



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО ТЕНИЧКИ ФАКУЛТЕТ ВЕЛЕС



Иновативни технологии за храна и нутриционизам

**АКУМУЛАЦИЈА НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ВО КРОМИД, ЛУК И КОМПИР
ОД ОКОЛИНАТА НА КОСОВСКА МИТРОВИЦА**

докторски проект

Кандидат:
Ганимете Хета, број на индекс 21

Ментор:
Проф. д-р Горица Павловска

СОДРЖИНА

1. Вовед	4
2. Преглед на литературата	4
2.1. Нутритивен состав на зеленчук	4
2.1.1. Кромид	5
2.1.2. Лук	5
2.1.3. Компир	5
2.2. Токсичност на тешки метали	5
2.2.1. Бакар (Cu)	5
2.2.2. Кобалт (Co)	5
2.2.3. Манган (Mn)	6
2.2.4. Никел (Ni)	6
2.2.5. Хром (Cr)	6
3. Материјали и методи	7
3.1. Материјали	7
3.2. Методи	7
3.2.1. Подготовка на примероците	7
3.2.2. Определување на тешки метали Cu, Co, Mn, Ni и Cr	7
3.2.3. Определување на фактор на биоконцентрација (ФБ)	7
3.2.4. Статистичка обработка на податоците	7
4. Резултати и дискусија	8
5. Заклучок	11
6. Користена литература	12

АКУМУЛАЦИЈА НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ВО КРОМИД, ЛУК И КОМПИР ОД ОКОЛИНАТА НА КОСОВСКА МИТРОВИЦА

Ганимете Хета

Св. Климент Охридски – Битола, Р.С. Македонија
ganimete.heta@uklo.edu.mk

Горица Павловска

Св. Климент Охридски – Битола, Р.С. Македонија
0009-0008-6877-3188
gorica.pavlovska@uklo.edu.mk

Апстракт

Акумулацијата на тешки метали во растенијата претставува сериозен еколошки и здравствен проблем, особено во руралните области каде што земјоделството е главен извор на приход. Ова истражување е фокусирано на акумулацијата на тешки метали во различни видови зеленчук (кромид, лук и компири) од селата Звечан, Фрашер и Полски во околината на Косовска Митровица. Целта е да се утврди нивото на контаминација на овие метали во анализираниот зеленчук. За таа цел, собрани се примероци од кромид, лук и компири од реколта 2023 година од посочените села. Примероците од сува маса зеленчук се анализирани за да се определи концентрацијата на металите: бакар, кобалт, манган, никел и хром со помош на ICP-MS техника. За да се определи факторот на биоконцентрација на селектираниот зеленчук анализирана е и почвата на која се одгледува зеленчукот. Од сите анализирани метали највисоки концентрации во кромидот и компирот е определено за хром. Најмногу хром во кромидот има во селото Фрашер (32,60 mg/kg), а во компирот во селото Полски (31,00 mg/kg). Лукот од селото Фрашер содржи најмногу хром од сите анализирани зеленчуци (40,10 mg/kg), но во лукот од сите анализирани метали највисока концентрација е определена за никел (92,30 mg/kg во селото Полски). Факторот на биоконцентрација е многу низок за кобалт и манган и се движи од 0,01 до 0,04, што значи акумулацијата на овие метали во сите зеленчуци е многу мала. Според факторот на биоконцентрација, компирите најмногу акумулираат бакар, а лукот најмногу акумулира хром и никел. Статистичката обработка на резултатите покажа дека постои силна позитивна корелација помеѓу содржината на тешките метали во сите три вида анализиран зеленчук.

Клучни зборови: Тешки метали, кромид, лук, компири, акумулација, биоконцентрација

1. Вовед

Во последните години на еколошко и глобално ниво се зголемува загриженоста за загадувањето на животната средина со тешки метали. Исто така човековата изложеност на тешките метали е зголемена поради примената на овие метали во индустријата, земјоделството и домаќинствата (Брадл - Bradl, 2002). Изворите на тешки метали вклучуваат геогени, индустриски, земјоделски, фармацевтски, отпадна вода и атмосферски извори (Хе и сор., - He et al., 2015).

Иако тешките метали се наоѓаат во земјината кора, загадувањето на животната средина и човечката изложеност се резултат на антропогени активности како рударството, топењето на метали, индустриското производство и употребата на соединенија кои содржат метали во домаќинството и земјоделството (Хе и сор., - He et al., 2015).

Факторот на биоцентрација (ФБ) е концентрацијата на тешките метали која е присутна во растителната биомаса поделена со концентрацијата на соодветниот тежок метал во почвата на која се одгледуваат соодветните растенија (Маити и сор., - Maiti et al., 2022).

