

# Képi adatelemzés során használt RGB indexek összehasonlítása strukturált hasonlósági index (SSIM) alapján

BIRÓ Lóránt<sup>1</sup>

DOI: [10.29180/978-615-6342-76-8\\_4](https://doi.org/10.29180/978-615-6342-76-8_4)

## Absztrakt

Napjainkban a drónok segítségével nemcsak részletes, nagyfelbontású felvételeket készíthetünk, hanem a felvételeket ki is értékelhetjük a képfeldolgozásban használt módszerekkel. Jelen esetben ezek egyrészt a különböző szűrőket (zaj, szín, él stb.), másrészt a spektrumsávokból számolt indexeket jelentik. Az indexek alkalmazása jelenleg a mezőgazdaságban bevett gyakorlat (normalizált vegetációs index: NDVI, normalizált vörös határ index: NDRE), melyekhez a R (vörös), G (zöld) és B (kék) sáv mellett különböző infravörös tartományban használt sávokat alkalmaznak. Ezen kívül számos olyan index található a szakirodalomban, melyek csak az RGB sávokból számolhatók és különböző célú felhasználásúak. Munkám célja, hogy a szakirodalomban jelenleg megtalálható RGB indexeket (37 db) objektív módon összehasonlítsam, csoportosítsam. Legfontosabb kérdés, hogy hány csoportba lehet őket sorolni, objektív matematikai módszerrel, valamint az egyes csoportok mely RGB indexeket tartalmazzák, tehát mely indexek adnak közel azonos eredményt. Ehhez egy tesztképen kiszámoltam a 37 db RGB indexet, majd a strukturális hasonlósági index módszerével páronként összehasonlítottam az eredményképeket. Ennek eredményeképpen a vizsgált 37 db indexből 28 darabot 7 csoportra lehetett szűkíteni – vagyis a csoportokba tartozó indexek megegyeznek –, míg a maradék 9 db index egyik másik indexel sem mutatott hasonlóságot. A csoportok jellemzésére 1-1 kiválasztott index alapján vizsgáltam az eredményképet.

**Kulcsszavak:** képfeldolgozás, index, drón, RGB, SSIM

## Bevezetés és célkitűzés

Napjainkban a drónok segítségével nemcsak részletes, nagyfelbontású felvételeket készíthetünk, hanem a felvételeket ki is értékelhetjük a képfeldolgozásban használt módszerekkel. Jelen esetben ezek egyrészt a különböző szűrőket (zaj, szín, él stb.), másrészt a spektrumsávokból számolt indexeket jelentik. Az indexek alkalmazása jelenleg a mezőgazdaságban bevett gyakorlat, azonban ezek az indexek az RGB sávok mellett különböző infravörös tartományban használt sávokat alkalmaznak. Ezen kívül számos csak RGB sávokat tartalmazó index létezik, melyek leggyakoribb célja a drágább infravörös sávok (NIR, RedEdge) felhasználásával képzett NDVI és NDRE indexek eredményeihez hasonló, csak RGB sávok felhasználásával képzett indexek létrehozása.

---

<sup>1</sup> Budapesti Gazdasági Egyetem, Kereskedelmi, Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar, Üzleti Elemzés Módszertan Tanszék, e-mail: [biro.lorant@uni-bge.hu](mailto:biro.lorant@uni-bge.hu)

Munkám célja, hogy a szakirodalomban jelenleg megtalálható leggyakoribb RGB indexeket (37 db) objektív módon összehasonlítsam, csoportosítsam. Természetesen nem céлом az összes – szakirodalomban fellelhető – index feldolgozása, hiszen mindig újabb és újabb indexeket hoznak létre, melyek általában egy adott növényi kultúrára jellemzők. Legfontosabb kérdés, hogy hány csoportba lehet őket sorolni, objektív matematikai módszerrel, valamint az egyes csoportok mely RGB indexeket tartalmazzák, tehát mely indexek adnak közel azonos eredményt. Nem volt céлом az indexek alkalmazhatóságát vizsgálni, vagyis milyen növényzetre alkalmazták, valamint mi az adott index eredményképének az értelmezése. Csupán matematikai módszerrel szerettem volna összehasonlítani az indexeket és felhívni a figyelmet az esetleges redundanciákra.

