарския неолит. След това се разпространи в Близкия изток, на Балканите и Кавказ, Туркменистан, Централна и Средиземноморска Европа, Северна Африка и накрая в Западна и Северна Европа. Във всички тези региони той играе важна роля в развитието на селското стопанство и се култивира в продължение на няколко века, преди да бъде заменен от пшеница. В днешно време интересът към тази култура се възобновява заради хранителните ѝ качества, лесната адаптация към земеделие с ниски вложения, високата устойчивост на неприятели, и болести. Изброените качества правят лимеца предпочитана култура в биологичното земеделие. Друго предимство на лимеца е, че той се използва в селекцията, като източник на ценни гени за подобряване на пшеницата (Zaharieva & Monneveux, 2014).

Приложение на дистанционните методи при биологично отглеждане на зърнено-житни култури

Чрез използването на аерокосмически методи може да се подобри прехода от конвенционално към биологично земеделие. Според Gitelson (2012), технологиите за дистанционно наблюдение в различни мащаби често се оказват подходящ инструмент за мониторинг на селскостопанските култури. Потенциала на тези технологии по отношение на биологичното земеделие не е проучен напълно (Diacono et al. 2013). Технологията за дистанционно наблюдение в биологичното земеделие трябва да генерира информация на различни нива, която да се използва за планирането на ресурсите и да спомогне за устойчиво селскостопанско производство (Syiem, 2003). Употребата на дистанционните методи, GPS технологиите и хиперспектралният анализ на изображенията спомага на фермерите за преминаването към агроекологично и биологично земеделие, което е повратна точка в земеделието (Niggli et al. 2021). Научните изследвания и технологичният напредък в областта на дистанционните изследвания значително подобриха способността ни да откриваме и количествено определяме физическите и биологичните натоварвания, които влияят върху производителността на селскостопанските култури (Hatfield and Pinter, 1993; Gitelson, 2012). Технологиите на прецизното земеделие, които са базирани на аерокосмическите

методи могат да се справят с някои проблеми в биологичното земеделие, свързани с управлението на водите и почвите, растителната защита и механизацията (Ferreira et al. 2021).

Възможности за прогнозиране на добивите с използване на дистанционни методи

Дистанционните методи се използвано за прогнозиране на добивите на културите, базирани предимно на статистически-емпирични връзки между различните вегетационни индекси и добива (Thenkabail et al. 2002; Casa and Jones 2005). Информацията за очаквания добив е много важна, както за земеделските производители, така и за държавните агенции. От голямо значение е тази информация да е налична навреме за да се минимизира икономическият риск, това води до по-голяма ефективност и повишена възвръщаемост на инвестициите (Wójtowicz et al. 2016). Добивът на култури е може би най-важната информация за управление на културите в прецизно земеделие. Освен това данните от мониторинга на добива могат да се използват само за управление след сезона, докато някои проблеми като недостиг на хранителни вещества, воден стрес или нападение от вредители трябва да се управляват през вегетационния сезон. Изображенията от сателити или БЛА, получени през вегетационния сезон, имат потенциал не само за управление след сезона, но и за управление в рамките на сезона. Освен това, картите на добива, съставени от изображения, получени чрез ДМ могат да бъдат използвани като алтернатива, когато не са налични данни за добива (Li et al. 2010; Usha and Singh, 2013).

Актуалност на темата

Мониторингът на добива от културите във всеки един тип на земеделие е от съществено значение за информиране и разработване на национални политики за продоволствена сигурност и стратегии за управление на производството (Huang et al. 2016; Huang et al. 2015a, Zhuo et al. 2019). Следователно навременната и точна информация за развитието и добив от отглежданите култури е от голямо значение за земеделските производители. Тази информация е от съществена част за решаване на проблема с продоволствената сигурност и устойчивото развитие на селското стопанство. Това би могло да се постигне чрез използването на различни вегетационни индекси (ВИ) получени с помощта на ДМ. Съществуват десетки ВИ, които служат за качествена и количествена оценка на растителните покривки с помощта на спектрални измервания (Bannari et al. 1995). Използвайки пространствени данни получени чрез ДМ и обработката им с помощта на ГИС софтуер могат да се създават карти на пространственото разпределение на производствения потенциал (Lang et al. 2020; Чанев и Филчев 2020).

Цел на изследването

Да се изследва приложението на дистанционните методи и аерокосмически данни за оценка на биомаса и биологичен добив на производствен посев от лимец (*Triticum monocosum*) отглеждан в условия на биологично земеделие.

Задачи

Да се установят основните приложения на ДМ при биологичното производство на зърнено-житни култури.

Да се извърши сателитен мониторинг по спътникови данни от Sentinel - 2 на биологично поле от лимец в избрани вегетационни фази.

Да се извърши заснемане с безпилотен летателен апарат (БЛА) с RGB и мултиспектрална камера на биологично поле от лимец в избрани вегетационни фази.

Да се генерират вегетационни индекси от БЛА и спътникови данни Sentinel - 2.

Да се съберат растителни наземни проби във вегетационните фази братене, вретенене, млечна зрялост, както и техническа зрялост определени по скалата BVCH от биологично поле с лимец.

Да се съставят карти на полето от биологичен лимец за фенологичните фази братене, вретенене и млечна зрялост.

Да се установи при коя фенологична фаза и с кои ВИ има най-добра положителна корелация с наземната биомаса и добива.

Да се установи кои ВИ могат да послужат за установяване на степента на заплевяване на посев от лимец отглеждан в условията на биологично земеделие.

II. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

За постигане целта и задачите на проучването е проведен експеримент върху едно биологично сертифицирано производствено поле засято с културата лимец *Triticum monosomit* през периода 2020-2021 г. Полето е част от стопанството на ЕТ „Борислав Славчев“ с. Бяла река, община Първомай, на почвен тип излужени чернозем смолници, с големина 136 да.

Фенологични наблюдения

Регистриране на основните фенологични фази по скалата на (ВВСН) – братене, вретенене, млечна зрялост и техническа зрялост (Meier, 2001). Настъпването на всяка една от фазите, е когато 25% от растенията са навлезли в нея. Отчитането се извършва, когато 75% от растенията са обхванати в съответната фаза.

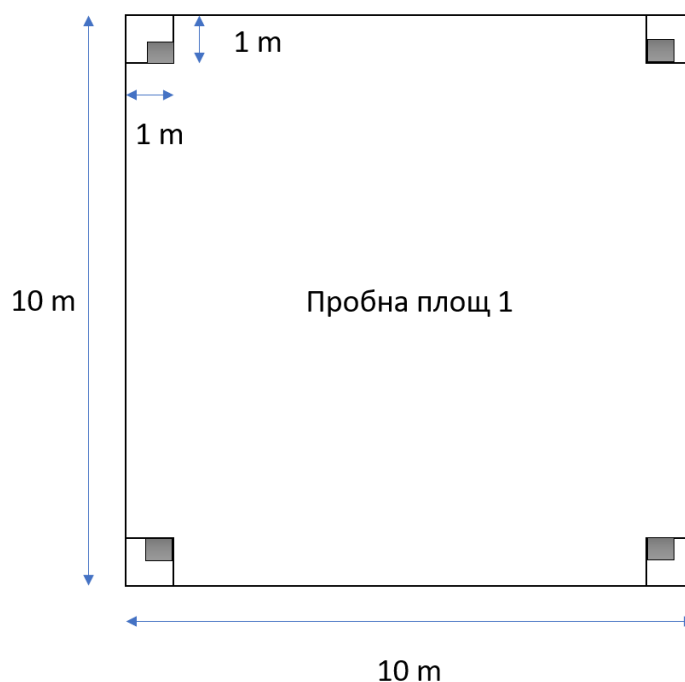
Проследяване динамиката на натрупване на биомаса по фенофази

Динамика на натрупване на биомаса

В платформата EOS Crop-monitoring във фенологична фаза братене са избрани три пиксела със стойности на вегетационният индекс NDVI съответно 0.86, 0.74 и 0.63 от полето. Пикселите са с големина 20×20 m, като във всеки от тях е организирана постоянна пробна площадка с размери 10×10 m в края на която са поставени маркери и са взети GPS координати. От тези четири постоянни маркери по време на фенологичните фази братене, вретенене и млечна зрялост се взимат всички растения от 4 метровки оразмерени 0.25×0.25 m, растенията лимец в метровките първо се преброяват, претеглят, изсушават се и пак се претеглят (сухо в-во). На Фигура 2 е представена схемата на пробните площадки и метровките, а на Фигура 3 е представена пробна площадка 1.1.1 в трите фенологични фази на изследване.



Фигура 1 Пробовземания (А) фаза (ВВСН 45) и (В) фаза (ВВСН 75)



Фигура 2 Схема на пробните площадки и метровките

В избраните пиксели от всяко поле по време на фенологичните фази братене, вретенене и млечна зрялост се извършва и преброяване на плевелите като от 4-те метровки от 0.25×0.25 m плевелите се претеглят, изсушават се и пак се претеглят (сухо в-во). Получените стойности се преизчисляват към един кв. м. като се умножават по четири.



А

В

С

Фигура 3 Метровка 1.1.1 през фаза (А) братене, (В) вретенене и (С) млечна зрялост.

Биометрични измервания

Преди прибиране на реколтата в трите различия на вегетационният индекс NDVI се взимат всички растения от метровка 0.25×0.25 m в 4 повторения.

Във всяка метровка са преброени всички растения, а върху 25 растения са проследени следните показатели:

- Височина на растенията (cm);
- Дължина на класа (cm);
- Зърна в класа (брой);
- Маса на зърното в класа (g);
- Биологичен добив (kg/da), изчислен по Енчев и др. (1984);

Физични качества на зърното

Маса на 1000 зърна (g) /БДС 13358-76/ за 4 повторения.



Фигура 4 Лабораторни измервания на биомасата на лимец и плевелите

Статистически анализи

За установяване на статистически достоверни влияния на изследваните фактори и разлики между изпитаните варианти е прилаган многофакторен дисперсионен анализ. Данните са записани и обработени със статистическия пакет SAS JMP Statistical Software, с който е направен Fit Model анализ за статистическо доказване на различията.

Софтуерният продукт SPSS20, е използван за корелационен анализ за статистическо доказване на най-подходящите за употреба вегетационни индекси (ВИ). Приема се, че когато r е от 0 до 0.33 корелацията е слаба, когато r е в границите от 0.34 до 0.66 е средна и от 0.67 до 0.99 е силна (Маринков и Димова, 1999). В MS EXCEL е направен линеен регресионен анализ между полевите данни и ВИ с най-добра статистическа значимост при $p \leq 0.01$ на коефициентите на корелация.

ГИС методи

В ГИС среда от генерираните ВИ за обследваното полето от БЛА и сателита Sentinel-2 са извлечени стойностите на пикселите за всяка една от пробните площадки в полето. След което са съставени вегетационни карти на полето със съответните ВИ. В следващата стъпка от генерираните ВИ и данните за добива са съставени карти на добива за обследваното поле. Софтуерът, с който е извършена обработката на получените данни от БЛА и сателита Sentinel-2 е ArcGisPro.

Дистанционни методи

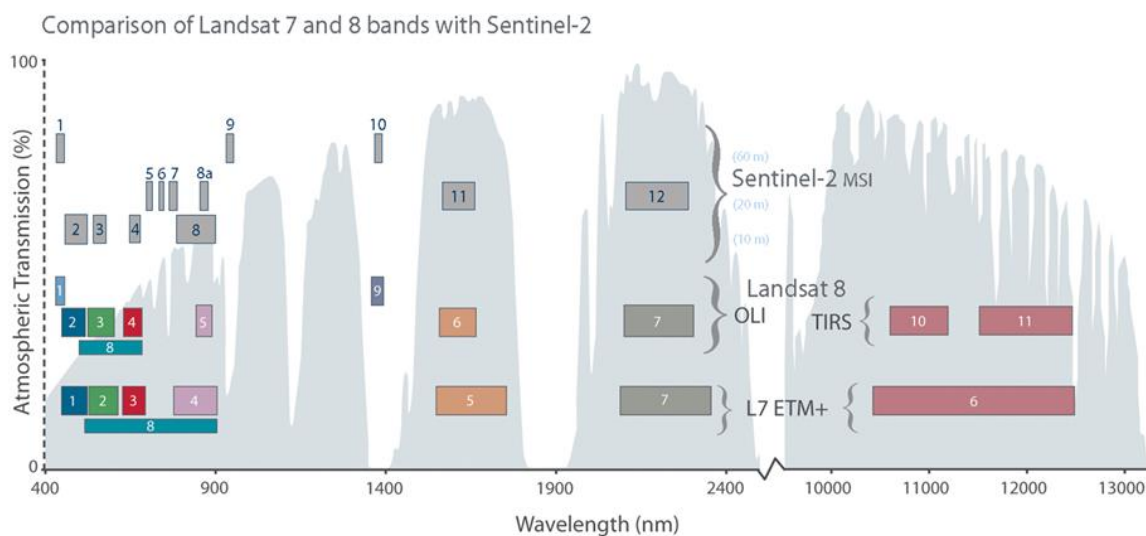
Дистанционните типове данни използвани в дисертационния труд са два вида:

1. Данни от сателита Sentinel-2.
2. Данни получени от безпилотен летателен апарат (БЛА).

В платформата Google Earth са очертавани границите на полето, което се е избрано за район на изследване. Създаденият полигон се експортира в *.kmz файл.

Данни от сателита Sentinel-2.

Sentinel-2 е мисия за широкоспектърни изображения с висока разделителна способност, която подкрепя проучванията за наблюдение на земя на Коперник, включително наблюдение на растителността, почвата и водното покритие, както и наблюдение на вътрешни водни пътища и крайбрежни зони. Мултиспектралният инструмент SENTINEL-2 (MSI) взема проби от 13 спектрални канала: четири канала на 10 m, шест канала на 20 m и три канала на 60 m пространствена разделителна способност. Придобитите данни, покритието на мисията и високата честота на повторни заснемания осигуряват генерирането на геоинформация на местно, регионално, национално и международно ниво. Данните са предназначени да бъдат модифицирани и адаптирани от потребители, които се интересуват от различни тематични области (Sentinel-2 MSI, 2022).



Фигура 5 Разположение на каналите на Sentinel-2 във видимата част на електромагнитния спектър

EOS Crop-monitoring (EOS Data Analytics inc., CA, USA) е специализирана платформа за мониторинг на земеделски култури, която използва данни от сателита Sentinel-2. В нея се импортира създадения в Google Earth *.kmz файл, като в нея се създава файл с името на полето. След създаване на файлове с вектор на полето се избира съответното поле, което ще се обследва и след появата му на екрана се въвеждат датата на сеитба и съответно датата на прибиране на реколтата. От бутоните за функции в системата се задава функцията за генериране на ВИ NDVI. След

изчисляване на индекса NDVI се задава функцията за изчисляване на процентното площно разпределение на всяка една стойност на NDVI в обследваното поле. Получените изображения се записват в *.TIF файлове. От прилежащата лента за времево проследяване на изображенията се свалят изображения за всяка една от изследваните фенофази. В допълнение от платформата се експортира и диаграма на стойностите, на вегетационният индекс NDVI в комбинация с количеството валежи по дати за периода от засяването до прибиране на реколтата.

В платформата Land Viewer (EOS Data Analytics inc., CA, USA) след импортирането на файл с границите на полето и с помощта на функцията индекс калкулатор се генерират подбраните ВИ. Генерираните ВИ се изтеглят от платформата като TIF файлове.

Използване на данни получени от безпилотен летателен апарат (БЛА).

Заснемането с БЛА се извърши по време на фенологичните фази вретенене (ВВСН 45) и млечна зрялост (ВВСН 75). Заснемането се извърши с БЛА тип крило марка WingtraOne с мултиспектрална камера MicaSense RedEdge-MX и RGB камера Canon.



Фигура 6 БЛА тип крило марка WingtraOne използван в изследването

Първичната обработка на данните получени от БЛА е направена със специализираният софтуер Pix4D. Първичната обработка на данните включва създаване на ортофото мозайка на обследваното поле, създаване на DTM модел, който е цифров модел на терена и създаване на DSM модел, който представлява цифров модел на повърхността. В същият софтуер са генерирани и картите на ВИ по данни от БЛА.

