

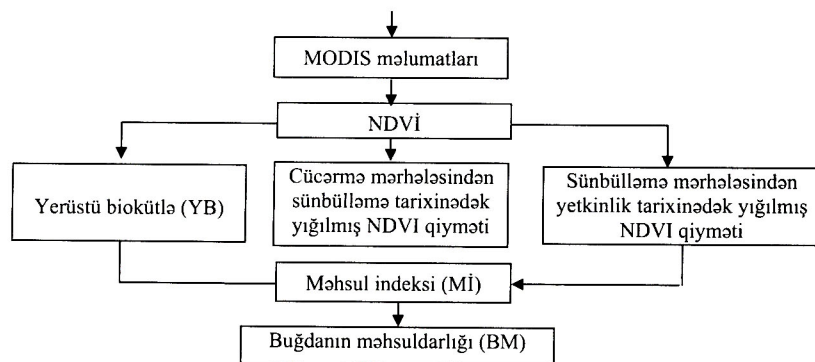
MƏSAFƏDƏN ZONDLAMA
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Y.C.Süleymanova, N.M.Müseibli, X.S.Talbova
(MAKA-nın Kosmik Cihazqayırma Məxsusi Konstruktor Bürosu)

KOSMİK MƏLUMATLAR ƏSASINDA KƏND TƏSƏRRÜFATI
BİTKİLƏRİNİN MƏHSULDARLIĞININ PROQNOZLAŞDIRILMASI
MƏSƏLƏLƏRİNDƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMİŞ VEGETASIYA İNDEKSİLERİ

Giriş. Hazırkı dövrümüzdə aqrosənaye ilə bağlı problemlərin həlli üçün ən səmərəli vasitə əkin sahələrinin vəziyyətini qiymətləndirmək və məhsuldarlığı proqnozlaşdırmaq üçün kənd təsərrüfatı torpaqlarının peyk monitorinqini təmin edən rəqəmsal texnologiyalar hesab edilir. Yerini məsafədən zondlanması (YMZ) üzrə müasir texnologiyalar kənd təsərrüfatı torpaqlarının və bitki örtüyünün vəziyyətinin real mənzərəsini əks etdirən dəqiq məlumatlar verir ki, bu da bitkilərin becərilməsində maksimum iqtisadi effekt əldə etməyə imkan yaradır. Məsafədən zondlama (MZ) metodları, yerüstü ölçmələrdən əldə edilən məlumatlar və peyk təsvirləri əsasında hesablanmış təkmilləşdirilmiş vegetasiya indeksləri kənd təsərrüfatı bitkilərinin öyrənilməsində və məhsuldarlığın proqnozlaşdırılmasında yeni perspektivlərə yol açır. Bu baxımdan peyk və yerüstü aqrometeoroloji müşahidələrin inteqrasiyası əsasında kənd təsərrüfatı bitkilərinin vəziyyətinin və məhsuldarlığının qiymətləndirilməsinə həsr olunmuş tədqiqat işi son dərəcə aktuallığı ilə fərqlənir.

Məhsuldarlığın proqnozlaşdırılması metodunun mahiyyəti. Əvvəlki tədqiqatlarda da kənd təsərrüfatı (k/t) bitkilərinin məhsuldarlığının proqnozlaşdırılması məqsədilə vegetasiya dövrünün müxtəlif fazalarında fitometrik parametrlərin spektrofotometrik ölçmələr əsasında təyini metodlarına tərəfimizdən baxılmışdır [1,2,3]. "MODIS" kosmik təsvirləri əsasında buğda əkin sahəsinin məhsuldarlığının qiymətləndirilməsinin prosedür mərhələləri şəkil 1-də təqdim olunmuşdur [4].