### Anyag és módszertan

Első lépésként a szakirodalomban megtalálható legfontosabb RGB indexeket gyűjtöttem össze, melyek a következők (1. táblázat).

**1. táblázat: Feldolgozott RGB indexek (saját szerkesztés)**

| <b>Index</b> | <b>Név</b>  | <b>Képlet</b>                         | <b>Hivatkozás</b>         |
|--------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>BCC</b>   | Blue Chromatic Coordinate Index                   | $B/(R+G+B)$                           | De Swaef et al. 2021      |
| <b>BGI</b>   | Simple blue-green Ratio; Blue Green Pigment Index | $B/G$                                 | Zarco-Tejada et al. 2005  |
| <b>BI</b>    | Brightness Index                                  | $((R^2+B^2+G^2)/3)^2$                 | Richardson & Wiegand 1977 |
| <b>BRVI</b>  | Blue Red Vegetation Index                         | $(B-R)/(B+R)$                         | De Swaef et al. 2021      |
| <b>CIVE</b>  | Color Index of Vegetation                         | $0,441r - 0,881g + 0,385b + 18,78745$ | Kataoka et al. 2003       |
| <b>ExB</b>   | Excess Blue                                       | $1,4b - g$                            | Mao et al. 2003           |
| <b>ExG</b>   | Excess Green                                      | $2g - r - b$                          | Woebbecke et al. 1995     |
| <b>ExGR</b>  | Excess Green-Excess Red                           | $ExG - 1,4r - g$                      | Meyer & Neto 2008         |
| <b>ExR</b>   | Excess Red  | $1,4r - g$                            | Mao et al. 2003           |
| <b>GCC</b>   | Green Percentage Index                            | $G/(R+G+B)$                           | Richardson et al. 2007    |
| <b>GLI</b>   | Green Leaf Index                                  | $(2G-R-B)/(2G+R+B)$                   | Louhaichi et al. 2001     |
| <b>GR</b>    | Simple red-green Ratio                            | $G/R$                                 | Gamon & Surfus 1999       |
| <b>GRVI</b>  | Green Red Vegetation Index                        | $(G-R)/(G+R)$                         | Motohka et al. 2010       |
| <b>HI</b>    | Primary Colors Hue Index                          | $(2*R-G-B)/(G-B)$                     | Escadafal et al. 1994     |

|                        |   |  |                              |
|------------------------|---|--|------------------------------|
| <b>HUE</b>             | Overall Hue Index   | $\text{atan}(2*(B-G-R)/30,5*(G-R))$                  | Escadafal et al.<br>1994     |
| <b>I<sub>KAW</sub></b> | Kawashima index   | $(R-B)/(R+B)$  | Kawashima &<br>Nakatani 1998 |
| <b>IOR</b>             | Iron Oxide Ratio  | R/B  | Segal 1982                   |
| <b>I<sub>PCA</sub></b> | Principal Component<br>Analysis Index                             | $0.994* R - B  + 0.961* G - B $<br>$+ 0.914* G - R $ | Saberioon et al.<br>2014     |
| <b>MGRVI</b>           | Modified Green Red<br>Vegetation Index                            | $(G^2-R^2)/(G^2+R^2)$                                | Bending et al.<br>2015       |
| <b>MPRI</b>            | Modified Photochemical<br>Reflectance Index                       | $(G-R)/(G+R)$  | Yang et al.<br>2008          |
| <b>MVARI</b>           | Modified Visible<br>Atmospherically Resistant<br>Vegetation Index | $(G-B)/(G+R-B)$                                      | Yang et al.<br>2008          |
| <b>NDI</b>             | Normalized Difference<br>Index                                    | $128*(((G-R)/(G+R))+1)$                              | Mcnairn &<br>Protz 1993      |
| <b>NGBDI</b>           | Normalised Green Blue<br>Difference Index                         | $(G-B)/(G+B)$  | Du & Noguchi<br>2017         |
| <b>NGRDI</b>           | Normalised Green Red<br>Difference Index                          | $(G-R)/(G+R)$  | Gitelson et al.<br>2002      |
| <b>RCC</b>             | Red Chromatic Coordinate<br>Index                                 | $R/(R+G+B)$  | De Swaef et al.<br>2021      |
| <b>RGBVI</b>           | Red Green Blue Vegetation<br>Index                                | $(G^2-(B*R))/(G^2+(B*R))$                            | Bending et al.<br>2015       |
| <b>PRI</b>             | Photochemical Reflectance<br>Index                                | R/G  | Gamon et al.<br>1997         |
| <b>SAVI</b>            | Soil Adjusted Vegetation<br>Index                                 | $(1,5*(G-R))/(G+R+0,5)$                              | Li et al. 2010               |
| <b>SCI</b>             | Soil Color Index  | $(R-G)/(R+G)$  | Mathieu et al.<br>1998       |
| <b>SI</b>              | Spectral Slope Saturation<br>Index                                | $(R-B)/(R+B)$  | Escadafal et al.<br>1994     |
| <b>TGI</b>             | Triangular Greenness Index  | $G-0,39*R-0,61*B$                                    | Hunt et al. 2013             |
| <b>VARI</b>            | Visible Atmospherically<br>Resistant Vegetation Index             | $(G-R)/(G+R-B)$                                      | Gitelson et al.<br>2002      |
| <b>VDVI</b>            | Visible Band-Difference<br>Vegetation Index                       | $(2G-R-B)/(2G+R+B)$                                  | Wang et al.<br>2015          |
| <b>VEG</b>             | Vegetative Index  | $G/(R^{0,667}*B^{0,334})$                            | Hague et al.<br>2006         |
| <b>VIgreen</b>         | Vegetation Index Green  | $(G-R)/(G+R)$  | Gitelson et al.<br>2002      |
| <b>vNDVI</b>           | Visible NDVI  | $0,5268*(r^{-0,1294}*g^{0,3389}*b^{-0,3118})$        | Costa et al.<br>2020         |