Во последно време, свеста за потрошувачката на свежа, минимално обработена и/или природна храна без адитиви е зголемена, па затоа е зголемена и побарувачката за храна што го промовира здравјето. Поради тоа зеленчукот заедно со овошјето се важни производи за кои е потребно да се обрне големо внимание во поглед на нивниот нутритивен состав, квалитет и присуството на тешки метали во нив.

Во овој докторски проект е претставена содржината на тешките метали Cu, Co, Mn, Ni и Cr во кромид, лук и компир. одгледани во три различни села на територијата на Р. Косово (Звечан, Фрашер и Полски). Овие три села се наоѓаат во близина на Топилница од која почвата и воздухот се загадени со тешки метали (цинк, олово и кадмиум). Определувањето на концентрацијата на тешките метали е направена со помош на индуктивно спрегната плазма со масена спектрометрија ICP-MS.

Овие истражувања ќе помогнат во проценката на потенцијалниот ризик за здравјето на населението и ќе послужат како основа за препораки за подобрување на земјоделските практики и заштитата на животната средина. Преку ова истражување, ќе се добијат значајни информации за актуелната состојба на контаминацијата со метали во оваа област и ќе се поттикнат идни истражувања и мерки за ублажување на проблемот.

2. Преглед на литературата

2.1. Нутритивен состав на зеленчук

Зеленчукот е храна која го снабдува организмот со есенцијални витамини и минерали. Различната боја на зеленчукот е доказ за многубројните фитохемикалии кои се присутни во зеленчукот. Овие фитохемикалии му помагаат на телото да се бори против болестите и да ја намали инциденцата од појава на нови. Метаболитичките активности на човечкото тело се зајакнуваат кога се конзумира во големи количини. Зеленчукот може да се јаде сиров или термички обработен. Тој главно содржи ниски количества на масти и јаглехидрати, а е богат со витамини, минерали и диететски влакна (Ебабхи и сор., - Ebabhi et al., 2022).

2.1.1. Кромид

Кромидот (*Allium cepa*, L.) е една од најважните градинарски култури. Врз основа на бојата на обвивката постојат три сорти на кромид (црвен, жолт/кафеав и бел) (Нагаш и сор. - Naqash et al., 2022). Неговата потрошувачка се припишува на неколку фактори, главно на големата промоција што ги поврзува вкусот и здравјето и популарноста на храна богата со кромид. Основниот коренест дел е оној кој се консумира и се одликува со карактеристичен силен вкус и лут мирис (Дини и сор. – Dini et al., 2008). Главната причина за широката потрошувачка на кромид на глобално ниво е тоа што е најбогат извор на кверцетин. Типичниот вкус и арома на кромидот се должат на испарливите органосулфурни соединенија кои го прават извонредна состојка во повеќето храни во кои е додаден во форма на есенцијални масла, прав, паста, снегулки и сок (Мајид и сор. - Majid et al., 2024).

2.1.2. Лук

Се верува дека лукот (*Allium sativum* L.) потекнува од централна Азија т.н. Казахстан, богат е со испарливи соединенија, кои се користат за вкус и неиспарливи соединенија како што се фенолни соединенија (сапогенини, флавоноиди, протеини и сапонини), амиди, азотни оксиди, минерали (Se, P и K), витамини (витамини од Б групата и витамин Ц) и антиоксиданси. Коренестиот дел на лукот содржи: влага (62,38-68,33%), pepel (1,16-1,87 g/100 g сува материја), јаглехидрати (23,13-36,03%), масти (0,12-0,37 g/100 g сува материја), протеини (4,62-7,4 g/100 g сува материја) (Галгаје и сор. – Galgaie G. G. et al., 2023).

2.1.3. Компир

Компирот (*Solanum tuberosum*) е главна основна храна за луѓето и четврта по големина култура што се одгледува во светот по оризот, пченицата и пченката. Годишното глобално производство на компир и милионите хектари посветени на неговото производство ги поттикнуваат истражувачите да ги анализираат различните нутритивни и здрави аспекти (Аморосо и сор. - Amoroso et al., 2019). Компирите придонесуваат за клучните хранливи материи во исхраната, вклучувајќи витамин Ц, калиум и диетски влакна (Беалс и сор. - Beals et al., 2019).

2.2. Токсичност на тешки метали

2.2.1. Бакар (Cu)

Бакарот е еден од есенцијалните тешки метали кој што не е токсичен во својата метална форма, но неговите соли можат да бидат токсични. Особено токсични се сулфатните соли. Бакар сулфатот е кристална сол која има метален вкус со сина боја и во дози поголеми од 0,5 g делува како надразнувачки отров и предизвикува цревни стомачни проблеми (Али и сор. - Ali et al., 2023). Во растенијата бакарот е важен кофактор на многу металопротеини и е вклучен во неколку биохемиски и физиолошки процеси. Вишокот од бакар предизвикува оксидативен стрес во растенијата преку зголемено производство на реактивен кислород (ROS) (Шаббир и сор. - Shabbir et al., 2020).