Şək.1. Buğdanın məhsuldarlığının hesablanmasının prosedür mərhələləri

Burada Normallaşdırılmış Diferensial Vegetasiya İndeksi (NDVI) bitkilərin vəziyyətini müəyyənləşdirən əsas parametrlə kimi qəbul edilmişdir. Həmin metodun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, payızlıq buğdanın böyüməsi cücərmə mərhələsindən sonra daha sürətli olur, NDVI-nin qiymətləri sünbülləmə mərhələsindən əvvəl daha sürətli artımı göstərir. Bundan sonra NDVI tədricən azalır, lakin biokütlə artmağa davam edir və yerüstü biokütlə ilə və NDVI arasındakı xətti əlaqə əhəmiyyət daşıyır. Bununla da yerüstü biokütlənin qiymətləndirilməsi bitkinin məhsuldarlığının proqnozlaşdırılması üçün kifayət etmir, ancaq buğdanın dənə dolması mərhələsində məhsul indeksinin (Mİ) hesablanması daha səmərəli nəticələr verir [4].

Bitkinin son mərhələdə məhsuldarlığını təyin edən Mİ-yə bir çox amillər təsir edir. Onların sırasında su stressi və temperatur təradüdlərini, cücərmə mərhələsindən yetişməyə qədərki dövr ərzində meydana çıxan digər məhdudlaşdırıcı amilləri göstərmək olar. Su stressi baş verdikdə, bu faktor tez-tez yarpaqların saralmasına, solmasına səbəb olur və prosesə müvafiq olaraq NDVI azalır. Taxılın dənə dolması dövründə fotosintetik aktiv radiasiyanın (FAPAR) biokütləyə töhfəsi azalır. Bunun əksinə olaraq NDVI indeksi su stressini müəyyənləşdirməklə bitkidəki dəyişikliyin və nəticədə məhsuldarlığın azalmasının göstəricisi ola bilər [4].

Qeyd edilən xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla taxılın dənə dolması dövründə NDVI qiymətləri əsasında yerüstü biokütlə və yekun məhsul indeksi hesablanıla bilər. Həmin mənbədə qidalandırıcı maddələrin bitkiyə ötürülməsinin səmərəliliyini azaldan ətraf mühit amillərinin maksimal məhsul indeksinə (M_{MAX}^I) təsir etdiyini əsas götürərək yekun məhsul indeksi aşağıdakı kimi ifadə edilmişdir [4]:

$$M_{NDVI}^I = M_{MAX}^I - M_R^I \left(1 - \frac{\sum NDVI_{SY}}{\sum NDVI_{CS}} \right). \quad (1)$$

Burada M_{NDVI}^I – faktiki yekun məhsul indeksi, M_{MAX}^I – maksimal Mİ; M_R^I – məhsul indeksinin dəyişmə intervalı, $\sum NDVI_{SY}$ – sünbülləmə mərhələsindən yetkinlik mərhələsinə qədər NDVI-nin qiymətlərinin cəmi, $\sum NDVI_{CS}$ isə cücərmə mərhələsindən sünbülləmə mərhələsinə qədər NDVI-nin qiymətlərinin cəmidir.

Hesablanmış yerüstü biokütlə (YB) və M_{NDVI}^I - dən istifadə edərək son buğda məhsuldarlığı (BM) aşağıdakı kimi hesablanır [4]:

$$BM = YB \times M_{NDVI}^I. \quad (2)$$

Təqdim olunan asılılığın eksperimental aprobeşiyası Şəki rayonunun taxıl əkin sahəsi üçün əldə edilmiş spektrometrik arxiv verilənləri əsasında həyata keçirilmişdir. Spektrometrik ölçmələr cücərmə dövründən tam yetişmə dövrünə qədər olan müddəti əhatə etmiş və alınmış nəticələrə görə NDVI göstəriciləri aşağıdakı kimi olmuşdur:

$$M_{MAX}^I = 0,48; \quad \sum NDVI_{SY} = 1,38; \quad \sum NDVI_{CS} = 2,97.$$

Məhsul indeksinin dəyişmə intervalı bütün ölçmələr üçün hesablanmış və $M_R^I = 0,33$ kimi alınmışdır. Göstərilənlər nəzərə alınmaqla (1) düsturuna əsasən nəticə aşağıdakı kimi olmuşdur:

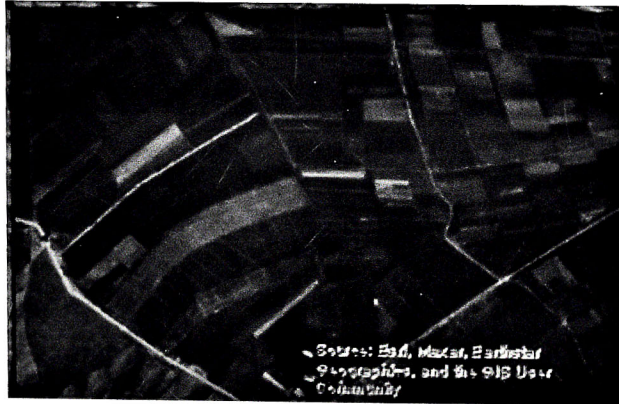
$$M_{NDVI}^I = 0,48 - 0,33 \left(1 - \frac{1,38}{2,97} \right) = 0,48 - 0,33 \times 0,54 = 0,48 - 0,18 = 0,30.$$

Beləliklə, baxılan sahə üzrə buğdanın məhsuldarlıq göstəriciləri yaşıl bitki kütləsinin verilmiş qiymətlərində (2) düsturuna görə aşağıdakı kimi proqnozlaşdırılmışdır (cədvəl 1).

Cədvəl 1. Yaşıl bitki kütləsinin verilmiş qiymətlərində buğdanın məhsuldarlığının proqnoz göstəriciləri

Yaşıl bitki kütləsi, T/ha	12	14	11	15	9	8	6
Proqnozlaşdırılan məhsul, T/ha	3,6	4,2	3,3	4,5	2,7	2,4	1,8

Alınmış nəticələr ancaq lokal əraziləri əhatə etdiyindən, müxtəlif vegetasiya indekslərindən istifadə etməklə kosmik təsvirlər əsasında proqnoz göstəricilərinin hesablanması zərurəti qarşıya çıxmışdır. Bu məqsədlə tədqiqat ərazisi kimi Şəki rayonunun Aşağı Göynük kəndi götürülmüş, ilk növbədə kosmik təsvir əsasında tədqiqat sahəsinin konturları müəyyən edilmişdir (şək. 2).



Şək.2. Tədqiqat ərazisinin (Aşağı Göynük kəndinin) kosmik təsvirdə konturları

Tədqiqat ərazisinin fiziki-coğrafi xüsusiyyətləri. Məlum olduğu kimi Azərbaycanda bütün taxıl bitkiləri əkinləri sırasında ilk yeri daimi payızlıq buğda tutur. Şəki rayonu üçün payızlıq buğdanın inkişaf mərhələlərinin (fazalarının) başlanması cədvəl 2-də göstərilmişdir [5].

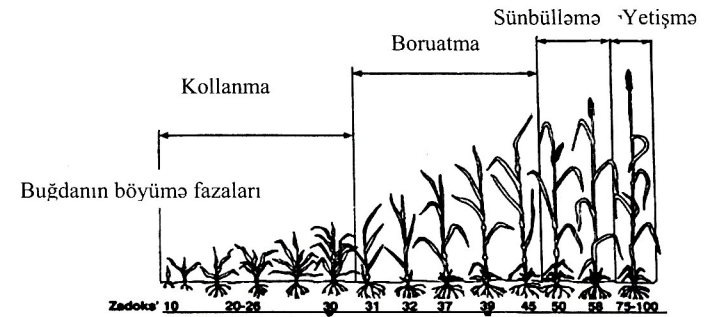
Cədvəl 2. Şəki rayonu üçün payızlıq buğdanın inkişaf fazaları

Rayon	Səpin	Cücərmə	Boruatma	Sünbülləmə	Mum yetişmə	Tam yetişmə	Hündürlük, mm-lə
Şəki	19.X	11.XI	14.IV	14.V	16.VI	24.VI	639

Aşağı Göynük kəndi Şəki rayonunun eyniadlı inzibati ərazi vahidində aid olmaqla Çəparx çayının hər iki sahilində, Alazan-Həftəran vadisində yerləşir. Yaşayış məntəqəsi XIX əsrin əvvəllərində Göynük (indiki Baş Göynük) kəndindən çıxmış ailələrin burada