| WI | Woebbecke Index | $(G-B)/(R-G)$ | Woebbecke et al. 1995 |
|----|-----------------|---------------|-----------------------|
|----|-----------------|---------------|-----------------------|

$R$ : vörös sáv,  $G$ : zöld sáv,  $B$ : kék sáv,  $r$ :  $R/(R+G+B)$ ,  $g$ :  $G/(R+G+B)$ ,  $b$ :  $B/(R+G+B)$ ,

Az RGB indexekhez felhasznált tesztkép (1. ábra) DJI Mavic Mini forgószárnyú quadcopter drónnal készült JPG formátumban, 2022. 06. 06-án Csákányospusztán (Vértess-hegység). A felvételen látható, hogy alacsony, illetve magasabb rendű növényzet, árnyék, kopár földút és fehér mészkőrákás is látható, így a felvétel jó lehetőséget ad az indexek teszteléséhez. A felvételek készítéséhez használt kamera paraméterei az alábbiak (URL<sup>1</sup>):

- Szenzor típusa: 1/2.3" CMOS
- Effektív pixel: 12 M
- Képméret: 4000 x 3000 px
- Látószög: 83°
- Fókusz távolság: 24 mm
- Blende: f/2,8
- Záródő: 4-1/8000 s

**1. ábra:** Az RGB indexekhez felhasznált tesztkép (saját szerkesztés)



Az 1. ábrán látható felvétel RGB sávjaiból QGIS programmal számoltam ki az egyes indexeket az 1. táblázatban látható képletek alapján, majd minden létrehozott képet két formátumban mentettem le. Első verzióban „hamisszínes” képet hoztam létre – minden index esetében azonos színskálával, ahol a vörös szín a negatív, vagy 0 értéket, míg a kék szín a pozitívabb értékeket jelenti. Így könnyedén össze lehet hasonlítani az elkészült index képeket. Második verzióban az indexképet szürkeárnyaltos képként mentettem le, hiszen az objektív összehasonlítást végző matematikai módszer csak szürkeárnyaltos JPG ábrákat kezel.

Az indexképek páronkénti összehasonlítása a strukturális hasonlósági index (Wang et al. 2004) alapján történt, melynek eredményeképpen egy  $-1$  és  $+1$  közé eső értéket kapunk, ahol a  $-1$

jelenti a két kép teljes különbözőségét, míg a +1 a teljes egyezést. Az összehasonlításokat Python környezetben „scikit-image” programcsomaggal (van der Walt et al. 2014) végeztem, amelyben megtalálható a SSIM módszere is (URL<sup>2</sup>).