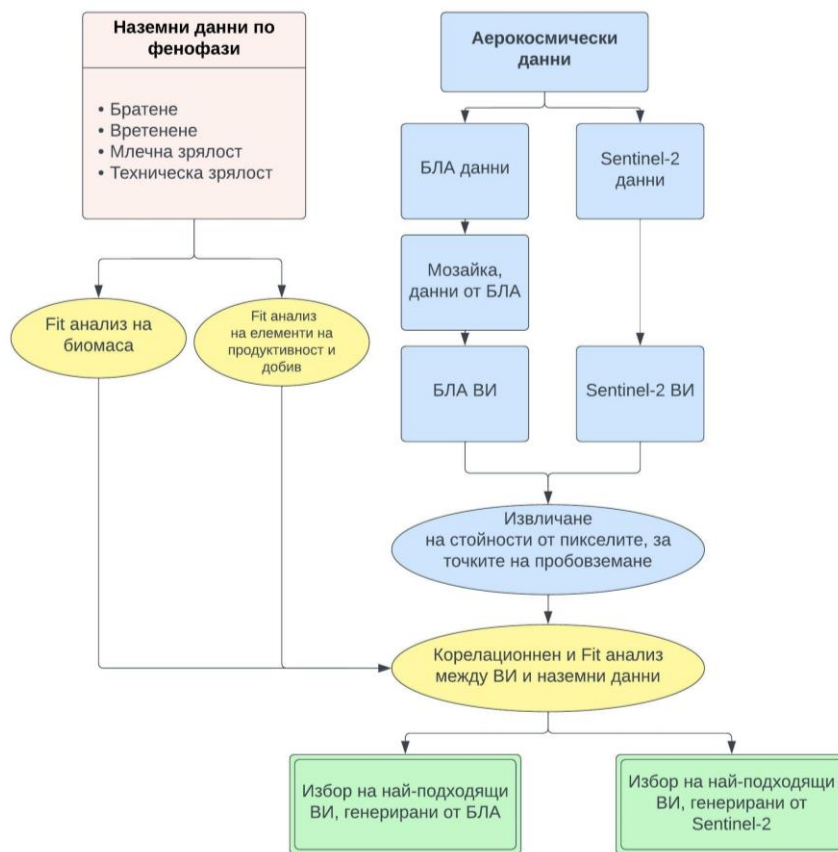
Таблица 1 Вегетационни индекси използвани с БЛА данни.

Име на ВИ	Формула на ВИ	Източник
GLI	$\frac{(2GREEN - RED - BLUE)}{(2GREEN + RED + BLUE)}$	Gobron et al. 2000
BIM	$\sqrt{\left(\frac{(R * 2 + G * 2 + B * 2)}{3}\right)}$	Jannoura et al. 2015
NGRDI	$\frac{GREEN-RED}{GREEN+RED}$	Zarco-Tejada et al.2001
HI	$\frac{(2 * G - R - B)}{(G - B)}$	Luo et al. 2008
VARI	$\frac{(G - B)}{(G + R - B)}$	Hunt et al. 2011
CVI	$NIR_{\frac{RED}{GREEN^2}}$ (nir*red)/(green^2)	Hunt et al. 2011
BSI	$\sqrt{\left(\frac{(R^2+G^2+B^2)}{3}\right)}$	Eyers, R. D., & Mills, J. P. (2004).
TVI	(0.5*(120*(nir-green)-200*(red-green)))	Broge and Leblanc (2000)
GCI	(nir/green)-1	https://geopard.tech/blog/kc9y2x96kv-which-vegetation-index-is-better-to-use/
CIRE	(nir/red_edge)-1	Wu et al. 2009
EVI	$2.5 * \frac{(NIR1-R)}{(NIR1+6*R-7.5*B+1)}$	Hunt et al. 2013
RVI	nir/red	Bannari et al. 1995
NDRE	(nir-red_edge)/(nir+red_edge)	Barnes et al. 2000
DVI	NIR-RED	Naji (2018)
BI	$\sqrt{(R**2+G**2+B*2)}/3$	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
SCI	(R-G)/(R+G)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
GLI	(2*g - r - b)/(2*g + r + b)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
NDTI	(R-G)/(R+G)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
NGRDI	(G-R)/(G+R)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
RI	R**2/(B*G**3)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
SI	(R-B)/(R+B)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
TGI	-0.5[190(R670-R550)-120(R670 - R480)]	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
VVI	(1-(r-30)/(r+30))*(1-(g-50)/(g+50))*(1-(b-1)/(b+1))	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
GLAI	(25 * (green - red) / (green + red - blue) + 1.25)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
GRVI	(green-red)/(green+red)	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html

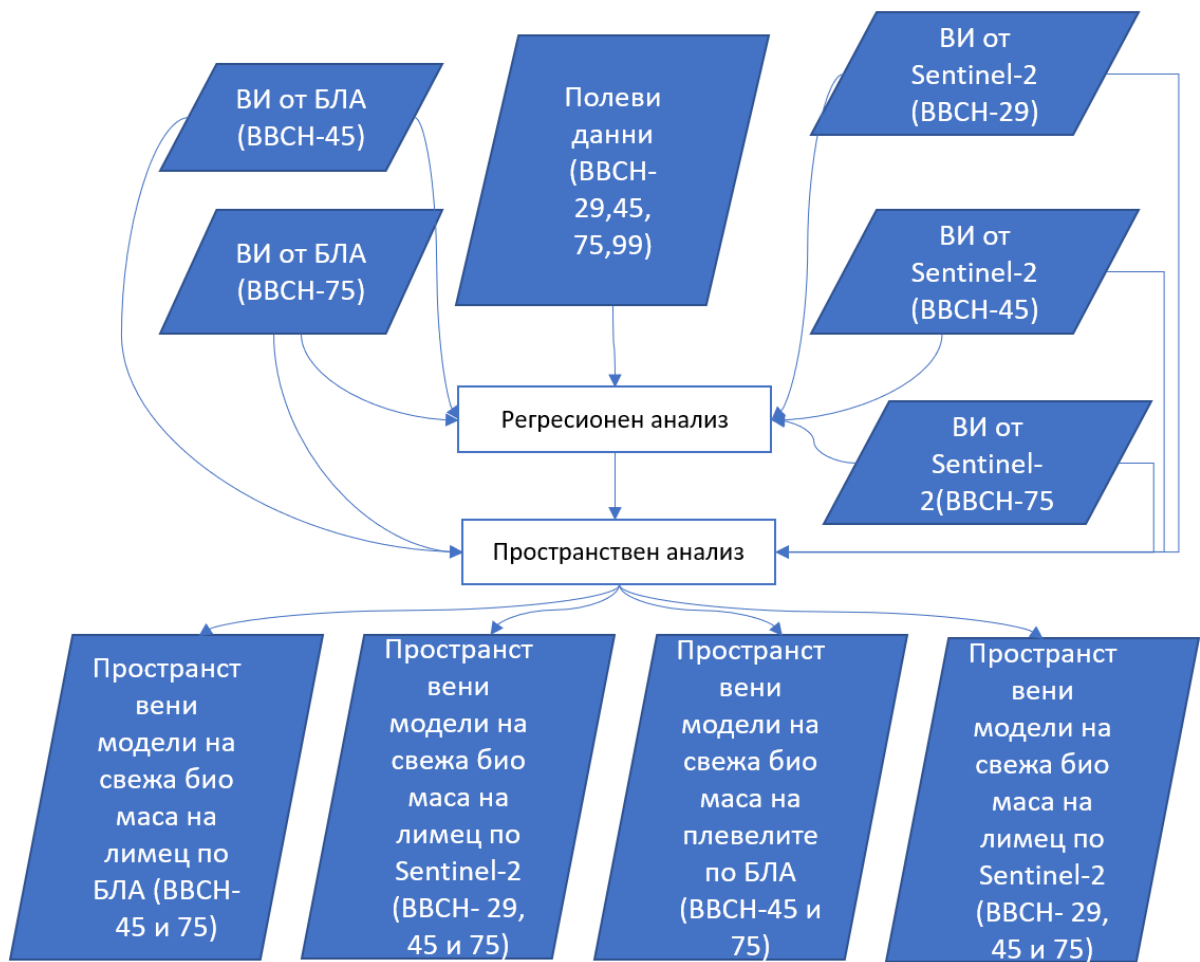
Име на ВИ	Формула на ВИ	Източник
Coloration Index (CI)	$(red - blue) / red$	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
(HUE) Overall Hue Index	$atan(2 * (red - green - blue) / 30.5 * (green - blue))$	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
(SAT) Overall Saturation Index	$(max(red,green,blue) - min(red,green,blue)) / max(red,green,blue)$	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html
(SHP) Shape index	$2 * (red - green - blue) / (green - blue)$	https://rdr.io/cran/uavRst/man/rgb_indices.html

Таблица 2 Вегетационни индекси използвани с Sentinel-2 данни.

Име на индекса	Формула	Източник
NDVI	$(B8-B4)/(B8+B4)$	Rouse et al. 1973
NDWI	$(B8 - B12) / (B8 + B12)$	Gao, B. C. 1995
NDVIG	$(B6-B3)/(B6+B3)$	Metternicht, G. 2003
NMDI	$(B8a-(B11-B12))/(B8a+(B11+B12))$	Wang and Qu 2007
OSAVI	$(B8 - B4)/(B8 + B4 + 0.16)$	Rondeaux et al. 1996
SR	$B8/B4$	Jordan, C. F. 1969
DVI	$B8-B4$	Steven, M. D. 1998
EVI	$2.5*(B8-B4)/(B8+6*B4-7.5*B2+1)$	Huete et al. 2002
EVI2	$2.5*(B8-B4)/(B8+2.4*B4+1)$	Daughtry et al. 2000
CIrededge	$B7/B5-1$	Gitelson et al. 2003
TCARI	$3*[(B5-B4)-0.2*(B5-B3)*(B5/B4)]$	Haboudane et al. 2002
TO	$TCARI/OSAVI$	Haboudane et al. 2002
GCVI	$B8/B3-1$	Gitelson et al. 2003
GNDVI	$(B9-B3)/(B9+B3)$	Buschmann and Nagel 1993
GDVI	$B8-B3$	Gitelson et al. 2003
NDRE1	$(B6-B5)/(B6+B5)$	Gitelson and Merzlyak 1994
NDRE2	$(B7-B5)/(B7+B5)$	Gitelson and Merzlyak 1994
CCCI	$NDRE1/OSAVI$	Barnes et al. 2000
WDRVI	$(0.1*B9-B5)/(0.1*B9+B5)$	Gitelson 2004



Фигура 7 Диаграма на експеримента



Фигура 8 Диаграма на работният процес при регресионен и пространствен анализ

III. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Анализ на резултатите от наземните данни в посев от лимец биологично производство

Резултатите за показателите, характеризиращи наземната маса на посев от биологичен лимец през фаза братене (ВВСН 29) са получени и анализирани в три статистически доказани различия на стойностите на вегетационният индекс NDVI – 0.86; 0.74 и 0.63. Средната стойност на NDVI за изследваното поле е 0.74 и варира от 0.63 до 0.86, като VC% е с малка стойност (2.70%). От първото различие стойностите на свежото тегло на растенията е доказано с най-високи стойности спрямо останалите две. Средно за полето свежата маса от лимец е 27.48 g/m² при средно вариране (VC% = 19.07%). Анализирайки резултатите за броя на растенията лимец на m² при фаза братене (ВВСН код 29) се установява статистически доказана разлика във второ различие, като там броят е най-голям (247 бр.). Междинна група заема установеният брой от трето различие (239 бр.). Най-малка стойност на изследвания показател доказано има в първо различие (207 бр.). Установените по-високи стойности на NDVI свежо и сухо тегло на растенията в първо различие са в отрицателна връзка с броя на растенията на m², което предполага, че по-рехавият посев е дал възможност за формиране на повече вегетативна маса.

Както и през фаза братене така и през фаза вретенене средно тегло на свежата зелена маса от лимец отстъпва на свежото тегло на плевелите. Тази тенденция е най-силно изразена в първо различие. Свежото тегло на лимеца във фаза вретенене статистически доказано е различно в трите точки на измерване. Най-високи стойности то има в първо различие – 154.68 g и най-малко в трето различие (87.60 g). Спрямо свежото тегло на плевелите, свежото тегло на лимеца е значително по-малко в първо различие. Общото свежо тегло на лимеца и плевелите доказано е по-голямо в първо различие, докато при останалите две различия няма доказана разлика. Доказани разлики се установяват при сухото тегло на плевелите и растенията отделно и общо, като то е с най-високи стойности в първо различие и с най-малки стойности в трето. Прави впечатление, че показателят сухо тегло както при лимеца, така и при плевелите доказва статистически разликите в посева в трите различия. Броят на растенията лимец и плевели, както и общият им брой доказано е по-малък в първо различие и по-голям във второ и трето различие. Тенденцията е обратна на свежото и сухо тегло на растенията и плевелите. Установеното е обяснимо с това, че по-редкия посев е създал повече свежа и суха маса от растения лимец и плевели.

През фаза млечна зрялост (ВВСН 75) данните показват завишение на стойностите на показателите спрямо предходните две фази – братене и вретенене, което е напълно обяснимо, тъй като във млечна зрялост посевът е вече в напреднала фаза на развитие. През тази фаза на развитие на посева лимеца надделява над плевелите, повечето от които са в начални фази на развитие. Доказано най-високи стойности на свежото тегло има в първо различие (253.93 g/m²), а най-малки стойности – в трето различие (173.52 g/m²). Стойностите на показателя във второ различие заемат междинно положение (227.24 g/m²). Сухото тегло на лимеца в m² през млечна зрялост запазва съотношението както при свежото тегло.

Процентът на сухото вещество в лимеца средно за фазата е 52.30%, което показва, че значително е намаляло съдържанието на вода в растенията. Предполага се, че повечето от тях изжълтяват и узряват. Сравнявайки данните от лимеца с % на сухото вещество на плевелите, става видно, че то е със 17.12% по-малко, като средната му стойност е 35.18%. Това показва, че делът на зелената маса през тази фаза се дължи основно на плевелната растителност.

Тази тенденция напълно обяснява сближаването на стъпката на вегетационния индекс NDVI в трите различия на посева и отчита узряването на културните растения. От друга страна резултатите напълно обясняват поведението на наземната маса в посева с лимец биологично производство в конкретните метеорологични условия на годината.

Корелационни зависимости между наземни данни и генерирани вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат

В Таблица 8 са представени данни за установените корелационни зависимости между изследваните показатели, характеризиращи наземната маса във фаза вретене (VCSH 45) и генерирани вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат. От резултатите става ясно, че най-много корелации съществуват при показателя % сухо вещество на плевелите. От всички генерирани вегетационни индекса най-съществени корелационни връзки са установени при VARI и BIM.

При VARI от проучваните 12 показатели в 9 са установени силни взаимовръзки. При показателите % сухо вещество в растенията ($r=0.826^{**}$), брой растения в m^2 ($r=0.666^*$) и % сухо вещество на общата зелена маса ($r=0.654^*$) при добра и много добра доказаност корелациите са силни положителни.

При BIM са установени 7 силни положителни корелации като по показателя % сухо вещество на растенията $r=0.812^{**}$, следвана от свежо тегло на общата зелена маса ($r=0.796^{**}$), свежо тегло на плевелите ($r=0.751^{**}$), свежо тегло на растенията ($r=0.735^{**}$), сухо тегло на плевелите ($r=0.722^*$), сухо тегло на общата зелена маса ($r=0.713^{**}$) и сухо тегло на растенията ($r=0.680^*$).

При два от изследваните показатели са установени силни положителни корелации с вегетационния индекс GLI - % сухо вещество на плевелите ($r=0.676^*$) и брой на растенията и плевелите в m^2 ($r=0.652^*$). Вегетационните индекси HI, GRVI и GLAI са в силна корелационна връзка с % сухо вещество на плевелите ($r=0.746^{**}$; $r=0.738^{**}$ и $r=0.757^{**}$) и средна корелация с броя на растенията и плевелите.