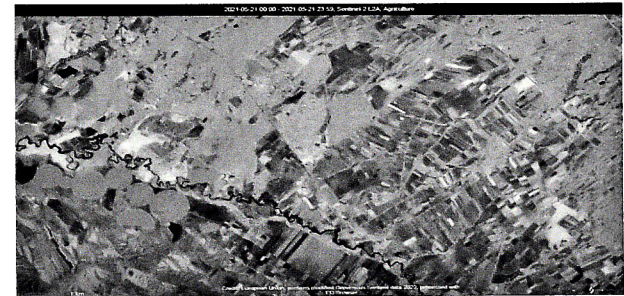
məskunlaşması nəticəsində yaranmışdır və mənası "Aşağıda olan Göynük kəndi" deməkdir. Aşağı Göynük kəndi rayon mərkəzindən 18 km şimal-qərbdə, Şəki-Zaqatala şosse yolundan 2 km aralıda yerləşir, yayı rütubətli keçən mülayim-isti iqlimə malikdir. Kəndin içərisindən Çəparx çayı keçir və əhalisi əsasən azərbaycanlılardan ibarətdir.

NDVI və digər təkmilləşmiş vegetasiya indeksləri vasitəsilə kənd təsərrüfatı bitkilərinin təsnifatı. Payızlıq buğdanın inkişaf dövründə maksimum yarpaq indeksi boruatma mərhələsində müşahidə olunur ki, bu da NDVI indeksinin göstəricilərinin maksimum olduğu dövr ilə üst-üstə düşür. NDVI indeksinin maksimum göstəriciləri əsasən aprelin sonlarından mayın ikinci həftəsinə qədər müşahidə olunur. Göstəriciləri maksimum olan indeksi (1), (2) düsturları əsasında hesablamaqla buğdanın məhsuldarlığını proqnozlaşdırmaq mümkündür. İlk növbədə Zadoks şkalası üzrə buğda bitkisi inkişaf fazalarına bölünmüşdür (şək. 3) [6,7].

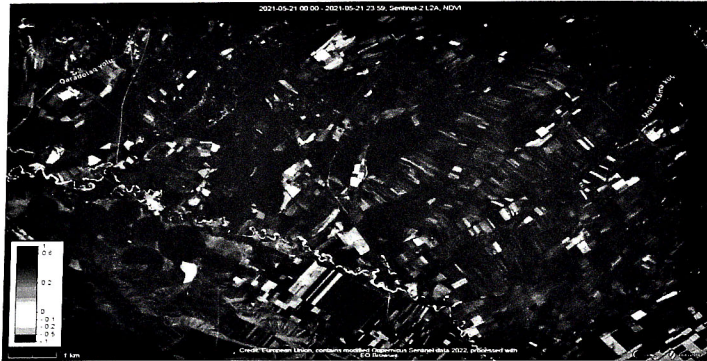


Şək.3. Zadoks şkalası üzrə buğdanın inkişaf fazaları

Sonra Sentinel-2 peyk məlumatları əsasında seçilmiş test ərazisinin NDVI xəritəsi yaradılmışdır (şək.4; şək.5). Peyk təsviri 2021-ci ilin may ayına təsadüf etdiyindən, bitkilərin yaşillıq əlaməti təsnifat aparmağa imkan vermişdir. Daha sonra isə EOSDA (Yerin Müşahidəsi Sistemlərinin Data Analitikası) proqram təminatı əsasında Aşağı Göynük kəndi ərazisindəki payızlıq buğda əkin sahəsinin təsnifatı aparılmışdır.

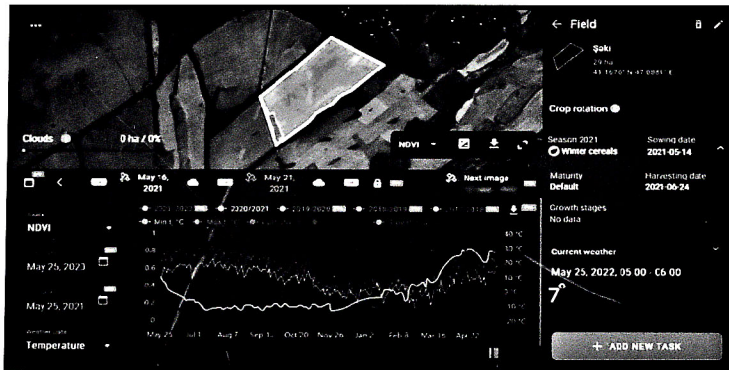


Şək.4. Sentinel-2 Yerli müşahidə peykindən alınan Şəki rayonunun Aşağı Göynük kəndinin kənd təsərrüfatı xəritəsi (21 may 2021-ci il)