2.2.2. Кобалт (Co)

Кај луѓето дистрибуцијата на кобалт е под влијание на плазма протеините, како што е албуминот, како и трансферинот кој е протеин кој нормално го врзува железото.

Елиминацијата на кобалт е главно во урината, а помал дел во изметот. Уринарната елиминација е зголемена при акутна изложеност (Чен и сор. - Chen et al., 2024). Кобалтот е од групата елементи во трагови и кај растенијата и кај животните. Кобалтот игра важна улога и во активноста на различни ензими и коензими како витамин Б12. Приближниот внес на кобалт од страна на луѓето преку храната е 5-40 $\mu\text{g}/\text{ден}$. Дозволената граница на кобалт во почвата (додаден за растот на растенијата) е од 0,2 до 0,5 ppm. Повисоките нивоа на кобалт во почвата предизвикуваат токсични влијанија врз растенијата кои се рефлектираат во нивната морфологија и физиологија (Махеј и сор. - Mahey et al., 2020).

2.2.3. Манган (Mn)

Токсичноста на манганот е од клинички интерес поради невролошките симптоми. Синдромот предизвикан од токсичноста на Mn споделува слични карактеристики со Паркинсоновата болест и соодветно на тоа се претпоставува дека изложеноста на Mn е фактор на ризик за оваа болест. Токсичноста на манганот предизвикува сериозна опасност по здравјето на луѓето, што резултира со тешки патологии на централниот нервен систем. Во најтешката форма токсичноста се манифестира со трајно осакатувачко невролошко нарушување на екстрапирамидалниот систем (сличен на Паќкинсоновата болест) (Кеен и сор. - Keen et al., 2013).

2.2.4. Никел (Ni)

Никелот е преоден елемент кој е широко распространет во околината, воздухот, водата и почвата. Може да потекнува од природни извори и антропогена активност. Иако никелот е присутен во околината, неговата функционална улога како микроелемент за животните и луѓето сè уште не е препознаена. Загадувањето на животната средина од никел може да се должи на индустријата, употребата на течни и цврсти горива, како и комуналниот и индустрискиот отпад. Никелот е канцероген елемент кој може да предизвика различни несакани ефекти врз здравјето на луѓето, како што се алергија, кардиоваскуларни и бубрежни заболувања, фиброза на белите дробови, рак на белите дробови и носот (Генчи и сор. - Genchi et al., 2020).

2.2.5. Хром (Cr)

Хромот е важен микронутриент кој е вклучен во метаболизмот на јагленхидрати, липиди и протеини. Тој е важен метал во производството на пигменти, обложување на метали, обработка на дрво и штавење кожа, и се користи во металургијата и производството на огноотпорни материјали, меѓу разни други апликации. Најважните две форми на оксидација на хромот се тривалентен и шестовалентен хром. Тривалентниот во голема мера е нетоксичен, а шестовалентниот хром е токсичен и канцероген за живите организми. Индустрискиот отпад кој содржи хром е познат како главен извор на загадување на почвата и водата и оттука може да има сериозно влијание врз здравјето на луѓето (Шин и сор. - Shin et al., 2023).

3. Материјали и методи

3.1. Материјали

Анализирани се 3 вида коренест зеленчук, кромид, лук и компир, како и почвата на која е одгледуван овој зеленчук. Анализите се направени при технолошка и нутритивна зрелост на зеленчукот (реколта 2023 година).

Примероците зеленчук се земени од три села во регион на Косовска Митровица (42.883°N, 20.867°E) во Косово. Во близината на двете села Звечан (42°54'27"N, 20°50'25.01"E) и Фрашер (42° 34' 59.88" N, 21° 00' 0.36" E) се наоѓа топилница за олово и цинк а третото - Полски (43 25' 00", 25 39' 00") е на поголема оддалеченост од топилницата.

3.2. Методи

3.2.1. Подготовка на примероците

Сите проби за анализа беа исушени до константна маса во сушница (Drying Oven SLN 15, Wodzisław Śląski, Poland) во период од 24-30 часа во зависност од видот на зеленчукот.

3.2.2. Определување на тешки метали Cu, Co, Mn, Ni и Cr

Определувањето на концентрацијата на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во селектираните видови зеленчук беше направено со акредитиран метод МКС EN ISO/IEC 17025:2018 за определување на содржина на 35 елементи во различни примероци со примена на микробранова дигестија и индуктивно спрегната плазма со масена спектрометрија ICP-MS (model 7500cx, Agilent USA) - метод со флексибилен опсег.

Cu, Co, Mn, Ni и Cr во почвата се определени со методот ISO 11464:2006(E); ISO 14869-1:2001; ICP-MS техника (ISO 17294-2:2009) - метод со флексибилен опсег.