Таблица 3. Корелационни зависимости между показатели, характеризующие наземную массу на посевах от лимца и вегетационные индексы от беспилотного летательного аппарата в фазе вретенене

Показатели Индексы	Свежое тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в м ²	Свежое тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в м ²	Свежое тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество на общата зелена маса	Брой растения и плевели в м ²
VARI	-0.800**	-0.731**	0.826**	0.6657*	-0.788**	-0.756**	-0.001	0.591*	-0.844**	-0.753**	0.654*	0.469
TVI	0.230	0.493	0.341	-0.163	0.330	0.412	0.696*	-0.305	0.322	0.442	-0.284	0.335
TGI	0.284	0.533	0.417	-0.203	0.396	0.472	0.685*	-0.344	0.389	0.495	-0.326	0.327
SI	-0.004	-0.313	0.029	-0.009	-0.070	-0.167	0.843**	0.132	0.389	0.495	-0.326	0.327
shpshapeindex	-0.233	-0.506	-0.163	0.192	-0.269	-0.355	-0.791**	0.302	-0.276	-0.406	0.291	-0.361
SCI	0.241	-0.054	0.223	-0.217	0.160	0.062	-0.738**	-0.051	0.195	0.025	-0.105	-0.639*
SAVI	0.098	0.337	0.191	-0.059	0.197	0.287	0.718**	-0.209	0.181	0.318	-0.179	0.427
RVI	-0.191	0.077	-0.202	0.196	-0.134	-0.043	0.723**	0.044	-0.160	-0.004	0.093	0.559
RSAVI	-0.151	-0.433	-0.166	0.092	-0.219	-0.314	-0.857**	0.256	-0.213	-0.355	0.226	-0.476
RGBVI	-0.361	-0.085	-0.309	0.306	-0.274	-0.180	0.628*	0.174	-0.318	-0.150	0.206	0.655*
OSAVI	-0.050	0.238	0.023	0.058	-0.045	0.139	0.713**	-0.099	0.019	0.172	0.059	0.513
NGRDI	-0.241	0.054	-0.223	0.217	-0.160	-0.062	0.738**	0.051	-0.195	-0.025	0.105	0.639*
NDVI_RE	-0.307	-0.039	-0.286	0.267	-0.246	-0.150	-0.652*	0.127	-0.280	-0.115	0.178	0.610*
NDVI	-0.299	-0.024	-0.263	0.255	-0.222	-0.128	0.633*	0.099	-0.260	-0.095	0.153	0.610*
NDRE	-0.150	0.146	-0.098	0.134	-0.023	0.060	0.628*	0.094	-0.062	0.088	-0.032	0.543
MSAVI	0.035	0.321	0.109	-0.007	0.131	0.224	0.737**	-0.160	0.112	0.257	-0.126	0.472
HUE	-0.422	-0.638*	-0.552	0.314	-0.518	-0.583*	-0.628*	0.437	-0.524	-0.605*	0.432	-0.208
HI	-0.176	0.124	-0.165	0.152	-0.102	-0.001	0.746**	-0.004	-0.130	-0.039	0.043	0.607*
GRVI	-0.241	0.054	-0.223	0.217	-0.160	-0.062	0.738**	0.051	-0.195	-0.025	0.105	0.639*
GNDVI	-0.303	-0.086	-0.276	0.250	-0.253	-0.174	0.463	0.129	-0.284	-0.147	0.177	0.471
GLI	-0.322	-0.042	-0.287	0.286	-0.239	-0.144	0.676*	0.118	-0.279	-0.112	0.177	0.652*

Показатели Индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой расте ния в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо веще ство на общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
GLAI	-0.205	0.096	-0.193	0.182	-0.125	-0.026	0.757**	0.022	-0.157	-0.014	0.072	0.630*
GCI	-0.264	-0.064	-0.259	0.242	-0.235	-0.158	-0.471	0.116	-0.259	-0.129	-0.163	0.429
EVI	0.146	0.432	0.239	-0.102	0.248	0.338	0.736**	-0.249	0.234	0.371	-0.223	0.410
DVI	0.240	0.499	0.351	-0.171	0.338	0.419	0.687*	-0.311	0.331	0.448	-0.291	0.320
DATT	0.015	0.298	0.078	-0.011	0.180	0.240	0.544	-0.271	0.143	0.261	-0.213	0.421
CVI	0.189	-0.118	0.177	-0.176	0.105	0.003	-0.816**	-0.002	0.137	-0.036	-0.052	-0.668*
CIRE	-0.141	0.154	-0.094	0.134	-0.017	0.066	0.639*	-0.101	-0.055	0.096	-0.038	0.535
CI	-0.009	-0.324	0.019	0.005	-0.083	-0.179	-0.845**	0.130	-0.066	-0.227	0.102	-0.542
Chlorophyl_index	0.264	-0.027	0.238	-0.232	0.184	0.086	-0.709**	-0.068	0.220	0.050	-0.122	-0.638*
BNDVI	-0.448	-0.220	-0.380	0.378	-0.371	-0.290	0.452	0.233	-0.419	-0.269	0.293	0.586*
BIM	0.735**	0.680*	0.812**	-0.595*	0.751**	0.722*	0.007	-0.549	0.796**	0.713**	0.603*	-0.413
BSI	-0.438	-0.436	-0.214	0.356	-0.342	-0.350	-0.357	0.341	-0.393	-0.380	0.370	0.088
VVI	0.353	0.421	0.166	-0.301	0.294	0.316	0.478	-0.376	0.331	0.352	-0.381	-0.008

Таблица 4. Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост

Показатели Индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество на общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
VARI	-0.444	-0.477	-0.155	0.474	-0.655*	-0.647*	-0.405	0.874**	-0.600*	-0.602*	-0.383	0.727**
TVI	0.152	0.151	0.74	-0.020	0.426	0.520	0.452	-0.347	0.299	0.336	0.283	-0.171
TGI	0.084	0.089	0.88	-0.054	0.485	0.533	0.407	-0.448	0.281	0.302	0.238	-0.239
SI	-0.256	-0.234	-0.004	0.025	-0.272	-0.276	-0.197	0.045	-0.297	-0.276	-0.134	0.038
shpshapeindex	-0.397	-0.397	-0.091	0.224	-0.433	-0.399	-0.222	0.26	-0.466	-0.438	-0.23	0.274
SCI	0.036	0.061	0.031	-0.178	-0.052	-0.073	-0.085	-0.194	0	0.006	0.011	-0.212
SAVI	0.093	0.086	0.051	0.041	0.325	0.409	0.369	-0.194	0.213	0.243	0.213	-0.058
RVI	0.104	0.072	-0.046	0.182	0.057	0.124	0.18	0.173	0.096	0.103	0.073	0.206
RSAVI	-0.167	-0.162	-0.085	0.039	-0.388	-0.414	-0.317	0.236	-0.291	-0.294	-0.205	0.134
RGBVI	-0.206	-0.231	-0.055	0.264	-0.074	-0.046	0.012	0.308	-0.172	-0.169	-0.095	0.324
OSAVI	0.014	0.002	0.022	0.108	0.204	0.269	0.256	-0.024	0.104	0.125	0.121	0.065
NGRDI	-0.036	-0.061	-0.031	0.178	0.052	0.073	0.085	0.194	0	-0.006	-0.011	0.212
NDVI_RE	-0.104	-0.125	-0.026	0.227	-0.053	-0.014	0.047	0.276	-0.094	-0.087	-0.03	0.284
NDVI	-0.127	-0.148	-0.031	0.216	-0.022	0.004	0.038	0.268	-0.095	-0.092	-0.05	0.273
NDRE	0.006	-0.016	-0.045	0.119	0.184	0.212	0.16	0.12	0.09	0.088	0.012	0.137
MSAVI	0.082	0.071	0.038	0.067	0.277	0.353	0.327	-0.118	0.183	0.208	0.179	-0.006
HUE	-0.153	-0.165	-0.111	0.138	-0.582*	-0.617*	-0.44	0.584*	-0.372	-0.389	-0.283	0.36
HI	-0.005	-0.023	-0.005	0.11	0.104	0.112	0.09	0.127	0.044	0.037	0.017	0.135
GRVI	-0.036	-0.061	-0.031	0.178	0.052	0.073	0.085	0.194	0	-0.006	-0.011	0.212

GNDVI	-0.087	-0.107	-0.038	0.244	-0.094	-0.016	0.081	0.327	-0.102	-0.076	-0.006	0.319
GLI	-0.136	-0.162	-0.045	0.247	-0.031	-0.002	0.044	0.274	-0.105	-0.105	-0.062	0.297
GLAI	0	-0.024	-0.026	0.142	0.086	0.103	0.098	0.157	0.04	0.032	0.008	0.171
GCI	-0.014	-0.037	-0.037	0.242	-0.087	0.016	0.138	0.301	-0.05	-0.016	0.047	0.306
EVI	0.139	0.133	0.057	0.002	0.371	0.454	0.396	-0.25	0.265	0.294	0.242	-0.111
DVI	0.161	0.16	0.076	-0.023	0.43	0.529	0.464	-0.355	0.307	0.346	0.293	-0.176
DATT	0.126	0.104	-0.059	-0.002	0.38	0.387	0.232	-0.031	0.260	0.245	0.042	-0.015
CVI	0.039	0.061	0.011	-0.129	-0.107	-0.11	-0.096	-0.102	-0.023	-0.012	-0.001	-0.137
CIRE	0.030	0.008	-0.04	0.121	0.183	0.226	0.189	0.106	0.105	0.109	0.04	0.133
CI	-0.281	-0.255	0.014	0.039	-0.281	-0.286	-0.207	0.055	-0.318	-0.294	-0.136	0.052
Chlorophyl_index	0.086	0.109	0.027	-0.191	-0.024	-0.044	-0.061	-0.215	0.046	0.049	0.031	-0.231
BNDVI	-0.291	-0.316	-0.07	0.346	-0.198	-0.141	-0.022	0.427	-0.286	-0.266	-0.131	0.436
BIM	0.331	0.363	0.15	-0.386	0.612*	0.629*	0.426	-0.844**	0.504	0.521	0.363	-0.652
BSI	-0.53	-0.555	-0.216	0.319	-0.49	-0.379	-0.109	0.168	-0.581*	-0.529	-0.187	0.300
VVI	0.599*	0.659*	0.395	-0.325	0.467	0.393	0.157	-0.129	0.617*	0.602	0.343	-0.287

В Таблица 4 са представени резултатите от проведения корелационен анализ на показателите свързани с наземната маса в посев от лимец и генерирани вегетационни индекси от БЛА във фаза млечна зрялост (ВВСН 75). За разлика от установените корелационни връзки във фаза вретенене (Таблица 3) в тази фаза корелациите са малко. Установените силни корелации са при вегетационните индекси VARI и VIM, докато при NUE и VVI те са силни и средни. Вегетационният индекс VARI е в силна корелационна връзка с брой плевели на m^2 ($r=0.874^{**}$) и брой растения и плевели в m^2 ($r=0.727^{**}$). VIM корелира отрицателно с броя на плевелите в m^2 ($r= -0.844^{**}$). Положителна силна корелация е установена между сухо тегло на растенията и вегетационния индекс VVI, като ($r=0.659^*$).

В Таблица 5 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (ВВСН 45). Добивът като крайна резултативна величина е най-важният показател за посева. Поради това от най-голям интерес са корелациите между него и вегетационните индекси. Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива ($r=0.654^*$)

В таблица 11 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза млечна зрялост (ВВСН 75). От данните прави впечатление, че във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност. ВИ, които са в силно положителна корелация с добива са SCI ($r=0.657^*$), CVI ($r=0.689^*$) и Chlorophyl_index ($r=0.653^*$).

. В заключение може да се каже, че по отношение на показателите характеризиращи състоянието на посева подходящо е да се извършва заснемане с БЛА през фазата вретенене, а не през фазата млечна зрялост. В тази фаза голяма част от хлорофила в растенията вече е намалял и ВИ не могат добре да охарактеризират състоянието на посева.

Във фаза вретенене най-подходящи ВИ за охарактеризиране на посева от лимец отглеждан в условията на биологично земеделие са VARI и VIM. Докато ВИ GLI, HI, GRVI и GLAI биха могли да се използват за оценяване на степента на заплевеност в посева.

По отношение на добива и елементите на продуктивност се установява, че данните получени от БЛА при фазата млечна зрялост са по-подходящи, за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива. Установено, е че от всички проучени ВИ само BSI има силна положителна корелационна връзка с добива, а ВИ VARI е в средна отрицателна корелационна връзка с добива по време на фаза вретенене. По време на фаза млечна зрялост ВИ, които са в силна корелационна връзка с добива са CVI, SCI и Chlorophyl_index.

Таблица 5. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и ВИ от БЛА във фаза вретенене

Показатели Индекси	Височина на растенията	Дължина на класа	Брой класоносни стъбла на m ²	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растеж ние	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.472	-0.008	-0.648*	-0.816*	0.558	-0.632*	-0.200	-0.603*
TVI	0.437	-0.090	0.666*	0.363	0.525	0.502	0.570	0.280
TGI	0.375	-0.247	0.723**	0.508	0.551	0.541	0.503	0.269
SI	-0.309	0.008	-0.311	0.024	-0.245	-0.223	-0.445	-0.257
Shpshape_index	-0.432	-0.141	-0.384	-0.097	-0.324	-0.337	-0.433	-0.457
SCI	-0.105	0.109	-0.170	0.179	-0.102	-0.052	-0.360	0.021
SAVI	0.364	-0.075	0.544	0.208	0.420	0.387	0.534	0.199
RVI	0.190	-0.040	0.195	-0.178	0.127	0.073	0.402	0.047
RSAVI	-0.333	0.170	-0.532	-0.229	-0.389	-0.372	-0.494	-0.292
RGBVI	-0.024	-0.149	0.071	-0.256	0.018	-0.043	0.290	-0.175
OSAVI	0.263	-0.064	0.393	0.037	0.293	0.251	0.473	0.094
NGRDI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
NDVI_RE	0.037	-0.071	0.078	-0.268	0.026	-0.029	0.299	-0.104
NDVI	0.067	-0.034	0.099	-0.260	0.051	-0.004	0.328	-0.099
NDRE	0.298	0.090	0.280	-0.122	0.239	0.187	0.516	0.074
MSAVI	0.327	-0.074	0.479	0.130	0.361	0.325	0.509	0.170
HUE	-0.452	0.197	-0.798	-0.619*	-0.625*	-0.629*	-0.513	-0.359
HI	0.139	-0.054	0.192	-0.152	0.131	0.092	0.369	0.039
GRVI	0.105	-0.109	0.170	-0.179	0.102	0.052	0.360	-0.021
GNDVI	0.118	0.144	0.036	-0.348	0.021	-0.041	0.333	-0.108
GLI	0.029	-0.144	0.113	-0.229	0.047	-0.012	0.318	-0.120
GLAI	0.133	-0.090	0.189	-0.158	0.124	0.079	0.375	0.020
GCI	0.151	0.155	0.059	-0.333	0.037	-0.026	0.351	-0.066
EVI	0.398	-0.071	0.582*	0.254	0.458	0.430	0.553	0.247
DVI	0.448	-0.078	0.672*	0.368	0.532	0.509	0.575	0.287
DATT	0.504	0.224	0.421	0.021	0.391	0.350	0.640*	0.238
CVI	-0.053	0.263	-0.222	0.070	-0.134	-0.094	-0.343	-0.015
CIRE	0.300	0.074	0.291	-0.109	0.248	0.195	0.523	0.085
CI	-0.314	0.016	-0.313	0.009	-0.254	-0.233	-0.449	-0.268
Chlorophyl_index	-0.074	0.105	-0.145	0.200	-0.082	-0.031	-0.341	0.056
BNDVI	-0.067	-0.058	-0.030	-0.367	0.059	-0.131	0.244	-0.286
BIM	0.418	-0.103	0.685*	0.848**	0.569	0.631*	0.205	0.506
BSI	-0.728**	-0.682*	-0.273	0.061	-0.174	-0.218	-0.323	0.654*
VVI	0.713**	0.515	0.223	-0.054	0.226	0.247	0.367	0.600*

Таблица 6. Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лемец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост

Показатели Индекси	Височина на растенията	Дължи на класа	Брой класоносни стъбла на m ²	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
VARI	-0.446	0.210	-0.522	-0.624	-0.704	-0.724	-0.684	-0.671
TVI	0.001	-0.060	0.093	0.052	0.024	0.046	0.275	0.505
TGI	0.074	0.006	0.070	0.233	0.181	0.151	-0.100	-0.404
SI	0.376	-0.065	0.610	0.744**	0.707*	0.725**	0.493	0.351
shpshapeindex	0.396	-0.069	-0.573	0.761**	0.712**	0.729**	0.462	0.317
SCI	0.480	-0.199	0.603	0.731**	0.786**	0.807**	0.706*	0.657*
SAVI	-0.011	0.053	0.094	0.179	0.032	0.115	0.231	0.195
RVI	-0.470	0.188	-0.680	-0.780	-0.800	-0.810	-0.634	-0.548
RSAVI	-0.110	0.005	-0.141	-0.023	-0.150	-0.075	-0.352	-0.092
RGBVI	0.331	0.353	0.054	0.186	0.250	0.322	0.134	0.552
OSAVI	0.100	0.176	0.051	0.149	0.082	0.163	-0.136	0.289
NGRDI	-0.480	0.480	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
NDVI_RE	-0.543	0.212	-0.658	-0.806	-0.891	-0.894	-0.766	-0.573
NDVI	-0.501	0.251	-0.604	-0.830	-0.884	-0.882	-0.710	-0.495
NDRE	-0.155	0.270	-0.274	-0.631	-0.512	-0.506	-0.201	-0.092
MSAVI	-0.046	0.082	-0.154	-0.026	-0.118	-0.136	-0.352	-0.541
HUE	-0.125	-0.003	-0.095	-0.262	-0.246	-0.215	-0.025	-0.332
HI	-0.510	0.170	-0.614	-0.800	-0.838	-0.859	-0.699	-0.609
GRVI	-0.480	0.199	-0.603	-0.731	-0.786	-0.807	-0.706	-0.657
GNDVI	0.322	0.510	-0.337	-0.308	-0.007	-0.022	0.168	-0.153
GLI	-0.451	-0.215	-0.519	-0.629	-0.709	-0.729	-0.685	-0.671
GLAI	-0.487	0.188	-0.619	-0.755	-0.802	-0.824	-0.705	-0.646
GCI	-0.378	0.177	-0.525	-0.715	-0.701	-0.681	-0.426	-0.174
EVI	-0.071	0.089	-0.179	-0.069	-0.168	-0.185	-0.391	-0.556
DVI	0.025	0.048	-0.071	0.088	0.014	-0.008	-0.244	-0.488
DATT	-0.240	-0.100	0.636	-0.594	-0.503	-0.542	-0.272	-0.285
CVI	0.283	-0.022	0.305	0.291	0.348	0.401	0.448	0.689*
CIRE	-0.152	0.259	-0.276	-0.624	-0.505	-0.500	-0.195	-0.086
CI	0.374	-0.058	0.618	0.742**	0.696*	0.714**	0.474	0.344
Chlorophyl_index	0.495	-0.196	0.585	0.742**	0.802**	0.823**	0.714**	0.653*
BNDVI	0.324	0.421	-0.220	0.017	0.185	0.227	0.173	0.400
BIM	0.382	-0.183	0.422	0.689*	0.679*	0.655*	0.357	-0.007
BSI	0.364	-0.180	0.390	0.659*	0.672*	0.642	0.367	0.367
VVI	0.415	0.243	0.421	-0.688	0.716**	-0.689	-0.437	-0.071

Корелационни зависимости между наземни данни и генерирани вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат при агрегиране на пикселите

В Таблица 7 са представени Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза вретене (BBCH 45) след извършено агрегиране на пикселите. Агрегирането на пикселите е направено със софтуерният продукт ArcGIS Pro, като е постигната големина на пиксела от $1\text{ m} \times 1\text{ m}$. От таблицата става ясно, че само три от ВИ имат средна и висока корелационна зависимост с показателите характеризиращи посева, като най-много корелационни зависимости са установени при ВИ RI. ВИ RI има корелационна зависимост с четири от показателите характеризиращи посева, които са свежо тегло на растенията ($r= 0.662$), % сухо вещество в растенията ($r= 0.671$), свежо тегло на плевелите ($r= 0.657$) и свежо тегло на общата зелена маса ($r= 0.702$). Другите два ВИ CI и HUE_OVERALL_HUE_INDEX имат корелационна зависимост само с по един от показателите характеризиращи посева съответно % сухо вещество в растенията ($r= 0.651$) и свежо тегло на растенията ($r= 0.659$). От таблицата става ясно, ВИ TGI и BSI са в силна отрицателна корелационна зависимост с показателя свежо тегло на растенията.