Şək.5. Sentinel-2 Yerin müşahidə peykindən alınan Şəki rayonunun Aşağı Göynük kəndinin NDVI xəritəsi (21 may, 2021-ci il)

Həmin təsnifatda vegetasiya dövrü üçün bitkilərin temperaturundan və nəmliyindən asılı olaraq NDVI-nin dəyişmə tendensiyası əyani təqdim edilmişdir (şək.6).



Şək.6. EOSDA (Yerin Müşahidəsi Sistemlərinin Data Analitikası) proqram təminatı əsasında Şəki rayonu Aşağı Göynük kəndi ərazisindəki payızlıq buğda əkin sahəsinin (sünbülləmə dövründə) kosmik təsvirinin NDVI indeksi əsasında təsnifatı

EOSDA proqram təminatı bazasında aparılmış hesablamalar sünbülləmə dövrü üçün çılpaq torpaqları, orta, yaxşı və çox yaxşı inkişaf etmiş əkin sahələrini ayırmağa, onların sahələrini hesablamağa və faizlərlə ifadə etməyə imkan vermişdir (cədvəl 3). Optik sıx bitki örtüyü üçün NDVI-nin qiyməti 0,90-0,95 intervalında dəyişmişdir ki, bunların da sahəsi 0,04 ha olmuşdur. Ən geniş sahə 18,53 ha (64 %) olmuşdur ki, bu da NDVI = 0,80-0,85 intervalına uyğun gəlmişdir. Demək olar ki, tam çılpaq torpaq sahələrinə təsadüf edilməmiş, burada NDVI-nin qiymətləri 0,10-0,20 intervalında dəyişmişdir.

Cədvəl 3. EOSDA proqram təminatı əsasında Aşağı Göynük kəndi ərazisindəki payızlıq buğda əkin sahəsinin NDVI indeksinə təsnifatı və sahə göstəriciləri (ha və faizlə)

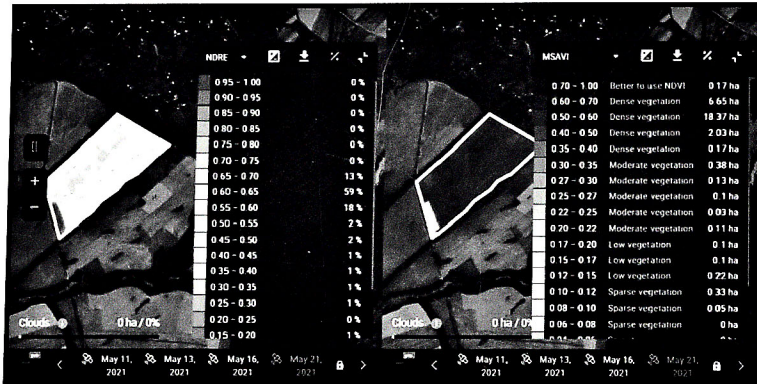
NDVI			Sahə göstəricisi, ha ilə	Sahələr, faizlərlə
1	0,95-1,00	Sıx bitki örtüyü	0	0
2	0,90-0,95	Sıx bitki örtüyü	0,04	0
3	0,85-0,90	Sıx bitki örtüyü	3,23	11
4	0,80-0,85	Sıx bitki örtüyü	18,53	64
3	0,75-0,80	Sıx bitki örtüyü	4,38	15
4	0,70-0,75	Sıx bitki örtüyü	0,56	2
5	0,65-0,70	Sıx bitki örtüyü	0,21	1
6	0,60-0,65	Sıx bitki örtüyü	0,2	1
7	0,55-0,60	Orta bitki örtüyü	0,11	0
8	0,50-0,55	Orta bitki örtüyü	0,13	0
9	0,45-0,50	Orta bitki örtüyü	0,2	1
10	0,40-0,45	Orta bitki örtüyü	0,24	1
11	0,35-0,40	Seyrək bitki örtüyü	0,13	0
12	0,30-0,35	Seyrək bitki örtüyü	0,1	0
13	0,25-0,30	Seyrək bitki örtüyü	0,14	0
14	0,20-0,25	Seyrək bitki örtüyü	0,18	1
15	0,15-0,20	Çılpaq torpaq	0,29	1
16	0,10-0,15	Çılpaq torpaq	0,25	1
17	0,05-0,10	Çılpaq torpaq	0	0
18	-1,00-0,05	Çılpaq torpaq	0	0