### Eredmények és azok értékelése

Az összehasonlítások eredményeképpen egy hasonlósági mátrixot kaptam, amely megadja az egyes indexek páronkénti hasonlósági értékét. Csak olyan indexeket vettem megegyezőnek, melyek páronkénti SSIM értéke  $\geq 0,9$ . A hasonlósági mátrix értékei alapján teljes egyezést (a képletek megegyeznek, így SSIM = 1) mutatnak az alábbi indexek:

- ExG = GCC
- GLI = VDVI
- GRVI = MPRI, NDI, NGRDI, VIgreen (természetesen ezen indexek egymással is megegyeznek)
- I<sub>KAW</sub> = SI

További hasonlóságok vizsgálata során 7 olyan csoportot kaptam (2. táblázat), melyek esetében az indexek SSIM értéke  $1,0 > x \geq 0,9$ .

**2. táblázat:** Hasonló indexek csoportjai (SSIM  $1,0 > x \geq 0,9$ ) a kiválasztott indexekkel (saját szerkesztés)

| 1. csoport | 2. csoport       | 3. csoport | 4. csoport | 5. csoport | 6. csoport | 7. csoport       |
|------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| GRVI       | BCC              | CIVE       | HI         | GLI        | IOR        | I <sub>PCA</sub> |
| ExGR       | BRVI             | ExG        | MVARI      | VDVI       | VEG        | TGI              |
| ExR        | I <sub>KAW</sub> | GCC        |            |            |            |                  |
| MGRVI      | NGBDI            |            |            |            |            |                  |
| MPRI       | RGBVI            |            |            |            |            |                  |
| NDI        | SI               |            |            |            |            |                  |
| NGRDI      |                  |            |            |            |            |                  |
| SAVI       |                  |            |            |            |            |                  |
| SCI        |                  |            |            |            |            |                  |
| VARI       |                  |            |            |            |            |                  |
| VIgreen    |                  |            |            |            |            |                  |

A 37 db indexből 28 db indexet tartalmaz a fenti 7 csoport. E csoportokból kiválasztottam egy-egy jellemző indexet, amely jól jellemzi az adott csoportot (az eredményképek vizuális összehasonlításával), melyek a következők: MGRVI, RGBVI, GCC, MVARI, GLI, VEG, TGI. A fennmaradó 9 db index egyedinek tekinthető, vagyis nem hasonló egyik indexel sem, ezek a következők: BGI, BI, ExB, GR, HUE, RCC, PRI, vNDVI, WI.

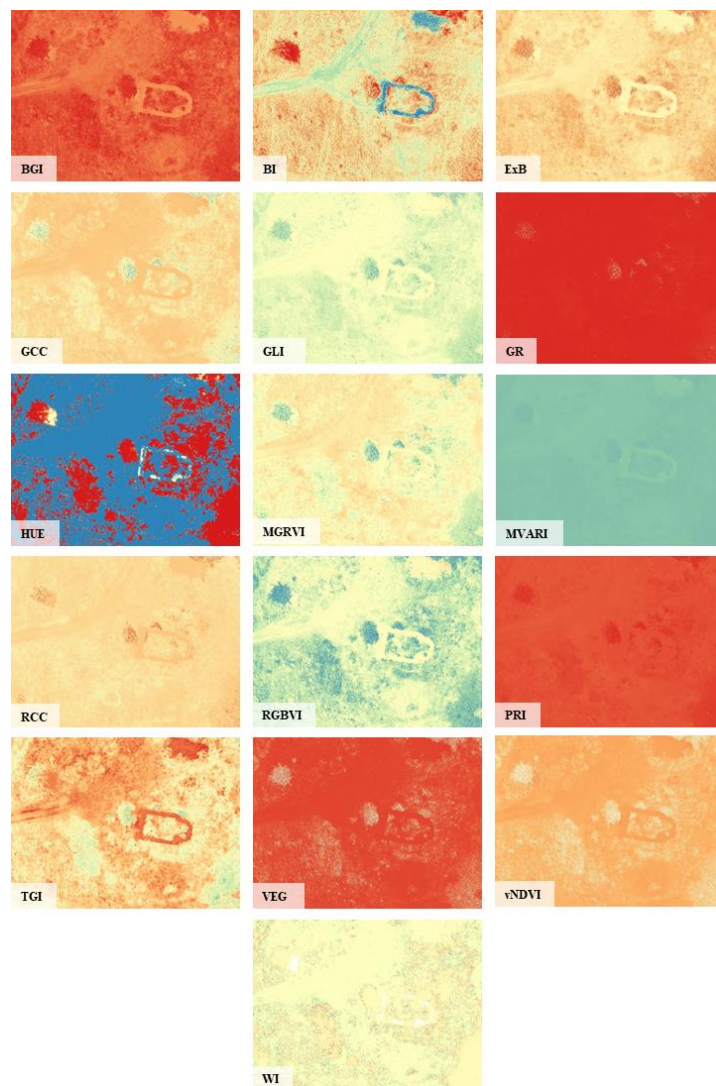
Így végeredményként a 38 db index összesen 16 db különböző indexnek tekinthető, amelyek az alábbiak (az alkalmazhatóságot figyelmen kívül hagyva): BGI, BI, ExB, GCC, GLI, GR, HUE, MGRVI, MVARI, RCC, RGBVI, RGI=PRI, TGI, VEG, vNDVI, WI (2. ábra).