В Таблица 8 са представени корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост (BBCH 75) след извършено агрегиране на пикселите. При анализа на таблицата се установява, че тринадесет от изследваните ВИ са в средна и силна корелационна връзка с показателите охарактеризиращи полето. ВИ RVI е в силна корелационна връзка само с два от показателите охарактеризиращи полето, които са свежо тегло на плевелите ($r = 0.707$) и свежо тегло на общата зелена маса ($r = 0.706$). ВИ GLAI и BNDVI са в силна корелационна връзка с три от показателите охарактеризиращи полето, които са свежо тегло на плевелите, свежо тегло на общата зелена маса и сухо тегло на общата зелена маса. ВИ GLI, HI, RGBVI, VARI и VVI са в силна корелационна връзка с четири от показателите охарактеризиращи полето, които са сухо тегло на растенията, свежо тегло на плевелите, свежо тегло на общата зелена маса и сухо тегло на общата зелена маса. ВИ NDVI_RE се откроява, тъй като, той е в силна корелационна зависимост с пет от показателите охарактеризиращи полето.

Таблица 7 Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза вретене след агрегиране на пикселите

Вегетационни индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество в плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество в общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
<i>CI</i>	0.489	0.494	0.651	-0.424	0.635	0.591	-0.314	-0.416	0.634	0.563	-0.341	-0.448
<i>Chlorophl index</i>	0.382	0.371	0.539	-0.297	0.481	0.452	-0.263	-0.220	0.484	0.429	-0.195	-0.259
<i>CIRE</i>	-0.290	-0.391	-0.468	0.310	-0.482	-0.464	0.069	0.293	-0.457	-0.444	-0.059	0.320
<i>CVI</i>	0.515	0.459	0.615	-0.386	0.528	0.506	-0.237	-0.275	0.559	0.494	-0.349	-0.329
<i>DATT</i>	-0.295	-0.406	-0.449	0.317	-0.473	-0.463	-0.014	0.328	-0.451	-0.447	-0.103	0.348
<i>DVI</i>	-0.561	-0.550	-0.560	0.439	-0.578	-0.555	0.028	0.327	-0.611	-0.557	0.205	0.385
<i>EVI</i>	-0.560	-0.545	-0.582	0.435	-0.593	-0.566	0.079	0.341	-0.622	-0.563	0.229	0.394
<i>GCI</i>	-0.156	-0.229	-0.375	0.169	-0.375	-0.344	0.215	0.134	-0.335	-0.308	-0.059	0.154
<i>GLAI</i>	-0.424	-0.418	-0.587	0.343	-0.539	-0.506	0.280	0.281	-0.541	-0.480	0.240	0.320
<i>GLI</i>	-0.305	-0.299	-0.467	0.234	-0.392	-0.373	0.214	0.106	-0.392	-0.351	0.111	0.152
<i>GNDVI</i>	-0.142	-0.201	-0.353	0.135	-0.347	-0.315	0.232	0.113	-0.309	-0.280	-0.051	0.128
<i>GRVI</i>	-0.395	-0.387	-0.559	0.315	-0.501	-0.471	0.263	0.227	-0.503	-0.447	0.205	0.270
<i>HI</i>	-0.451	-0.438	-0.597	0.359	-0.564	-0.525	0.304	0.345	-0.567	-0.500	0.283	0.374
<i>hueoverallhueindex</i>	0.659	0.600	0.556	-0.510	0.562	0.547	0.037	-0.360	0.628	0.568	-0.325	-0.431
<i>MSAVI</i>	-0.538	-0.516	-0.583	0.413	-0.582	-0.553	0.116	0.317	-0.608	-0.545	0.223	0.369
<i>NDRE</i>	-0.301	-0.387	-0.472	0.302	-0.478	-0.460	0.081	0.289	-0.457	-0.439	-0.039	0.314
<i>NDVI_RE</i>	-0.303	-0.293	-0.483	0.228	-0.428	-0.393	0.313	0.150	-0.419	-0.363	0.166	0.185
<i>NDVI</i>	-0.302	-0.308	-0.474	0.234	-0.430	-0.400	0.265	0.180	-0.421	-0.373	0.118	0.210

Вегетационни индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m2	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество в плевелите	Брой плевели в m2	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество в общата зелена маса	Брой растения и плевели в m2
<i>NGRDI</i>	-0.395	-0.387	-0.559	0.315	-0.501	-0.471	0.263	0.227	-0.503	-0.447	0.205	0.270
<i>OSAVI</i>	-0.498	-0.485	-0.563	0.383	-0.556	-0.528	0.134	0.293	-0.576	-0.517	0.197	0.341
<i>RGBVI</i>	-0.267	-0.264	-0.423	0.196	-0.349	-0.333	0.205	0.082	-0.348	-0.312	0.076	0.122
<i>RI</i>	0.662	0.601	0.671	-0.503	0.657	0.627	-0.132	-0.427	0.702	0.623	-0.368	-0.481
<i>RSAVI</i>	-0.474	-0.507	-0.548	0.402	-0.565	-0.544	0.045	0.334	-0.575	-0.536	0.100	0.379
<i>RVI</i>	-0.332	-0.369	-0.550	0.310	-0.510	-0.478	0.257	0.205	-0.491	-0.445	0.128	0.252
<i>SAVI</i>	-0.545	-0.529	-0.571	0.421	-0.578	-0.552	0.079	0.319	-0.607	-0.548	0.211	0.373
<i>SCI</i>	0.395	0.387	0.559	-0.315	0.501	0.471	-0.263	-0.227	0.503	0.447	-0.205	-0.270
<i>shpshapeindex</i>	0.512	0.494	0.605	-0.426	0.624	0.574	-0.311	-0.523	0.633	0.552	-0.415	-0.532
<i>SI</i>	0.498	0.490	0.648	-0.421	0.630	0.584	-0.316	-0.412	0.632	0.558	-0.351	-0.445
<i>TGI</i>	-0.650	-0.588	-0.558	0.487	-0.556	-0.542	-0.035	0.327	-0.621	-0.561	0.305	0.399
<i>TVI</i>	-0.567	-0.553	-0.564	0.442	-0.580	-0.557	0.031	0.329	-0.615	-0.560	0.214	0.387
<i>VARI</i>	-0.345	-0.341	-0.512	0.272	-0.445	-0.421	0.238	0.161	-0.445	-0.397	0.151	0.206
<i>VVI</i>	0.645	0.584	0.432	-0.505	0.507	0.494	0.149	-0.486	0.582	0.527	-0.387	-0.527
<i>BSI</i>	-0.735	-0.573	-0.424	0.453	-0.460	-0.454	-0.294	0.330	-0.572	-0.496	0.358	0.391
<i>BNDVI</i>	-0.047	-0.184	-0.374	0.207	-0.282	-0.269	0.144	-0.066	-0.231	-0.243	-0.204	0.011
<i>BIM</i>	-0.648	-0.570	-0.392	0.484	-0.455	-0.452	-0.232	0.391	-0.542	-0.494	0.336	0.447

Таблица 8 Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост след агрегиране на пикселите

Вегетационни индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m2	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество в плевелите	Брой плевели в m2	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество в общата зелена маса	Брой растения и плевели в m2
<i>CI</i>	-0.454	-0.436	-0.011	0.209	-0.416	-0.317	-0.148	0.308	-0.496	-0.425	-0.135	0.286
<i>chlorophyll_index_green</i>	-0.648	-0.656	-0.162	0.342	-0.734	-0.615	-0.295	0.611	-0.773	-0.702	-0.290	0.516
<i>CIRE</i>	0.279	0.331	0.330	-0.290	0.474	0.284	0.003	-0.360	0.406	0.342	0.146	-0.366
<i>CVI</i>	-0.603	-0.538	0.195	0.071	-0.620	-0.581	-0.353	0.571	-0.690	-0.611	-0.144	0.307
<i>DATT</i>	-0.047	0.029	0.410	-0.137	0.168	-0.032	-0.213	-0.107	0.046	0.004	0.020	-0.144
<i>DVI</i>	0.359	0.414	0.341	-0.546	0.536	0.519	0.311	-0.504	0.488	0.504	0.376	-0.611
<i>EVI</i>	0.439	0.490	0.336	-0.535	0.600	0.555	0.311	-0.540	0.571	0.568	0.377	-0.620
<i>GCI</i>	0.460	0.508	0.314	-0.458	0.609	0.457	0.149	-0.470	0.589	0.535	0.263	-0.534
<i>GLAI</i>	0.640	0.643	0.140	-0.339	0.723	0.603	0.289	-0.605	0.762	0.689	0.275	-0.511
<i>GLI</i>	0.644	0.653	0.162	-0.352	0.757	0.641	0.308	-0.647	0.781	0.712	0.293	-0.539
<i>GNDVI</i>	0.492	0.549	0.367	-0.455	0.614	0.470	0.167	-0.475	0.613	0.567	0.308	-0.534
<i>GRVI</i>	0.642	0.646	0.141	-0.345	0.735	0.615	0.294	-0.620	0.769	0.696	0.278	-0.521
<i>HI</i>	0.643	0.652	0.168	-0.329	0.703	0.585	0.281	-0.572	0.755	0.685	0.289	-0.489
<i>hueoverallhueindex</i>	-0.101	-0.076	0.090	0.145	-0.166	-0.287	-0.303	0.257	-0.144	-0.181	-0.142	0.218
<i>MSAVI</i>	0.421	0.473	0.335	-0.542	0.593	0.553	0.312	-0.541	0.556	0.557	0.376	-0.625
<i>NDRE</i>	0.295	0.352	0.358	-0.289	0.474	0.290	0.013	-0.364	0.417	0.358	0.170	-0.367
<i>NDVI_RE</i>	0.677	0.694	0.199	-0.420	0.756	0.643	0.317	-0.620	0.803	0.739	0.332	-0.574
<i>NDVI</i>	0.607	0.639	0.276	-0.395	0.699	0.569	0.253	-0.565	0.729	0.670	0.321	-0.532
<i>NGRDI</i>	0.642	0.646	0.141	-0.345	0.735	0.615	0.294	-0.620	0.769	0.696	0.278	-0.521

Вегетационни индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m2	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество в плевелите	Брой плевели в m2	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество в общата зелена маса	Брой растения и плевели в m2
<i>OSAVI</i>	0.515	0.566	0.349	-0.516	0.667	0.588	0.300	-0.570	0.653	0.632	0.379	-0.620
<i>RGBVI</i>	0.642	0.657	0.194	-0.349	0.759	0.648	0.316	-0.648	0.780	0.718	0.313	-0.537
<i>RI</i>	-0.404	-0.418	-0.171	0.405	-0.533	-0.537	-0.337	0.446	-0.517	-0.514	-0.300	0.486
<i>RSAVI</i>	0.307	0.375	0.413	-0.464	0.522	0.412	0.153	-0.447	0.447	0.429	0.291	-0.528
<i>RVI</i>	0.567	0.583	0.179	-0.416	0.707	0.568	0.238	-0.591	0.706	0.634	0.256	-0.559
<i>SAVI</i>	0.440	0.495	0.355	-0.542	0.609	0.561	0.309	-0.542	0.576	0.574	0.384	-0.626
<i>SCI</i>	-0.642	-0.646	-0.141	0.345	-0.735	-0.615	-0.294	0.620	-0.769	-0.696	-0.278	0.521
<i>shpshapeindex</i>	-0.500	-0.490	-0.054	0.224	-0.454	-0.345	-0.153	0.319	-0.544	-0.472	-0.163	0.301
<i>SI</i>	-0.463	-0.445	-0.012	0.213	-0.428	-0.326	-0.148	0.315	-0.508	-0.434	-0.136	0.292
<i>TGI</i>	0.267	0.268	0.063	-0.254	0.376	0.443	0.343	-0.413	0.353	0.375	0.246	-0.365
<i>TVI</i>	0.387	0.438	0.326	-0.533	0.557	0.537	0.321	-0.522	0.517	0.527	0.375	-0.610
<i>VARI</i>	0.642	0.650	0.160	-0.351	0.754	0.638	0.308	-0.645	0.778	0.709	0.292	-0.537
<i>VVI</i>	0.630	0.650	0.203	-0.266	0.712	0.538	0.187	-0.568	0.751	0.663	0.241	-0.443
<i>BSI</i>	-0.543	-0.558	-0.164	0.186	-0.561	-0.383	-0.093	0.411	-0.623	-0.533	-0.169	0.316
<i>BNDVI</i>	0.598	0.647	0.349	-0.434	0.741	0.611	0.268	-0.614	0.743	0.695	0.359	-0.582
<i>BIM</i>	-0.558	-0.568	-0.142	0.203	-0.595	-0.416	-0.113	0.448	-0.649	-0.555	-0.168	0.344

Таблица 9 Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза вретене (BVCH 45) след агрегиране на пикселите.

Вегетационни индекси	Височина на растението	Дължина на класа	Брой растения в m	Брой на зърнага в класа	Тегло на зърното от клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
<i>CI</i>	0.149	0.353	-0.028	0.215	0.136	0.204	-0.021	0.195
<i>Chlorophl index</i>	-0.027	0.341	-0.041	0.053	0.044	0.100	-0.002	0.144
<i>CIRE</i>	-0.254	-0.365	-0.102	-0.114	-0.241	-0.287	-0.255	-0.236
<i>CVI</i>	-0.133	0.400	-0.139	-0.060	-0.146	-0.076	-0.222	0.144
<i>DATT</i>	-0.319	-0.357	-0.149	-0.127	-0.277	-0.324	-0.304	-0.280
<i>DVI</i>	-0.263	-0.689	0.081	0.155	0.042	-0.014	-0.051	-0.333
<i>EVI</i>	-0.234	-0.642	0.074	0.100	0.017	-0.043	-0.040	-0.315
<i>GCI</i>	-0.162	-0.225	-0.096	-0.193	-0.301	-0.329	-0.295	-0.141
<i>GLAI</i>	-0.023	-0.356	0.039	-0.097	-0.070	-0.131	0.008	-0.164
<i>GLI</i>	0.099	-0.317	0.051	0.026	-0.001	-0.046	-0.004	-0.113
<i>GNDVI</i>	-0.128	-0.203	-0.092	-0.196	-0.296	-0.321	-0.291	-0.122
<i>GRVI</i>	0.016	-0.349	0.044	-0.059	-0.048	-0.105	0.005	-0.152
<i>HI</i>	-0.067	-0.350	0.024	-0.147	-0.095	-0.160	0.009	-0.172
<i>hueoverallhueindex</i>	0.189	0.769	-0.177	-0.325	-0.274	-0.208	-0.160	0.345
<i>MSAVI</i>	-0.182	-0.583	0.063	0.065	-0.003	-0.063	-0.037	-0.294
<i>NDRE</i>	-0.231	-0.354	-0.101	-0.118	-0.234	-0.282	-0.245	-0.235
<i>NDVI_RE</i>	0.044	-0.280	0.034	-0.092	-0.088	-0.134	-0.041	-0.102
<i>NDVI</i>	-0.009	-0.294	-0.002	-0.097	-0.122	-0.167	-0.092	-0.131
<i>NGRDI</i>	0.016	-0.349	0.044	-0.059	-0.048	-0.105	0.005	-0.152
<i>OSAVI</i>	-0.164	-0.553	0.051	0.049	-0.022	-0.079	-0.058	-0.271
<i>RGBVI</i>	0.122	-0.302	0.051	0.046	0.009	-0.032	-0.010	-0.089
<i>RI</i>	0.163	0.586	-0.077	-0.043	-0.056	0.022	-0.089	0.323
<i>RSAVI</i>	-0.274	-0.571	-0.003	0.034	-0.089	-0.144	-0.147	-0.311
<i>RVI</i>	-0.073	-0.327	0.002	-0.123	-0.155	-0.204	-0.099	-0.164
<i>SAVI</i>	-0.217	-0.631	0.069	0.106	0.015	-0.043	-0.048	-0.311
<i>SCI</i>	-0.016	0.349	-0.044	0.059	0.048	0.105	-0.005	0.152
<i>shpshapeindex</i>	0.250	0.300	0.015	0.306	0.178	0.248	-0.026	0.211
<i>SI</i>	0.142	0.351	-0.029	0.210	0.129	0.198	-0.023	0.202
<i>TGI</i>	-0.161	-0.762	0.174	0.328	0.260	0.196	0.140	-0.339
<i>TVI</i>	-0.255	-0.690	0.086	0.160	0.053	-0.004	-0.039	-0.332
<i>VARI</i>	0.063	-0.334	0.051	-0.011	-0.022	-0.073	0.000	-0.129
<i>VVI</i>	0.382	0.656	-0.124	-0.206	-0.208	-0.150	-0.168	0.370
<i>BSI</i>	-0.434	-0.729	0.066	0.288	0.154	0.105	-0.014	-0.538
<i>BNDVI</i>	-0.008	-0.247	-0.078	-0.016	-0.150	-0.175	-0.266	-0.172
<i>BIM</i>	-0.327	-0.747	0.171	0.375	0.318	0.266	0.188	-0.381

В Таблица 9 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (ВВСН 45) след агрегиране на пикселите. От таблицата се установява, че след агрегиране на пикселите във фаза вретенене нито един от индексите не е в корелационна зависимост с добива от биологичен лемец. Установява се, че ВИ *hueoverallhueindex* и *VVI* са съответно в силна ($r= 0.769$) и средна ($r= 0.656$) корелационна зависимост с елемента на продуктивност дължина на класа.