Bununla da aşkar görünür ki, NDVI bitkinin günəş radiyasını əks etdirmə və udma qabiliyyətinə görə hesablanan vegetativ indeks kimi vaxtında problemi aradan qaldırmağa, bitkinin inkişafının müxtəlif mərhələlərində əkinin problemlə sahələrini müəyyən etməyə imkan verir. Çox aşağı NDVI göstəricisi olan ərazilər zərərvericilər və ya bitki xəstəlikləri ilə bağlı sahələrə aid edilə bilər və qeyri-adi dərəcədə yüksək NDVI-si olan ərazilər alağ otlarının yayıldığından xəbər verə bilər. Eyni zamanda NDVI-nin ən yüksək qiymətləri bitkilərin məhsuldarlığının yaxşı göstəricisi kimi qəbul edilir. Bunları fərqəndirmək üçün isə bitkilərin vegetativ inkişaf dövrü nəzərə alınmalı, yaxud digər vegetasiya indeksləri vasitəsilə hesablamalar aparılmalıdır. Bu məqsədlə 2021-ci ilin may ayı üçün əldə edilmiş kosmik təsvir əsasında EOSDA proqram təminatı vasitəsilə NDRE və MSAVI indeksləri hesablanmış, Aşağı Göynük kəndinin taxıl əkin sahələrinin təsnifatı aparılmışdır (şək.7).

NDRE (Normalized Difference RedEdge) mövsümün ortasında və sonunda bitki yarpaqlarında azot konsentrasiyasını qiymətləndirmək üçün istifadə olunan bitki örtüyünün fotosintez fəaliyyətinin göstəricisidir. Göstərici korlanmış və qocalmış bitki örtüyünü aşkar etməyə imkan verir və bitki xəstəliklərini müəyyən etmək üçün istifadə olunur. NDRE, həmçinin məhsul yığımının vaxtını optimallaşdırmağa imkan verir [7,8,9].

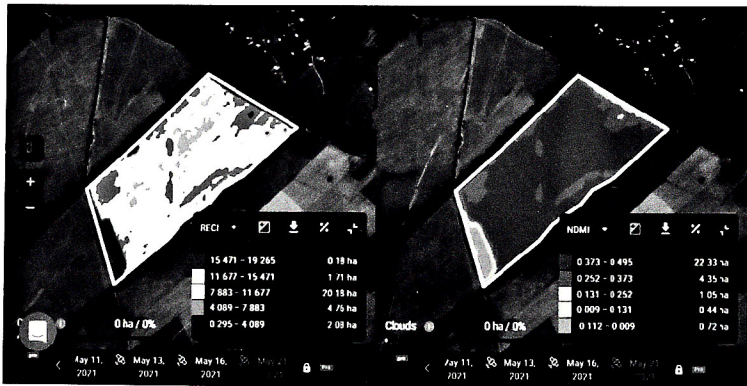
MSAVI (Modified Soil-adjusted Vegetation Index) çox miqdarda boş torpaq olduqda, vegetasiya prosesinin erkən mərhələlərində bitki örtüyünün mövcudluğunu

müəyyən etməyə imkan verən vegetasiya indeksidir. İndeksə əsasən məhsulun böyüməsinin ilkin mərhələlərində diferensial gübrə tətbiqi üçün xəritələr qurmaq mümkündür [8,9].