## Következtetés és összefoglalás

A szakirodalomban megtalálható leggyakoribb 37 db RGB index objektív hasonlóság módszerrel történő vizsgálata alapján tehát 16 önálló indexről lehet beszélni. Fontos kiemelni, hogy ez nem jelenti azt, hogy a redundáns indexek feleslegesek lennének, hanem csak azt, hogy képi adatfeldolgozás során egy kérdés megválaszolásához akár több indexet is alkalmazhatunk, amely valószínűleg hasonló eredményt ad. Az összehasonlítások során figyelmen kívül hagytam az adott indexek eredeti felhasználhatóságát, vagyis milyen típusú növényzeten alkalmazták először. Az adott probléma megoldásánál azonban figyelembe kell venni ezt a szempontot is, mielőtt az indexet kiválasztjuk.

További vizsgálat lehet akár többfajta növényzeten megvizsgálni és értelmezni a 16 típusú indexet. Talán a legfontosabb kérdés az, hogy mely index ad leginkább hasonló eredményt, mint az NDVI, valamint az NDRE index, mivel így kiváltható lenne a multispektrális kamerák használata a drónokkal való adatelemzés folyamatában.

**2. ábra:** Összehasonlítás eredményeként kapott egyedi indexek (saját szerkesztés)



## Irodalomjegyzék

- Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L.; Bareth, G. (2015) *Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Amsterdam, v. 39, p. 79-87.
- Costa, L., de Morais N.L., Ampatzidis, Y. (2020) *A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms*. Computers and Electronics in Agriculture. 172. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105334>.
- De Swaef T, Maes WH, Aper J, Baert J, Cougnon M, Reheul D, Steppe K, Roldán-Ruiz I, Lootens P. (2021) *Applying RGB- and Thermal-Based Vegetation Indices from UAVs for High-Throughput Field Phenotyping of Drought Tolerance in Forage Grasses*. Remote Sensing 13(1):147. <https://doi.org/10.3390/rs13010147>
- Du M, Noguchi N. (2017) *Monitoring of Wheat Growth Status and Mapping of Wheat Yield's within-Field Spatial Variations Using Color Images Acquired from UAV-camera System*. Remote Sensing. 9(3):289. <https://doi.org/10.3390/rs9030289>
- Escadafal, R., Belghit, A., Ben-Moussa, A. (1994) *Indices spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride*. In: Guyot, G. réd., Actes du 6eme Symposium international sur les mesures physiques et signatures en télédétection, Val d'Isère (France), 17-24 Janvier 1994, 253-259.
- Gamon, J.A., Surfus, J.S. (1999) *Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer*. New Phytologist, 143:105-117. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>
- Gamon, J.A., Serrano, L., Surfus, J.S. (1997) *The Photochemical Reflectance Index: An Optical Indicator of Photosynthetic Radiation Use Efficiency across Species, Functional Types, and Nutrient Levels*. Oecologia, 112(4):492–501. <http://www.jstor.org/stable/4221805>
- Gitelson, A., Kaufman, Y., Rundquist, D. (2002) *Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction*. Remote Sensing of Environment. 80:76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9).
- Hague, T., Tillett, N.D., Wheeler, H. (2006) *Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals*. Precision Agriculture, Berlin, v. 7, n. 1, p. 21-32.
- Hunt, E.R. Jr., Doraiswamy, P.C., McMurtrey, J.E., Daughtry, C.S.T., Perry, E.M., Akhmedov, B. (2013) *A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale*. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1156.
- Kataoka, T.; Kaneko, T.; Okamoto, H.; Hata, S. (2003) *Crop growth estimation system using machine vision*. In: IEEE/ASME INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INTELLIGENT MECHATRONICS, 2003, Kobe. Proceedings [...]. Piscataway: IEEE, v. 2, n. 1, p. 1079-1083.
- S. Kawashima, M. Nakatani (1998) *An Algorithm for Estimating Chlorophyll Content in Leaves Using a Video Camera*. Annals of Botany. 81(1):49–54, <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0544>
- Li, Y., Chen, D., Walker, C.N., Angus, J.F. (2010) *Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera*. Field Crops Research, Amsterdam, v. 118, n. 3, p. 221-227.