Таблица 10 Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лемец и вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат във фаза млечна зрялост (ВВСН 75) след агрегиране на пикселите.

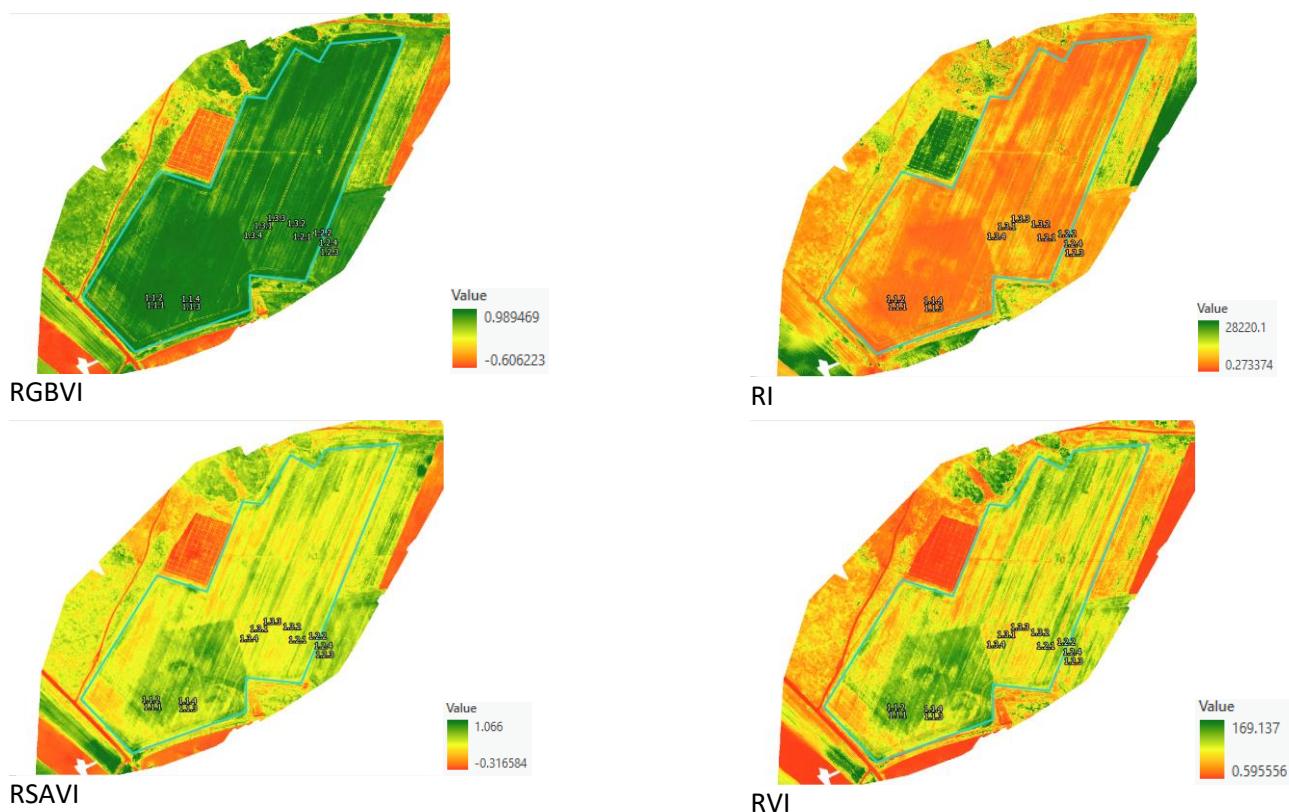
Вегетационни индекси	Височина на растението	Дължина на класа	Брой растения в м	Брой на зърната в класа	Тегло на зърното от клас	Тегло на зърното от растение	Маса на 1000 зърна	Добив
<i>CI</i>	-0.337	-0.309	-0.319	0.038	-0.127	-0.161	-0.347	-0.654
<i>chlorophyll_index_green</i>	-0.684	-0.239	-0.680	-0.376	-0.391	-0.456	-0.387	-0.848
<i>CIRE</i>	0.289	0.164	0.333	0.064	0.066	0.135	0.138	0.643
<i>CVI</i>	-0.711	-0.139	-0.802	-0.519	-0.457	-0.497	-0.345	-0.580
<i>DATT</i>	-0.048	0.052	0.047	-0.161	-0.211	-0.149	-0.128	0.347
<i>DVI</i>	0.447	0.134	0.427	0.406	0.294	0.388	0.146	0.675
<i>EVI</i>	0.514	0.173	0.483	0.396	0.319	0.411	0.207	0.747
<i>GCI</i>	0.437	0.252	0.384	0.164	0.231	0.299	0.313	0.792
<i>GLAI</i>	0.666	0.251	0.668	0.357	0.376	0.442	0.385	0.850
<i>GLI</i>	0.709	0.217	0.719	0.444	0.419	0.489	0.367	0.844
<i>GNDVI</i>	0.475	0.250	0.399	0.180	0.242	0.309	0.305	0.797
<i>GRVI</i>	0.678	0.245	0.684	0.381	0.388	0.456	0.381	0.852
<i>HI</i>	0.653	0.251	0.636	0.312	0.360	0.420	0.397	0.840
<i>hueoverallhueindex</i>	-0.234	0.033	-0.341	-0.393	-0.203	-0.254	0.021	-0.165
<i>MSAVI</i>	0.503	0.161	0.478	0.411	0.319	0.413	0.192	0.733
<i>NDRE</i>	0.305	0.164	0.339	0.071	0.068	0.138	0.132	0.649
<i>NDVI_RE</i>	0.695	0.273	0.642	0.369	0.416	0.481	0.429	0.887
<i>NDVI</i>	0.621	0.246	0.578	0.301	0.337	0.404	0.359	0.847
<i>NGRDI</i>	0.678	0.245	0.684	0.381	0.388	0.456	0.381	0.852
<i>OSAVI</i>	0.587	0.199	0.537	0.395	0.349	0.436	0.265	0.804
<i>RGBVI</i>	0.722	0.194	0.729	0.467	0.432	0.501	0.360	0.828
<i>RI</i>	-0.592	-0.119	-0.520	-0.486	-0.393	-0.460	-0.205	-0.529
<i>RSAVI</i>	0.379	0.146	0.383	0.253	0.172	0.265	0.107	0.685
<i>RVI</i>	0.579	0.266	0.581	0.309	0.331	0.405	0.358	0.861
<i>SAVI</i>	0.526	0.167	0.486	0.410	0.328	0.420	0.205	0.744
<i>SCI</i>	-0.678	-0.245	-0.684	-0.381	-0.388	-0.456	-0.381	-0.852
<i>shpshapeindex</i>	-0.381	-0.301	-0.336	0.025	-0.152	-0.184	-0.374	-0.682
<i>SI</i>	-0.352	-0.312	-0.329	0.029	-0.136	-0.171	-0.353	-0.660
<i>TGI</i>	0.431	-0.021	0.495	0.529	0.329	0.392	0.063	0.347
<i>TVI</i>	0.475	0.140	0.460	0.418	0.309	0.403	0.164	0.693
<i>VARI</i>	0.705	0.220	0.717	0.438	0.415	0.486	0.367	0.844
<i>VVI</i>	0.629	0.212	0.616	0.300	0.348	0.396	0.387	0.793

<i>BSI</i>	-0.470	-0.244	-0.432	-0.086	-0.220	-0.247	-0.371	-0.687
<i>BNDVI</i>	0.660	0.198	0.622	0.401	0.382	0.456	0.328	0.846
<i>BIM</i>	-0.496	-0.250	-0.475	-0.123	-0.242	-0.275	-0.382	-0.723

В Таблица 10 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза млечна зрялост (ВВСН 75) след агрегиране на пикселите. От таблицата се установява, че 21 от ВИ са в силна корелационна зависимост с добива от биологичен лимец, като единадесет от тях са в много силна корелационна зависимост с добива от биологичен лимец.

В заключение може да се обобщи, че когато се прилага агрегация на пикселите получени от БЛА данни с много голяма разделителна способност, за охарактеризирането на посев от лимец отглеждан в условията на биологично земеделие през фаза вретенене (ВВСН 45), ВИ RI е най-подходящ за охарактеризиране на посева, тъй като, той е в силна корелационна зависимост с четири от показателите охарактеризиращи посева. Също така се установява, че през фаза вретенене когато се прилага агрегиране на пикселите до големина 1 m ВИ не могат да описват добре състоянието на посева. По отношение на възможностите да се предвижда добива от биологичен лимец с помощта на БЛА данни и след тяхната агрегация до пиксел с големина 1 m се установи, че тази вегетационна фаза вретенене (ВВСН 45) не е подходяща.

По отношение на прилагане на агрегация на пикселите получени от БЛА данни за охарактеризирането на посева през фаза млечна зрялост (ВВСН 75) най-подходящ ВИ, който може да се използва за охарактеризиране на посева през тази фаза е NDVI_RE, тъй като той е в силна корелационна връзка с най-много (пет) от показателите охарактеризиращи полето. По отношение на възможностите да се предвижда добива от биологичен лимец с помощта на БЛА данни и след тяхната агрегация до пиксел с големина 1 m се установи, че тази вегетационна фаза млечна зрялост (ВВСН 75) е подходяща, тъй като силна корелационна зависимост с добива имат 21 от ВИ. От тези 21 ВИ 12 са много силна корелационна връзка с добива ($r \geq 0.80$). Като най-подходящи за предвиждане на добива се очертават следните 6 ВИ: GLAI, GLI, GRVI, NGRDI, RGBVI и VARI. Освен, че са с много силна корелационна зависимост с добива те са и с силна корелационна зависимост и с два от елементите на продуктивността. ВИ NDVI_RE се очертава като най-подходящ за прогнозиране на добива, тъй като той е с най-силната корелационна зависимост ($r= 0.887$).



Фигура 18 Картосхеми на ВИ фаза вретенене генерирани от БЛА данни

Корелационни зависимости между наземни данни и генерирани вегетационни индекси от Sentinel-2

В Таблица 11 са представени данни за установените корелационни зависимости между изследваните показатели, характеризиращи наземната маса във фаза братене (BBCN 29) и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2. От генерираните 17 вегетационни индекса 14 са в силна положителна корелация със свежото и сухо тегло на растенията и свежото и сухо тегло на общата зелена маса при много добра доказаност. Това показва, че тези вегетационни индекси успешно описват състоянието на посева още в ранни фази от развитието на посева (братене). Установени са силни положителни корелации с висока статистическа доказаност между TO_INDEX и NDWI с броя на плевелите в m^2 и броя растения и плевели в m^2 , съответно ($r=0.938^{**}$, $r=0.898^{**}$) и ($r=0.935^{**}$, $r=0.894^{**}$). Тези взаимовръзки дават основание вегетационните индекси да се използват при описание на посев въз основа на неговата гъстота. Високите стойности на вегетационните индекси ще доказват добра гарнираност и гъстота на растенията и плевелите в посева.

В Таблица 12 са представени данни за установените корелационни зависимости между изследваните показатели, характеризиращи наземната маса във фаза вретенене (BBCN 45) и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2. От таблицата е видно, че във фаза вретенене установените силни положителни взаимовръзки между вегетационните индекси и показателите за наземна маса са много повече. Това подсказва, че фаза вретенене е по-подходяща за дистанционно анализиране на посева. От резултатите в таблицата става ясно, че с изключение на индексите WDRVI, TO_INDEX всички останали вегетационни индекси показват силна корелация и при 12-те показатели.

Таблица 11. Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза братене (BBCH 29)

Показатели Индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество на общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
WDRVI	0.557	0.557	0.149	-0.028	0.683*	0.194	-0.289	-0.379	0.773**	0.612*	-0.114	-0.283
TO_INDEX	-0.933**	-0.892**	-0.045	0.537	0.008	0.127	0.177	0.938**	-0.840**	-0.806**	-0.131	0.898**
TCARI	0.934**	0.942**	0.108	-0.504	0.125	0.43	-0.174	-0.919**	0.921**	0.887**	0.111	-0.871**
SR	0.906**	0.944**	0.150	-0.629*	-0.071	-0.146	-0.153	-0.958**	0.837**	0.848**	0.139	-0.951**
OSAVI	0.931**	0.947**	0.116	-0.525	0.077	-0.075	-0.178	-0.937**	0.907**	0.880**	0.111	-0.893**
NMDI	0.923**	0.918**	0.095	-0.562	-0.056	-0.189	-0.211	-0.968**	0.836**	0.806**	0.108	-0.930**
NDWI	-0.924**	-0.948**	-0.097	0.533	-0.066	0.068	0.159	0.935**	-0.900**	-0.884**	-0.127	0.894**
NDVIG	0.940**	0.920**	0.050	-0.493	0.118	-0.059	-0.185	-0.918**	0.911**	0.860**	0.107	-0.865**
NDVI	0.945**	0.913*	0.047	-0.489	0.120	-0.037	-0.158	-0.908**	0.901**	0.862**	0.149	-0.856**
NDRE2	0.946**	0.911**	0.074	-0.493	0.100	-0.076	-0.191	-0.920**	0.892**	0.845**	0.127	-0.867**
NDRE1	0.946**	0.912**	0.095	-0.472	0.138	-0.065	-0.205	-0.910**	0.905**	0.850**	0.121	-0.851**
GNDVI	0.701*	0.790**	0.187	-0.411	0.184	-0.071	-0.236	-0.705*	0.756**	0.731**	0.076	-0.678*
GDVI	0.918**	0.948**	0.126	-0.565	-0.021	-0.135	-0.176	-0.964**	0.867**	0.857**	0.117	-0.929**
EVI	0.938**	0.917**	0.050	-0.520	0.058	-0.087	-0.174	-0.931**	0.883**	0.846**	0.128	-0.886**
EVI2	0.929**	0.948**	0.135	-0.540	0.031	-0.102	-0.176	-0.952**	0.887**	0.870**	0.929**	0.929**
DVI	0.923**	0.949**	0.127	-0.558	0.001	-0.123	-0.179	-0.960**	0.877**	0.862**	0.114	-0.922**
CLREDEDGE	0.934**	0.942**	0.108	-0.504	0.125	-0.043	-0.174	-0.919**	0.921**	0.887**	0.111	-0.871**

Таблица 12. Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза вретенене (BBCN 45)