Şək.7. EOSDA (Yerin Müşahidəsi Sistemlərinin Data Analitikası) proqram təminatı əsasında Şəki rayonu Aşağı Göynük kəndi ərazisində yerləşən payızlıq buğda əkin sahəsinin (sünbülləmə dövründə) kosmik təsvirinin NDRE və MSAVI indeksləri əsasında təsnifatı

Bununla yanaşı məhsuldarlığın proqnozlaşdırılmasında bitkilərin inkişaf prosesini xarakterizə edən digər amillər, o cümlədən xlorofilin miqdarının müəyyənəndirilməsi və su stresinin təyini üçün EOSDA proqram mühitində payızlıq buğda əkin sahəsi üçün RECI və NDMI indekslərinə görə təsnifat aparılmışdır (şək.8).

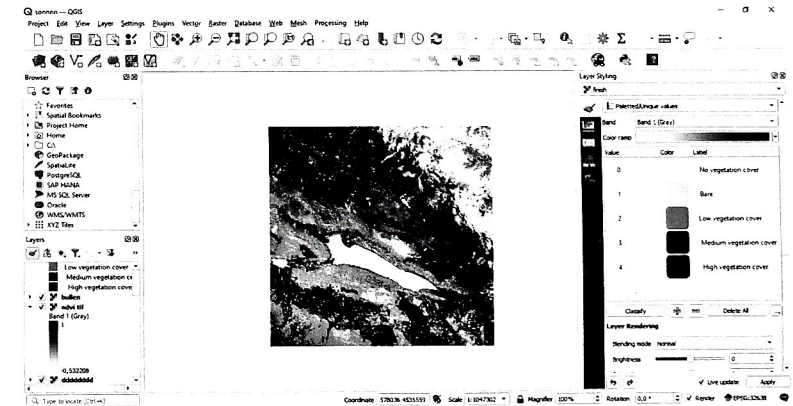


Şək.8. EOSDA (Yerin Müşahidəsi Sistemlərinin Data Analitikası) proqram təminatı əsasında Şəki rayonu Aşağı Göynük kəndi ərazisində yerləşən payızlıq buğda əkin sahəsinin (sünbülləmə dövründə) kosmik təsvirinin RECI və NDMI göstəriciləri əsasında təsnifatı

ReCI (Red-edge Chlorophyll Index) yarpaqlardakı xlorofilin tərkibinə həssas olan vegetativ səthin fotosintetik aktivliyinin göstəricisidir. Xlorofilin səviyyəsi məhsuldakı azotun səviyyəsi ilə bilavasitə əlaqəli olduğundan, indeks yarpaqların saralmış və ya solğun sahələrini müəyyən etməyə imkan verməklə əlavə gübrə tətbiqi üçün xəbərdarlıq edir.

NDMI (Normalized Difference Moisture Index-Normallaşdırılmış Diferensial Nəmlik İndeksi) məhsulun su gərginliyi səviyyəsini təsvir edir və yaxın infraqırmızı və SWIR spektrlərində sınımsız şüalanmanın fərqi və cəmi arasındakı nisbət kimi hesablanır. NDMI-nin mütləq qiyməti təsərrüfat sahələrində və ya tarlada su stresinin yaşandığı sahələri dərhal tanımağa imkan verir. NDMI-ni şərh etmək asandır, onun qiymətləri -1 ilə 1 arasında dəyişir və hər bir qiymət məhsuldan asılı olmayaraq fərqli aqrotexniki vəziyyətə uyğun gəlir [6,10].

NDVI xəritəsinin yaradılması və bitkilərin təsnifat göstəriciləri. Tədqiqat ərazisində poliqon üzrə sərhədlərin müəyyənəndirilməsi üçün EARTHDATA yerin müşahidə sisteminin proqram təminatından istifadə edilmişdir [10]. Bununla da həmin proqram vasitəsi 2020-2022-ci illər üzrə sərhəd dəyişikliyinə müəyyənəndirilməyə imkan vermiş, alınmış nəticələr elektron kartoqrafik təqdim olunmuşdur. Daha sonra həmin müşahidə sistemindən əldə olunmuş təsvir əsasında QGIS proqram təminatı vasitəsilə NDVI xəritəsinin qurulması məsələsinə baxılmışdır. Təklif olunan metodlar Şəki rayonunun Aşağı Göynük kəndinin kosmik təsvirləri əsasında nümayiş olunmuş, alınmış nəticələr elektron kartoqrafik təqdim edilmişdir (şək.9).