- M., Louhaichi, M.M. Borman, D.E. Johnson (2001) Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*. 16:1. 65-70. DOI: [10.1080/10106040108542184](https://doi.org/10.1080/10106040108542184)
- Mao W., Wang Y., Wang Y. (2003) *Real-time detection of between row weeds using machine vision*. ASABE Annual Meeting. Las Vegas, NV
- R. Mathieu, M. Pouget (1998) *Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typic soil colour of an arid environment*. *Remote Sensing of Environment*, 66:17-28.
- McNairn, H., Protz, R. (2014) *Mapping Corn Field Residue Cover on Agricultural Fields in Oxford County, Ontario, Using Thematic Ma*. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 19.
- Meyer, G. E.; Camargo Neto, J. (2008) *Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications*. *Computers and Electronics in Agriculture*, Athens, v. 63, n. 2, p. 282-293.
- Motohka, T., Nasahara, K.N., Oguma, H., Tsuchida, S. (2010) *Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology*. *Remote Sensing*, Amsterdam, v. 2, n. 10, p. 2369-2387.
- Richardson, A. J., Wiegand, C. (1977) *Distinguishing Vegetation from Soil Background Information*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43:1541-1552.
- Richardson, A.D., Jenkins, J.P., Braswell, B.H., Hollinger, D.Y., Ollinger, S.V., Smith, M.-L. (2007) *Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest*. *Oecologia*. 152:323-334.
- Saberioon, M.M., Amin, M.S.M., Anuar, A.R., Gholizadeh, A., Wayayok, A., Khairunniza-Bejo, S. (2014) *Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Amsterdam, v. 32, p. 35-45.
- Segal, D. (1982) *Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data*. *Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology*, Fort Worth, TX, pp. 949-951.
- Z., Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli (2004) *Image quality assessment: from error visibility to structural similarity*. *IEEE Transactions on Image Processing*. 13(4):600-612. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>.
- van der Walt, S., Schönberger, J.L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J.D., Yager, N., Gouillart, E., Yu, T. and the scikit-image contributors (2014) *scikit-image: Image processing in Python*. *PeerJ* 2:e453 <https://doi.org/10.7717/peerj.453>
- Wang, X., Wang, M., Wang, S., Wu, Y., (2015) *Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images*. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 31, no. 5, p. 152–159.
- Woebbecke, D. M.; Meyer, G. E.; Bargen, K. V. O. N.; Mortensen, D. A. (1995) *Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions*. *Transactions of the ASAE*, Michigan, v. 38, n. 1, p. 259-269.
- Yang, Z., Willis, P., Mueller, R. (2008) *Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy*. *Pecora* 17:18–20.



P.J. Zarco-Tejada, A. Berjón, R. López-Lozano, J.R. Miller, P. Martín, V. Cachorro, M.R. González, A. de Frutos, (2005) *Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy*. Remote Sensing of Environment. 99(3):271-287. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.002>.

### **Internetes hivatkozások**

URL<sup>1</sup>: <https://www.dji.com/hu/mavic-mini/specs>, letöltés ideje: 2023. 07. 08.

URL<sup>2</sup>: [https://scikit-image.org/docs/dev/auto\\_examples/transform/plot\\_ssim.html](https://scikit-image.org/docs/dev/auto_examples/transform/plot_ssim.html), letöltés ideje: 2023. 07. 08.