Показатели Индекси	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество на общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
WDRVI	0.534	0.683*	0.293	-0.190	0.459	0.527	0.919**	-0.555	0.512	0.582*	0.190	-0.485
TO_INDEX	-0.665*	-0.594*	-0.412	0.252	-0.488	-0.498	-0.385	0.512	-0.573	-0.533	0.364	0.471
TCARI	0.761**	0.979**	0.837**	-0.717**	0.942**	0.956**	0.439	-0.847**	0.951**	0.970**	-0.111	-0.869**
SR	-0.740**	-0.937**	-0.695*	0.588*	-0.864**	-0.886**	-0.576	0.842**	-0.884**	-0.908**	0.044	0.827**
OSAVI	0.756**	0.979**	0.891**	-0.770**	0.968*	0.975**	0.348	-0.839**	0.969**	0.983**	-0.145	-0.879**
NMDI	0.756**	0.974**	0.825**	-0.717**	0.923**	0.939**	0.465	-0.784**	0.935**	0.957**	-0.089	-0.821**
NDWI	-0.777**	-0.963**	-0.909	0.806**	-0.963**	-0.964**	-0.286	0.820**	-0.971**	-0.970**	0.229	0.876**
NDVIG	0.777**	0.944**	0.771**	-0.669*	0.889**	0.900**	0.476	-0.774**	0.915**	0.920**	-0.129	-0.799**
NDVI	0.759**	0.960**	0.751**	-0.630	0.871**	0.898**	0.576	-0.789**	0.895**	0.924**	-0.064	-0.799**
NDRE2	0.753**	0.975**	0.815**	-0.713**	0.933**	0.947**	0.47	-0.819**	0.942**	0.963**	-0.076	-0.847**
NDRE1	0.756**	0.963**	0.784**	-0.685*	0.909**	0.924**	0.499	-0.803**	0.924**	0.943**	-0.073	-0.826**
GNDVI	0.564	0.652*	0.259	-0.176	0.443	0.496	0.882**	-0.533	0.508	0.551	0.126	-0.464
GDVI	0.743**	0.965**	0.929**	-0.812**	0.981**	0.980**	0.255	-0.826**	0.976**	0.982**	-0.18	-0.882**
EVI	0.756**	0.982**	0.851**	-0.744**	0.955**	0.966**	0.415	-0.826**	0.960**	0.978**	-0.105	-0.861**
EVI2	0.746**	0.972**	0.906**	-0.783**	0.976**	0.978**	0.301	-0.837**	0.973**	0.983**	-0.156	-0.882**
DVI	0.742**	0.968**	0.924**	-0.805**	0.981**	0.981**	0.27	-0.829**	0.975**	0.983**	-0.169	-0.882**
CLREDEGE	0.761**	0.979**	0.837**	-0.717**	0.942**	0.956**	0.439	-0.847**	0.951**	0.970**	-0.111	-0.869**

Таблица 13. Корелационни зависимости между показатели, характеризиращи наземната маса на посева от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза млечна зрялост (BBCN 75)

Показатели	Свежо тегло на растенията	Сухо тегло на растенията	% сухо вещество в растенията	Брой растения в m ²	Свежо тегло на плевелите	Сухо тегло на плевелите	% сухо вещество на плевелите	Брой плевели в m ²	Свежо тегло на общата зелена маса	Сухо тегло на общата зелена маса	% сухо вещество на общата зелена маса	Брой растения и плевели в m ²
Индекси												
WDRVI	0.058	0.029	-0.040	0.574	-0.340	-0.365	-0.166	0.269	-0.118	-0.149	-0.081	0.525
TO_INDEX	-0.224	-0.245	-0.102	0.001	0.185	0.109	-0.009	0.041	-0.064	-0.106	-0.191	0.019
TCARI	0.689*	0.706*	0.182	-0.437	0.772**	0.723**	0.386	-0.52	0.818**	0.784**	0.363	-0.542
SR	0.718**	0.731**	0.159	-0.454	0.776**	0.745**	0.424	-0.566	0.839**	0.810**	0.387	-0.574
OSAVI	0.748**	0.755**	0.143	-0.438	0.775**	0.763**	0.469	-0.575	0.859**	0.833**	0.410	-0.567
MNDI	0.622*	0.584*	-0.044	0.039	0.371	0.177	-0.089	-0.06	0.587*	0.454	-0.048	0.001
NDWI	-0.807**	-0.819**	-0.154	0.341	-0.680*	-0.623*	-0.335	0.546	-0.854**	-0.810**	-0.370	0.486
NDVIG	0.512	0.493	0.041	0.226	0.265	0.059	-0.161	0.024	0.465	0.342	-0.059	0.170
NDVI	0.597*	0.559	-0.078	-0.358	0.757**	0.624*	0.226	-0.391	0.750**	0.644*	0.083	-0.428
NDRE2	0.597*	0.585*	0.041	-0.126	0.547	0.338	-0.037	-0.178	0.652*	0.529	0.002	-0.169
NDRE1	0.596*	0.570	0.001	-0.010	0.460	0.271	-0.038	-0.119	0.611*	0.489	-0.006	-0.061
GNDVI	0.158	0.130	-0.026	0.448	-0.096	-0.141	-0.058	0.121	0.061	0.018	-0.024	0.370
GDVI	0.812**	0.808**	0.094	-0.414	0.741**	0.762**	0.525	-0.617*	0.886**	0.867**	0.445	-0.569
EVI	0.689*	0.665*	-0.009	-0.350	0.797**	0.646*	0.237	-0.47	0.830**	0.722**	0.142	-0.458
EVI2	0.775**	0.779**	0.133	-0.435	0.772**	0.771**	0.494	-0.599*	0.875**	0.853**	0.430	-0.576
DVI	0.787**	0.784**	0.104	-0.430	0.758**	0.778**	0.527	-0.609*	0.877**	0.859**	0.441	-0.577*
CLREDEDGE	0.689*	0.706*	0.182	-0.437	0.772**	0.723**	0.386	-0.520	0.818**	0.784**	0.363	-0.542

В Таблица 13 са представени резултатите от проведения корелационен анализ на показателите свързани с наземната маса в посев от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза млечна зрялост (BBCN 75). За разлика от установените корелационни връзки във фазите братене и вретене в тази фаза значимите корелации са по-малко. От таблицата става ясно, че във фаза млечна зрялост при 5 от 12 показатели няма установени корелационни връзки с изследваните вегетационни индекси. Това показва, че в млечна зрялост наборът от вегетационни индекси по-трудно биха охарактеризирали състоянието на посева.

В Таблица 14 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани с данни от сателита Sentinel-2 във фаза братене (BBCN 29). Данните показват, че във фаза братене 14 от 17 ВИ са в много силна положителна корелационна връзка с показателя добив. WDRVI е със средна корелация ($r=0.615^*$) с добива, а при TO_INDEX и NDWI установените корелационни връзки с добива са силни, но отрицателни.

Като неподходящи за обследване на посев от лимец биологично производство във фаза братене и предсказване на продуктивността и добива са вегетационните индекси TO_INDEX и NDWI.

Таблица 14 Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза братене (BVCH 29)

Показатели Индекси	Височина на растеният а (cm)	Дължин а на класа (cm)	Брой класон осни стъбла на m ²	Брой на зърната в класа	Тегло на зърнат а в един клас (g)	Тегло на зърното от растен ие (g)	Маса на 1000 зърна (g)	Добив (kg/da)
WDRVI	0.580*	0.169	0.506	0.093	0.212	0.23	0.364	0.615*
TO_INDEX	-0.817**	-0.176	-0.797**	-0.741**	-0.791**	-0.848**	-0.649	-0.867**
TCARI	0.831**	0.142	0.843**	0.710**	0.809**	0.848**	0.733**	0.849**
SR	0.798**	0.08	0.822**	0.835**	0.882**	0.924**	0.727**	0.816**
OSAVI	0.826**	0.131	0.845**	0.742**	0.830**	0.870**	0.737**	0.850**
NMDI	0.801**	0.134	0.810**	0.798**	0.833**	0.889**	0.673*	0.855**
NDWI	-0.824**	-0.134	-0.833**	-0.743**	-0.833**	-0.873**	-0.744**	-0.845**
NDVIG	0.824**	0.161	0.820**	0.698*	0.785**	0.834**	0.697*	0.859**
NDVI	0.846**	0.205	0.809**	0.673*	0.772**	0.821**	0.688*	0.857**
NDRE2	0.845**	0.199	0.813**	0.690*	0.771**	0.823**	0.670*	0.870**
NDRE1	0.854**	0.21	0.815**	0.667*	0.756**	0.806**	0.667*	0.871**
GNDVI	0.750**	0.194	0.611	0.524	0.551	0.599*	0.521	0.787**
GDVI	0.807**	0.109	0.838**	0.799**	0.863**	0.906**	0.738**	0.841**
GCVI	0.808**	0.107	0.827**	0.799**	0.861**	0.904**	0.735**	0.838**
EVI	0.826**	0.17	0.811**	0.723**	0.797**	0.849**	0.687*	0.861**
EVI2	0.828**	0.135	0.845**	0.763**	0.843**	0.883**	0.736**	0.851**
DVI	0.813**	0.113	0.842**	0.788**	0.857**	0.899**	0.738**	0.844**
CLREDEGE	0.831**	0.142	0.843**	0.710**	0.809**	0.848**	0.733**	0.849**

Таблица 15 Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза вретенене (BBCH 49)

Показатели Индекси	Височина на растенията (cm)	Дължина на класа (cm)	Брой класоносни стъбла на (m ²)	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в един клас (g)	Тегло на зърното от растение (g)	Маса на 1000 зърна (g)	Добив (kg/da)
WDRVI	0.585*	0.017	0.719**	0.360	0.475	0.496	0.530	0.693*
TO_INDEX	-0.615*	-0.338	-0.517	-0.321	-0.314	-0.374	-0.130	-0.653*
TCARI	0.812**	0.137	0.831**	0.794**	0.843**	0.892**	0.692*	0.859**
SR	-0.761**	-0.105	-0.814**	-0.702*	-0.740**	-0.796**	-0.630*	-0.885**
OSAVI	0.803**	0.129	0.814**	0.835**	0.873**	0.921**	0.696*	0.829**
NMDI	0.852**	0.204	0.819**	0.752**	0.808**	0.862**	0.659*	0.860**
NDWI	-0.816**	-0.176	-0.778**	-0.816**	-0.846**	-0.896**	-0.655*	-0.834**
NDVIG	0.868**	0.241	0.798**	0.700*	0.748**	0.806**	0.608*	0.884**
NDVI	0.830**	0.177	0.835**	0.705*	0.767**	0.820**	0.641*	0.873**
NDRE2	0.817**	0.144	0.819**	0.774**	0.814**	0.869**	0.669*	0.869**
NDRE1	0.838**	0.174	0.817**	0.738**	0.788**	0.843**	0.659*	0.878*
GNDVI	0.628*	0.085	0.686*	0.316	0.415	0.442	0.475	0.727**
GDVI	0.780**	0.109	0.782**	0.868**	0.887**	0.934**	0.683*	0.792**
EVI	0.808**	0.144	0.811**	0.801**	0.830**	0.886**	0.660	0.858*
EVI2	0.797**	0.129	0.800**	0.847**	0.880**	0.928**	0.692*	0.810**
DVI	0.780**	0.105	0.788**	0.867**	0.888**	0.935**	0.688*	0.794**
CLREDEDGE	0.812**	0.137	0.831**	0.794**	0.843**	0.892**	0.692*	0.859**

Таблица 16 Корелационни зависимости между елементи на продуктивността и добива от лимец и генерирани вегетационни индекси с данни от сателита Sentinel-2 във фаза млечна зрялост

Показатели Индекси	Височина на растенията (cm)	Дължина на класа (cm)	Брой класонос ни стъбла на (m ²)	Брой на зърната в класа	Тегло на зърната в един клас (g)	Тегло на зърното от растение (g)	Маса на 1000 зърна (g)	Добив (kg/da)
WDRVI	-0.290	-0.233	-0.076	-0.446	-0.425	-0.458	-0.210	-0.125
TO_INDEX	-0.163	-0.417	0.139	0.024	0.105	0.080	0.327	0.070
TCARI	0.961**	0.411	0.618*	0.499	0.659*	0.676*	0.588*	0.652*
OSAVI	0.944**	0.367	0.656*	0.541	0.674*	0.692*	0.606*	0.707*
NMDI	0.726**	0.605*	0.289	-0.122	0.041	0.061	0.154	0.449
NDWI	-0.882**	-0.392	-0.558	-0.462	-0.527	-0.553	-0.411	-0.656*
NDVIG	0.554	0.456	0.269	-0.279	-0.083	-0.077	0.117	0.378
NDVI	0.900**	0.472	0.594*	0.333	0.525	0.552	0.572	0.657*
NDRE2	0.850**	0.666*	0.391	0.005	0.209	0.238	0.293	0.544
NDRE1	0.799**	0.630*	0.383	-0.071	0.149	0.167	0.268	0.487
GNDVI	-0.063	-0.162	0.138	-0.310	-0.213	-0.242	0.019	0.056
GDVI	0.894**	0.321	0.661*	0.563	0.646*	0.667*	0.570	0.743**
EVI	0.870**	0.378	0.634*	0.357	0.497	0.534	0.541	0.760**
EVI2	0.928**	0.338	0.666*	0.560	0.673*	0.692*	0.599*	0.725**
DVI	0.911**	0.328	0.670*	0.568	0.670*	0.690*	0.601*	0.737**
CLREDEDGE	0.961**	0.411	0.618*	0.499	0.659*	0.676*	0.588*	0.652*

В Таблица 15 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани с данни от сателита Sentinel-2 във фаза вретенене (BBCH 49). При анализа на данните от таблицата се вижда, че ВИ. WDRVI и GNDVI при измерването във фаза вретенене са в силна корелационна връзка с показателите добив и брой класоносни стъбла на m^2 съответно ($r=0.693^*$; $r=0.727^{**}$) и ($r=0.719^{**}$; $r=0.686^*$), но не са в корелационна зависимост с останалите показатели. Всички останали вегетационни индекси са с доказани силни положителни корелации с добива и неговите елементи. Както и през фаза братене, така и във вретенене не са установени корелации при показателя дължина на класа (Таблица 14 и Таблица 15). Това идва да покаже, че този показател не е подходящ при изследвания набор от вегетационни индекси за описание на посева и предсказване на добива.

В Таблица 16 са представени установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани с данни от сателита Sentinel-2 във фаза млечна зрялост (BBCH 75). Данните от таблицата показват драстична промяна в корелациите между генералните индекси и елементите на продуктивност и добива спрямо установените в предходните фази. Във фаза млечна зрялост 5 от вегетационните индекси са в силна положителна корелационна връзка с добива - OSAVI ($r=0.707^*$), GDVI ($r=0.743^{**}$), EVI ($r=0.760^{**}$), EVI2 ($r=0.725^{**}$) и DVI ($r=0.737^{**}$),

От направеният анализ на Таблицы 14, 15 и 16 се вижда, че индексите който са най-подходящи за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива във всяка една от трите изследвани фази, тъй като запазват високата си корелация с добива и през трите фази на развитие са OSAVI, GDVI, EVI, EVI2 и DVI.

В заключение може да се каже, че възможността на ВИ генерирани от данни от сателита Sentinel-2 да описват състоянието на посева по показателите на посева се установява, че най-подходящата фаза за охарактеризиране състоянието на посева е вретенене (BBCH 45). От анализа става ясно, че ВИ TCARI, SR, OSAVI, NDVI, GDVI, GCVI, EVI, EVI2, DVI и CLREDEDGE, са най-подходящи за описване състоянието на посева, тъй като те са във висока корелационна връзка и през трите проучени фази.

По отношение на възможността за охарактеризиране елементите на продуктивност и добива чрез ВИ генерирани от данни от сателита Sentinel-2 се установява, че най-подходящи са SR, OSAVI, GDVI, EVI, EVI2 и DVI.

Регресионен и пространствен анализ

След направените корелационен и Fit анализ с наземните данни и данните от БЛА и Sentinel-2 са определени ВИ с най-висока и значима статистическа корелация, който са използвани за създаването на линейни регресионни модели с наземните данни. Така получените уравнения на линейни регресии се използват за създаване на пространствени модели на свежата биомаса на лимец и добива от лимец. Работният процес е представен на Фигура 8.

Таблица 17 Регресионна статистика на свежа биомаса и добив с ВИ от Sentinel-2

РЕГРЕСИОННИ МОДЕЛИ С Sentinel-2				
	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error
Свежа биомаса лимец				
NDRE (BBCH 29)	0.9460	0.8949	0.8844	3.8205
NDVI (BBCH 29)	0.9453	0.8936	0.8830	3.8443
NDVIG (BBCH 29)	0.9402	0.8839	0.8723	4.0157
NDRE (BBCH 45)	0.7560	0.5716	0.5288	27.9303
NDVI (BBCH 45)	0.7592	0.5764	0.5340	27.7733
NDVIG (BBCH 45)	0.7766	0.6030	0.5633	26.8861
DVI (BBCH 75)	0.7869	0.6192	0.5812	34.6122
EVI2 (BBCH 75)	0.7753	0.6011	0.5612	35.4272
GDVI (BBCH 75)	0.8123	0.6598	0.6258	32.7140
Свежа биомаса плевели				
WDRVI (BBCH 29)	0.6831	0.4667	0.4133	3.5045
TCARI (BBCH 45)	0.9420	0.8873	0.8760	37.1254
EVI2 (BBCH 45)	0.9760	0.9526	0.9479	24.0697
DVI (BBCH 45)	0.9809	0.9622	0.9585	21.4890
EVI (BBCH 75)	0.7759	0.6020	0.5623	24.5515
Добив				
ENDRE (BBCH 29)	0.8707	0.7581	0.7339	12.9547
EVI (BBCH 29)	0.8613	0.7418	0.7160	13.3846
NDRE (BBCH 45)	0.8778	0.7706	0.7477	12.6154
NDVIG (BBCH 45)	0.8840	0.7815	0.7596	12.3127
GDVI (BBCH 75)	0.7428	0.5518	0.5070	17.6337
EVI (BBCH 75)	0.5868	0.3444	0.2788	21.3278

От Таблица 17 се установява, че за свежата биомаса на лимеца най-добри регресионни модели във ваза братене са ВИ NDRE, NDVI и NDVIG. Най-добър линеен регресионен модел при фаза братене се получава с ВИ NDRE1. Във фаза вретенене регресионните модели с ВИ не са достатъчно точни ($r^2=0.57 \div 0.60$). При фаза млечна зрялост стандартната грешка достига до 35 g/m^2 , а най-ниска е тя с ВИ GDVI.