Şək.9. EARTHDATA yerin məsafədən müşahidə sistemindən əldə edilmiş təsvir əsasında QGIS proqram təminatında emal olunmuş NDVI xəritəsi və onun təsnifat göstəriciləri

QGIS coğrafi məlumat sistemi kimi fəaliyyət göstərdiyindən, istifadəçilər qrafik xəritələri tərtib etmək, məkan məlumatlarının təhlilini aparmaq və redaktə etmək imkanına malik olurlar. QGIS rastr, vektor məlumatlarını dəstəkləyir və belə məlumatlar nöqtə, xətt və ya çoxbucaqlılar kimi saxlanılır. Bununla yanaşı QGIS proqram təminatında təkmilləşdirilmiş vegetasiya indekslərini hesablamaq mümkündür.

Verilən 14 aprel 2021-ci il tarixli kosmik təsvir NDVI indeksinin maksimumuna uyğun olaraq QGIS proqram təminatında emal olunmuş və təsnifat göstəriciləri 4 müxtəlif rəng çalarında təqdim edilmişdir.

Bununla da seçilmiş test ərazisinin kosmik təsvirləri üzrə müxtəlif vegetasiya indekslərindən istifadə etməklə məhsuldarlığın proqnozlaşdırılması üçün müxtəlif metodlar təklif edilmişdir. Həmin metodlar vegetativ inkişaf dövründə ölçmələrin aparılmasını tələb etməklə onun vəziyyətinə təsir edən digər amilləri də nəzərə almağa imkan verir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Şirinzadə A.Ə., Süleymanova Y.C. Spektrometrik ölçmələr əsasında bitki obyektlərinin məhsuldarlığının mövsümi dinamikasının qiymətləndirilməsi // AMAKA-nın Xəbərləri, 2009, № 2 (12), s. 17-21.

2. Сулейманова Е.Дж. Вопросы использования вегетационных индексов для дистанционного зондирования состояния почвы / Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". М.: 3/2013, II, с. 78-80.

3. Süleymanova Y.C., Babayeva G.R. və b. Kosmik təsvirlər əsasında Quba-Xaçmaz regionunun landsaft elementlərinin geoinformasion modelləşdirilməsi // AMAKA-nın Xəbərləri, 2017, № 2 (20), s. 32-39.

4. Hongwei Zhang, Huailiang Chena, Guanhui Zhou. The model of wheat yield forecast based on modis-ndvi - a case study of xinxiang. 2012.

5. <http://www.sheki-ih.gov.az/az/news/1536.html>

6. <https://eos.com/products/crop-monitoring/>

7. Astrid Vannoppen, Anne Gobin. Estimating Wheat Yields from NDVI and Meteorological Data 2021

8. https://az.wikipedia.org/wiki/A%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1_G%C3%B6yn%C3%B

Ск

9. <https://az.wikipedia.org/wiki/Bu%C4%9Fda>

10. <https://apps.sentinel-hub.com/eo>

<browser/?zoom=10&lat=41.9&lng=12.5&themeId=DEFAULTTHEME&toTime=2022-11-22T08%3A03%3A21.666Z>

Е.Дж.Сулейманова, Н.М.Мусейibli, Х.С.Талибова

Усовершенствованные вегетационные индексы в задачах прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе космических данных

Резюме

Рассмотрены задачи прогнозирования урожайности зерновых культур по значениям разновременных измерений вегетационного периода. Предложенные методы, базирующиеся на различных вегетационных индексах, продемонстрированы на примере космического изображения Шекинского района и полученные результаты представлены в виде электронных карт.

E.J.Suleymanova, N.M.Museyibli, X.S.Talibova

Advanced vegetation indices for agricultural crop yield prediction based on spatial data

Abstract

The problems of predicting the yield of grain crops by the values of multi-temporal measurements of the growing season are considered. The suggested methods based on various vegetation indices are demonstrated on the example of a satellite image of the Sheki region and the results obtained are presented in the form of electronic maps.