По отношение на линейните регресионни модели на ВИ със свежата биомаса на плевелите са WDRVI във фаза братене, DVI във фаза вретенене и EVI във фаза млечна зрялост.

При добивите най-добрите линейни регресионни модели се получават с ВИ NDRE във фаза братене, NDVIG във фаза вретенене и GDVI във фаза млечна зрялост. Въпреки това най-добрия линеен регресионен модел се получава с ВИ NDVIG във фаза вретенене. NDVIG може надеждно да се използва за оценката на добива още във фаза вретенене с използване на данни от Sentinel-2.

Таблица 18 Регресионна статистика на свежа биомаса и добив с ВИ от БЛА

РЕГРЕСИОННИ МОДЕЛИ С БЛА				
	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error
Свежа биомаса лимец				
BIM (BBCH 45)	0.7349	0.5400	0.4941	28.9408
Свежа биомаса плевели				
VARI (BBCH 75)	0.6334	0.4012	0.3413	12.2160
Добив				
BSI (BBCH 45)	0.6541	0.4279	0.3707	19.9228
VVI (BBCH 45)	0.6000	0.3600	0.2960	21.0715
SCI (BBCH 75)	0.6572	0.4319	0.3751	19.8527
CVI (BBCH 75)	0.6894	0.4752	0.4227	19.0814
CHL_INDEX (BBCH 75)	0.6535	0.4271	0.3698	19.9376

От Таблица 18 се установява, че за свежата биомаса на лимеца само ВИ BIM във фаза вретенене има добър линейно регресионен модел. Свежата биомаса на плевелите не се определя достатъчно точно единствено ВИ VARI във фаза млечна зрялост може да се използва.

Добива с данни получени от БЛА най-сигурно може да бъде определен на базата на ВИ CVI във фаза млечна зрялост. На следващите фигури са представени линейните регресионни модели на ВИ със свежото тегло на лимеца, плевелите и добива.

Таблица 19 Регресионна статистика на свежо тегло на растенията, плевелите и общата зелена маса (BBCH 45) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите

	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error
Свежо тегло на растенията				
hueoverallhueindex (BBCH 45)	0.65893398	0.434193991	0.37761339	32.09877404
RI (BBCH 45)	0.66233615	0.438689182	0.3825581	31.97101129
Свежо тегло на плевелите				
RI (BBCH 45)	0.65728392	0.432022155	0.375224371	83.33417979
Свежо тегло общо на зелената маса				
RI (BBCH 45)	0.70241565	0.493387748	0.442726523	102.2870933

В Таблица 19 е представена регресионна статистика на свежо тегло на растенията, плевелите и общата зелена маса (BBCH 45) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите. Регресионната статистика е направена с ВИ, които имат силна корелационна зависимост с някои от показателите охарактеризиращи посева от биологичен лимец.

Таблица 20 Регресионна статистика на свежо тегло на растенията, плевелите и общата зелена маса (BBCH 75) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите

	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error
Свежо тегло на растенията				
NDVI_RE (BBCH 75)	0.677382929	0.458848	0.404732395	41.26263797
Свежо тегло на плевелите				
RGBVI (BBCH 75)	0.647678838	0.419488	0.361436666	16.45668806
NDVI_RE (BBCH 75)	0.755756217	0.571167	0.528284205	25.48625012
OSAVI (BBCH 75)	0.587901682	0.345628	0.280191227	17.47225727
Свежо тегло общо на зелената маса				
NDVI_RE (BBCH 75)	0.802566913	0.644114	0.608525014	50.10610371
OSAVI (BBCH 75)	0.653118805	0.426564	0.369220591	63.60296744

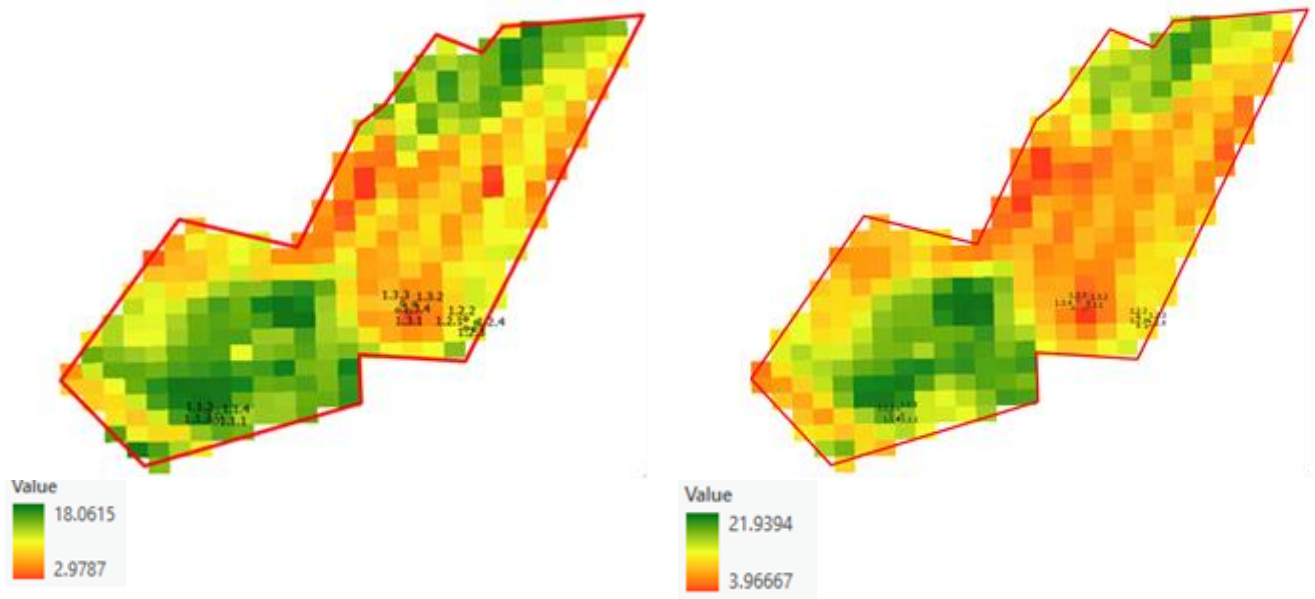
В Таблица 20 е представена регресионна статистика на свежо тегло на растенията, плевелите и общата зелена маса (BBCH 75) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите. От анализа на таблица се вижда, че ВИ NDVI_RE във фаза (BBCH75) е най-удачен за определяне на свежото тегло на растенията и плевелите и общата зелена маса.

Таблица 21 Регресионна статистика на добива, височина на растението и брой растения на m² (BBCH 75) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите

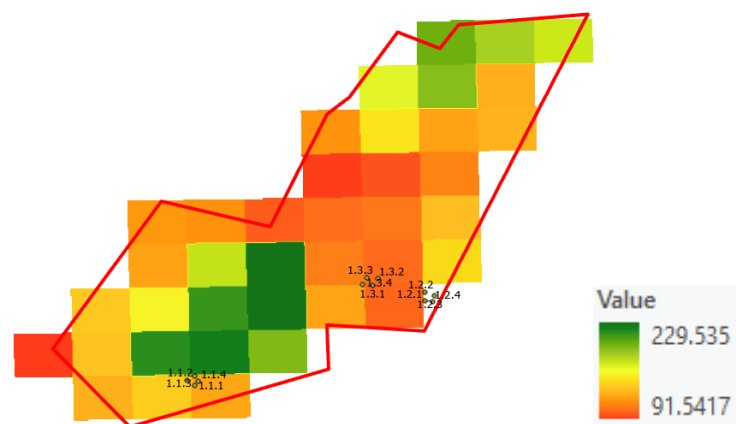
	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Standard Error
Добив				
NDVI_RE (BBCH 75)	0.88658765	0.786037662	0.764641428	12.18338568
GRVI (BBCH 75)	0.852230311	0.726296503	0.698926153	13.78025711
GLAI (BBCH 75)	0.850141099	0.722739889	0.695013878	13.86950125
GLI (BBCH 75)	0.844157837	0.712602453	0.683862698	14.12077966
VARI (BBCH 75)	0.844234499	0.712731888	0.684005077	14.11759951
DVI (BBCH 75)	0.674692418	0.455209859	0.400730845	19.44158944
Височина на растението				
NDVI_RE (BBCH 75)	0.694748329	0.482675241	0.430942765	8.120314045
GRVI (BBCH 75)	0.678249719	0.460022682	0.40602495	8.296195016
GLAI (BBCH 75)	0.665643557	0.443081345	0.38738948	8.425333025
GLI (BBCH 75)	0.708818637	0.50242386	0.452666246	7.963811404
VARI (BBCH 75)	0.705109588	0.497179531	0.446897484	8.0056697
Брой растения в m ²				
GRVI (BBCH 75)	0.683948094	0.467784996	0.414563495	26.55378079
GLAI (BBCH 75)	0.668125002	0.446391018	0.391030119	27.08222692
GLI (BBCH 75)	0.719247278	0.517316647	0.469048312	25.28797009
VARI (BBCH 75)	0.716882559	0.513920603	0.465312663	25.3767742

В Таблица 21 е представени Регресионна статистика на добива, височина на растението и брой растения m² (BBCH 75) с ВИ от БЛА след агрегиране на пикселите. От анализа на таблица се вижда, че ВИ NDVI_RE във фаза (BBCH75) е най-удачен за определяне на добива, но по отношение на височината на растението и брой растения в

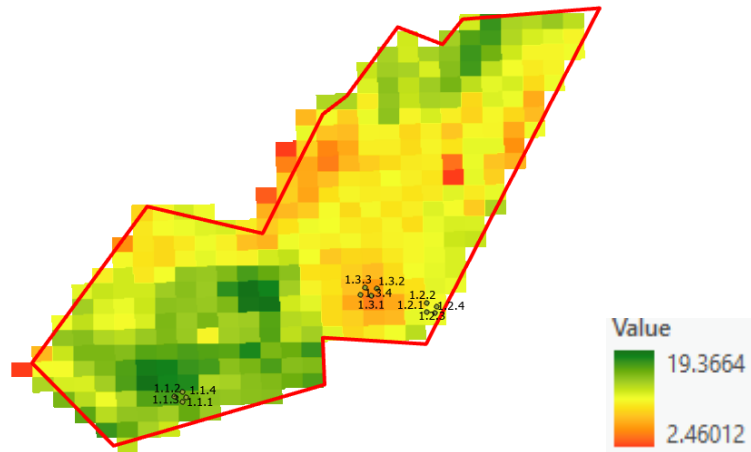
m² най-удачен е ВИ GLI. По отношение на височината на растението и брой растения в m² ВИ VARI също е подходящ, тъй като има много близки стойности с ВИ GLI като в регресионния така и в корелационния анализ.



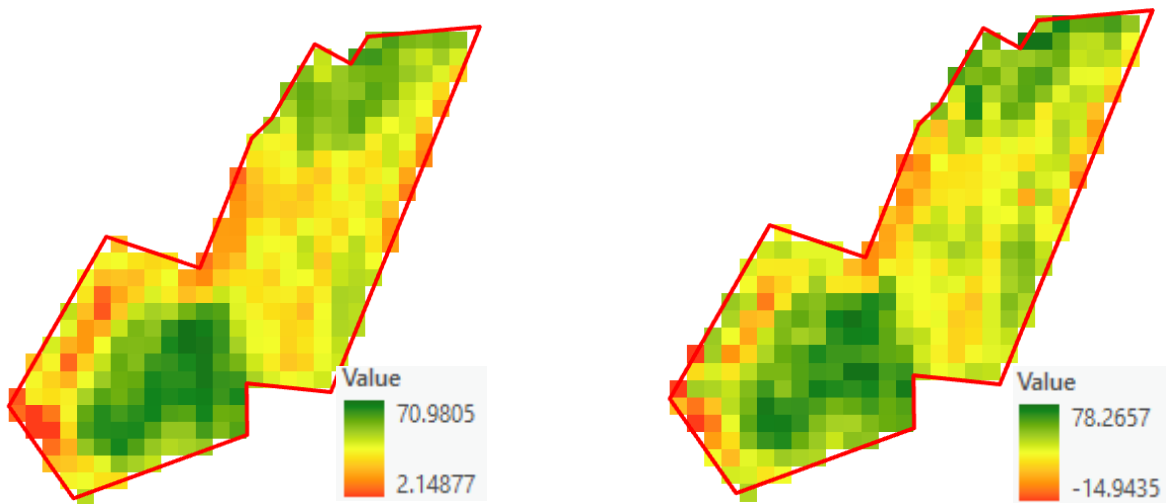
Фигура 9 Пространствен модел на ВИ NDVI и NDRE за добивите фаза братене от Sentinel-2 (kg)



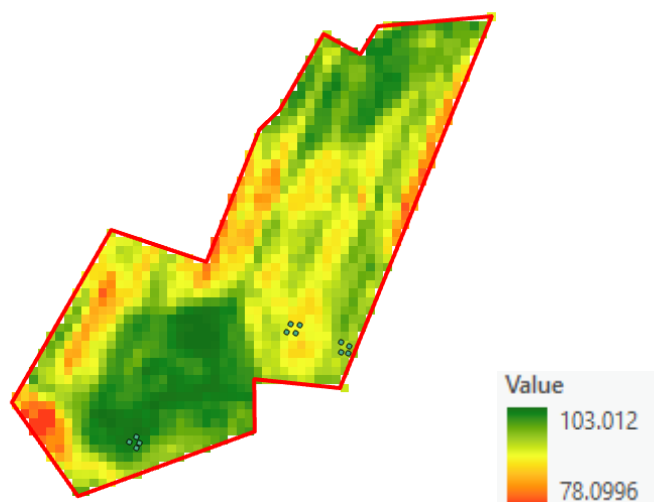
Фигура 10 Пространствен модел на ВИ WDRVI за биомасата на плевелите фаза братене от Sentinel-2 (kg)



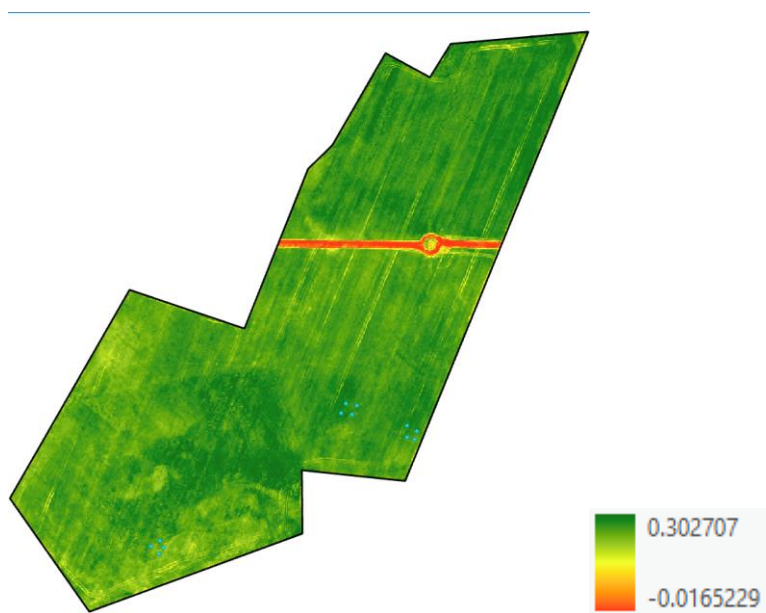
Фигура 11 Пространствен модел на ВИ NDVI за добивите фаза братене от Sentinel-2 (kg)



Фигура 12 Пространствен модел на ВИ NDRE и NDVI за добивите фаза вретене от Sentinel-2 (kg)



Фигура 13 Пространствен модел на биомасата на плевелите по ВИ TCARI от Sentinel-2
- фаза вретене (kg)



Фигура 14 пространствен модел на добива от ВИ NDVI_RE по БЛА kg/m2

IV. ИЗВОДИ

Fit моделиране на наземни данни

На базата на генерирани стойности на вегетационния индекс NDVI, различията в посева варират от добре гарнирани части с потенциал за формиране на висок добив до по-слаби места. Полученият добив и стойностите на елементите на продуктивността следват установените различия през фазите на развитие от братене до млечна зрялост. Статистическата обработка на данните доказва, че различията в посева доказано съществуват. Това дава основание, че може да се генерират и изследват вегетационни индекси, които да описват състоянието на посева, така както го описват стойностите на наземната маса.

С помощта на Fit модела във фаза вретенене въз основа на LSD стойностите вегетационните индекси TVI, TGI и VVI доказано описват състоянието на посева от лемец по показателя свежо тегло на растенията.

Във фаза млечна зрялост вегетационните индекси SI, BIM, BIS и VVI нямат доказани разлики по трите различия в посева. Те могат да описват посева по показателите % сухо вещество в растенията и брой растения и плевели в m².

Корелационни зависимости регресионно моделиране между наземни данни и генерирани вегетационни индекси от безпилотен летателен апарат

По отношение на установените корелационни връзки между добива и елементите на продуктивността и вегетационните индекси генерирани чрез заснемане с БЛА за фаза вретенене (BVCH 45). Данните показват, че само BSI има силна положителна връзка с добива. Във фаза млечна зрялост се установени повече средни и силни корелации на генерираните вегетационни индекси с елементите на продуктивността и добива в сравнение с фаза вретенене. С добива съществуват 7 силни корелации, от които 3 са положителни при добра доказаност.

По отношение на добива и елементите на продуктивност се установява, че данните получени от БЛА при фазата млечна зрялост са по-подходящи, за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива.

ВИ CI, BIM и BS са в силни положителни корелации с показателите брой зърна в класа и тегло на зърното в клас, което показва, че също биха били много успешно да прогнозираят добива.

При агрегиране на пикселите получени от данни от БЛА и след направения регресионен статистически анализ се установява, че и двата ВИ hueoverallhueindex ($r=0.659$) и RI ($r=0.662$), ($r=0.657$) и ($r=0.702$), които показват силна корелационна зависимост във фаза (BVCH45). При регресионният анализ имат средна до висока стандартна грешка виж

Таблица 19.

От анализа на Таблица 20 се вижда, че ВИ NDVI_RE при агрегиране на пикселите във фаза (BBCH75) е най-удачен за определяне на свежото тегло на растенията и плевелите и общата зелена маса.

От анализа на

Таблица 21 се вижда, че ВИ NDVI_RE във фаза (BBCH75) е най-удачен за определяне на добива, но по отношение на височината на растението и брой растения в m^2 най-удачен е ВИ GLI. По отношение на височината на растението и брой растения в m^2 ВИ VARI също е подходящ, тъй като има много близки стойности с ВИ GLI като в регресионния така и в корелационния анализ.

Корелационни зависимости между наземни данни и генерирани вегетационни индекси от Sentinel -2

От генерираните 17 вегетационни индекса 14 са в силна положителна корелация със свежото и сухо тегло на растенията и свежото и сухо тегло на общата зелена маса при много добра доказаност. Това показва, че тези вегетационни индекси успешно описват състоянието на посева още в ранни фази от развитието на посева (братене).

За разлика от установените корелационни връзки във фазите братене и вретене (Таблица 11 и Таблица 12) в тази фаза значимите корелации са по-малко. От таблицата става ясно, че във фаза млечна зрялост при 5 от 12 показатели няма установени корелационни връзки с изследваните вегетационни индекси. Това показва, че в млечна зрялост наборът от вегетационни индекси по-трудно биха охарактеризирали състоянието на посева. От генерираните 17 вегетационни индекса силни корелационни връзки са установени при 9 от тях.

По отношение на добива се установява, че във фаза братене 14 от 17 ВИ са в много силна положителна корелационна връзка с показателя добив. Единствено с показателя дължина на класа не са установени доказани корелации. В тази фаза 11 от ВИ са в силна положителна корелационна зависимост. Както и през фаза братене, така и във вретене не са установени корелации при показателя дължина на класа. Това идва да покаже, че този показател не е подходящ при изследвания набор от вегетационни индекси за описание на посева и предсказване на добива.

Във фаза млечна зрялост 5 от вегетационните индекси са в силна положителна корелационна връзка с добива - OSAVI ($r=0.707^*$), GDVI ($r=0.743^{**}$), EVI ($r=0.760^{**}$), EVI2 ($r=0.725^{**}$) и DVI ($r=0.737^{**}$).

Във фаза братене при вегетационните индекси TCARI, OSAVI, NDVI, GDVI, EVI2 и DVI съществуват статистически доказани разлики в трите различия на посева като стойностите им се разпределят трите групи a, b, c, по същия начин както статистически са доказани различия в показателите свежо и сухо тегло на растенията, като и на свежо тегло на общата зелена маса.

Чрез Fit моделиране е доказано, че през фаза братене генерираните вегетационни индекси описват различията в посева така, както са доказани при показателите свежо и сухо тегло на растенията и свежо тегло на общата зелена маса. На базата на LSD стойностите се доказва вариране в посева от лимец в трите различия, като стойностите на показателите от наземната маса и стойностите на генерираните индекси се разделят в три групи a, b и c. Във фаза веретене индексите OSAVI, GDVI,

EVI2 и DVI доказано характеризират различията в посева чрез свежото и сухо тегло на растенията и % на сухото вещество в плевелите.

Установено, е че ВИ генерирани от данни от сателита Sentinel-2 могат да описват състоянието на посева като за тази цел най-подходящата за това фаза е вретенене (BBCN 45). Най подходящите за целта са ВИ TCARI, SR, OSAVI, NDVI, GDVI, GCVI, EVI, EVI2, DVI и CLREDEDGE.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В заключение може да се обобщи, че полето с лимец биологично производство е масив, който е с разнороден състав от растения лимец и плевели, в различно съотношение в зависимост от различията в посева и фазата на развитие на лимеца.

По отношение на ползване на БЛА данните за охарактеризиране състоянието на посева във фаза вретенене по-подходящо е данните да се ползват на ниво пиксел, докато при фаза млечна зрялост по-подходящо е данните да бъдат агрегирани до ниво на пиксела 1m.

Във фаза вретенене на ниво пиксел най-подходящи ВИ за охарактеризиране на посева от лимец, отглеждан в условията на биологично земеделие, са VARI и BIM. Докато ВИ GLI, HI, GRVI и GLAI могат да се използват за оценяване на степента на заплевеност в посева.

Във фаза братене най-много корелации с ВИ, извлечени от пиксел, има с показателя % сухо вещество на плевелите. От генерираните ВИ от данни на БЛА, най-силни корелационни зависимости са установени при VARI и BIM. При VARI от проучваните 12 показатели при 9 са установени силни взаимовръзки, а при BIM са установени 7 силни положителни корелации. За разлика от установените корелационни зависимости във фаза вретенене във фаза млечна зрялост корелациите са малко.

Установени са силни положителни корелации с висока статистическа значимост между ВИ TO_INDEX и NDWI от Sentinel-2 с броя на плевелите в m^2 и броя растения и плевели в m^2 . Тези взаимовръзки дават основание вегетационните индекси да се използват при описание на посев въз основа на неговата гъстота.

ВИ генерирани от Sentinel-2, като TCARI, OSAVI, GDVI, EVI, EVI2, DVI и CLREDEDGE, могат успешно да използват за определяне на свежото и сухото тегло на растителността дори в края на вегетацията.

ВИ от Sentinel-2, който са най-подходящи за охарактеризиране на елементите на продуктивност и добива във всяка една от трите изследвани фази, тъй като запазват високата си корелация с добива и през трите фази на развитие, са OSAVI, GDVI, EVI, EVI2 и DVI.

В заключение може да се каже, че ВИ генерирани от данни получени от сателита Sentinel-2, по-добре охарактеризират състоянието на посева от лимец отглеждан в условията на биологично земеделие.

На базата на генерирани стойности на вегетационния индекс NDVI, различията в посева варират от добре гарнирани части с потенциал за формиране на висок добив до по-слаби места. Полученият добив и стойностите на елементите на продуктивността следват установените различия през фазите на развитие от братене до млечна зрялост.

Статистическата обработка на данните доказва, че различията в посева доказано съществуват. Това дава основание, на базата на ВИ, както от Sentinel-2 така и от БЛА, да се определи състоянието на посева и добива.

VI. ПРИНОСИ

1. За първи път в България е планиран, осъществен и документиран аерокосмически експеримент на производствено биологично поле от лимец в продължение на една вегетационна година.
2. Проверени са възможностите за аерокосмическо проследяване, по данни от Sentinel-2 и БЛА, динамиката на биомасата в посев от биологичен лимец по фенофази братене, вретенене, млечна зрялост.
3. Установено е при коя фенологична фаза и с кои ВИ от БЛА и Sentinel-2 има най-добра положителна корелация с наземната биомаса и добива.
4. Направен е анализ на възможностите за прогнозиране на добивите от биологичен лимец с помощта на селектираните ВИ генерирани от спътникови и БЛА данни.

VII. Благодарности

Изразявам искрените си благодарности към доц. д-р Дина Атанасова и доц. д-р Васелина Манева от Институт по земеделие – Карнобат към Селскостопанска академия, за това, че ме подкрепиха да защита дисертация в различно научно направление от растениевъдството и извън системата на Селскостопанска академия и за оказаната подкрепа по време на следването ми. Изразявам моята благодарност и към доц. д-р Боряна Дюлгерова от Институт по земеделие – Карнобат към Селскостопанска академия, която в качеството си на научен секретар също ме подкрепи да защита дисертация в различно научно направление от растениевъдството извън системата на Селскостопанска академия. Изразявам моите големи благодарности към проф. д-р Драгомир Вълчев директор на Институт по земеделие – Карнобат към Селскостопанска академия без чиято голяма подкрепа и съдействие също нямаше да мога да напиша тази дисертация. Изразявам благодарност и към останалите ми колеги от Институт по земеделие – Карнобат, които също ме подкрепяха по време на следването ми.

Изразявам своите големи благодарности на управителя на фирма Балкан биосерт г-н Красимир Кунчев, който ме свърза с биологично сертифициран земеделски производител ЕТ „Борислав Славчев“ с. Бяла река, община Първомай. Благодарение на което успях да извърша планираният научен експеримент по дисертацията ми.

Изказвам големи благодарности към г-н Борислав Славчев биологично сертифициран земеделски производител от с. Бяла река, община Първомай първо за това, че се съгласи да проведем експеримента в неговото стопанство и за много доброто сътрудничество по време на провеждане на полевият експеримент.

Изразявам големи благодарности към фирма Геовара, които извършиха заснемането с БЛА WingtraOne във фази вретенене и млечна зрялост.

Изразявам благодарност към доц. д-р Катя Узунджалиева директор на Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово към Селскостопанска академия за това, че ми позволи да ползвам лабораторната база на института.

Изказвам благодарност и към колегата гл. ас. д-р Богдан Бончев от Институт по растителни генетични ресурси „К. Малков“ – Садово към Селскостопанска академия за оказаната от него помощ по време на полевите кампании.

Изразявам своите благодарности и към проф. д-р Дарина Вълчев от Институт по земеделие – Карнобат към Селскостопанска академия за оказаната методическа помощ при статистическата обработка на данните.

Изразявам своята благодарност и към колегите от Институт за космически изследвания и технологии към Българска академия на науките, с които също ме подкрепяха и напътстваха по време на работата ми по дисертацията.

Искам да изразя своята огромна благодарност и към своя научен ръководител проф. д-р Лъчезар Филчев, които ме въведе и напътстваше през дебрите на науката и изследователската дейност през последните три години. През тези години той се прояви като истински наставник. Не позволи да допускам грешки, както и да се лутам безцелно из дебрите на науката и изследователската дейност. Винаги ми оказваше методическа помощ и ме е съветвал, как е най-правилно да постъпвам, но същевременно ми даде и свобода на действие с което успях да разгърна целият си потенциал и да напиша този дисертационен труд.

Публикации по темата на дисертацията

1. Чанев, М., Филчев, Л. 2020. Възможности за прогнозиране на добива от биологична пшеница с използване на аерокосмически методи. *Space, Ecology, Safety' 2020, SRTI-BAS, 2020, ISSN:p-ISSN 2603–3313, e-ISSN 2603–3321, 213-216;*
2. Чанев, М., Филчев, Л., Иванова, Д. 2021. Възможности за приложение на дистанционните методи в биологичното отглеждане на зърнено-житни култури – Обзор. *Journal of the Bulgarian Geographical Society, 43, Bulgarian Geographical Society, 2021, ISSN:p-ISSN 0375-5924, e-ISSN 2682-986X, 31-36;*
3. Chaney M.R., Filchev L.H. 2022. Review of the applications of satellite remote sensing in organic farming. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Чанев, М., & Филчев, Л. 2020. Възможности за прогнозиране на добива от биологична пшеница с използване на аерокосмически методи. в сборник от конференция ‘Space, Ecology, Safety’, 2020, p-ISSN 2603–3313, e-ISSN 2603–3321, 213-216.
2. Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews, 13(1-2), 95–120.* doi:10.1080/02757259509532298
3. Casa, R., Jones, H.G. 2005. LAI retrieval from multiangular image classification and inversion of a ray tracing model. *Remote Sensing of Environment 98, 414–428.*
4. Diacono, M., De Benedetto, A. Castrignanò, P. Rubino, C. Vitti, H.M. Abdelrahman, D. Sollitto, C. Coccozza, D. Ventrella, 2013. “A combined approach of geostatistics and geographical clustering for delineating homogeneous zones in a

- durum wheat field in organic farming”, *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, Volumes 64–65, pp. 47–57.
5. Ferreira, S., Sánchez, J. M., Gonçalves, J. M. Can 2021. Organic Farming development be driven by Remote Sensing technology? in *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Agronomy*, 3–17 May 2021, MDPI: Basel, Switzerland, doi:10.3390/IECAG2021-10014
 6. Gitelson, A., 2012. Remote sensing estimation of crop biophysical characteristics at various scales. In: *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A., Eds., CRC Press. USA. ISBN 978- 1-4398-4537-0.
 7. Hatfield, P. L. and P. Pinter. 1993. Remote sensing for crop protection. *Crop Protection*. 12(6): 403–413. doi:10.1016/0261-2194(93)90001-y.
 8. Huang, J., Ma, H., Su, W., Zhang, X., Huang, Y., Fan, J., Wu, W. 2015a. Jointly assimilating MODIS LAI and et products into the swap model for winter wheat yield estimation. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2015, 8, 1–12.
 9. Huang, J., Sedano, F., Huang, Y., Ma, H., Li, X., Liang, S., Tian, L., Zhang, X., Fan, J., Wu, W. 2016. Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Agric. For. Meteorol.* 2016, 216, 188–202.
 10. Lang, T., Yang, Y., Jia, K., Zhang, C., You, Z., & Liang, Y. 2020. Estimation of Winter Wheat Production Potential Based on Remotely-Sensed Imagery and Process-Based Model Simulations. *Remote Sensing*, 12(17), 2857. doi:10.3390/rs12172857
 11. Li, G., Wan, S., Zhou, J., Yang, Z., and Qin, P. 2010. Leaf chlorophyll fluorescence, hyper spectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. *Ind. Crops Prod.* 31: 13-19.
 12. Meier, U. 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. *BBCH Monograph*. doi:10.5073/bbch0515
 13. Niggli, U., Wang-Müller, Q., Willer, H., & Fuchs, J. 2021. Innovation in agroecological and organic farming systems. *中国生态农业学报 (中英文)*, 29(3), 1. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200469
 14. Olabiyi, T. I., P. J. C. Harris, W. B. Akanbi, O. J. Ojo and M. A. Adeniji, 2009. Crop Protection methods in organic farming systems. *Aspects of Applied Biology* 91, *Crop Protection in Southern Britain, UK*, 169–170.
 15. Oliveira, M. C., Osipitan, O. A., Begcy, K., & Werle, R. 2020. Cover crops, hormones and herbicides: Priming an integrated weed management strategy. *Plant Science*, 301, 110550.
 16. Syiem, M. D. 2003. Impact of agricultural literature on organic farming in northeastern region. *Indian Journal of Hill Farming (India)*.
 17. Tamas, J. 2001. *Precision Agriculture*, Mezogazdasagi Szaktudas Kiado, Budapest.(in Hungarian)
 18. Thenkabail, P. S., Smith, R. B., De-Pauw, E. 2002. Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization. *Photogrammetric Engineering* 68, 607–621.
 19. Usha, K. and B. Singh. 2013. Potential applications of remote sensing in horticulture - A review. *Scientia Horticulturae*. 153: 71–83. doi:10.1016/j. scienta.2013.01.008

20. Wójtowicz, A., Wójtowicz, M., Piekarczyk, J. 2005. Zastosowanie teledetekcji do monitorowania i oceny produktywności plantacji rzepaku. *Rośliny Oleiste - Oilseed Crops* XXVI/1, 269–276.
21. Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., & Piekarczyk, J. 2016. Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11(1), 31–50.
22. Yancheva, Hr., I. Manolov, N. Tahsin, A. Kovac, H. Dasa, A. Enamorado, A. Dizdar, V. Litssou, N. Zaharulis. 2012. Guidelines for Organic Agriculture., A European Commission Leonardo Da Vinci Project.
23. Zaharieva, M., & Monneveux, P. 2014. Cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*): the long life of a founder crop of agriculture. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(3), 677–706. doi:10.1007/s10722-014-0084-7
24. Zhuo, W., Huang, J., Li, L., Zhang, X., Ma, H., Gao, X., Xiao, X. 2019. Assimilating Soil Moisture Retrieved from Sentinel-1 and Sentinel-2 Data into WOFOST Model to Improve Winter Wheat Yield Estimation. *Remote Sensing*, 11(13), 1618. doi:10.3390/rs11131618
25. —. Симулирани исторически данни за климата и времето за Бяла река. https://www.meteoblue.com/bg/%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE/historyclimate/climatemodelled/%d0%91%d1%8f%d0%bb%d0%b0-%d1%80%d0%b5%d0%ba%d0%b0_%d0%91%d1%8a%d0%bb%d0%b3%d0%b0%d1%80%d0%b8%d1%8f_732712 (достъпен към 02.02.2022 г.)
26. —. EOS Data Analytics inc., CA, USA <https://crop-monitoring.eos.com> (достъпен към 02.09.2022 г.)
27. —. Sentinel-2 MSI 2022 user guide. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview> (достъпен към 24.07.2022 г.)