3.2.3. Определување на фактор на биоконцентрација (ФБ)

Факторот на биоконцентрација (ФБ) е определен со помош на формулата:

$$\text{ФБ} = \frac{C_{\text{сув зеленчук}}}{C_{\text{почва}}}$$

Каде:

$C_{\text{сув зеленчук}}$ = концентрацијата на тешкиот метал во сувиот зеленчук и

$C_{\text{почва}}$ = концентрацијата на тешкиот метал во почвата.

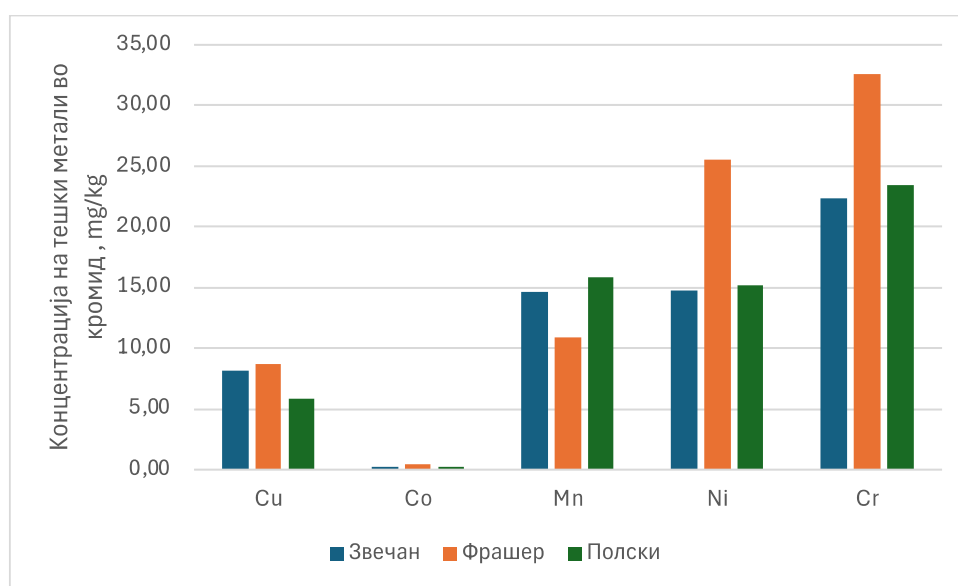
3.2.4. Статистичка обработка на податоците

Статистичката обработка на податоците е направена со помош на Microsoft Excel 2016. Пресметана е корелација врз концентрацијата на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во кромид, лук и компири.

4. Резултати и дискусија

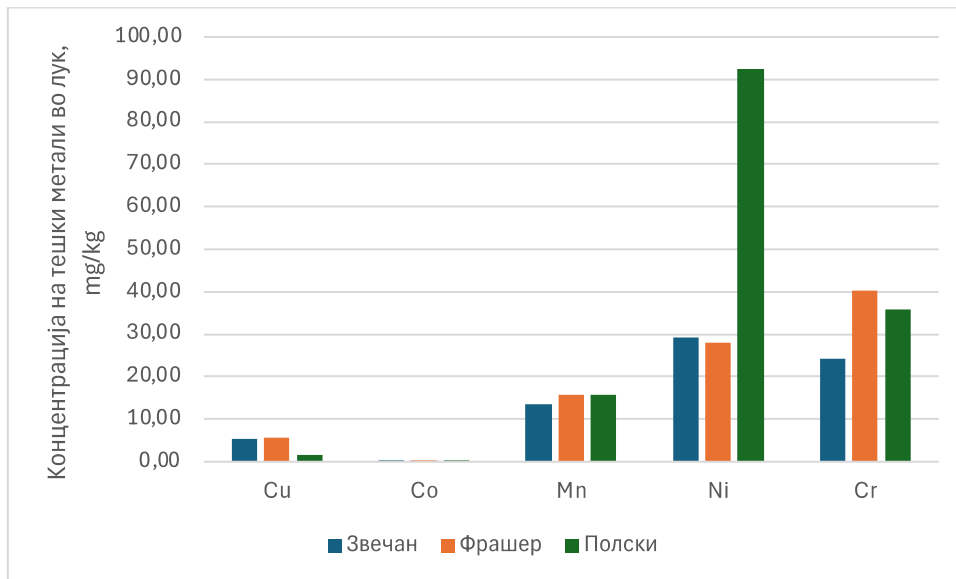
На графикон 1 се претставени резултатите за концентрацијата на тешките метали во сува маса на кромид одгледуван во три различни региони (Звечан, Фрашер и Полски) во околината на Косовска Митровица.

Концентрацијата на бакар во сува маса на кромид од селото Полски што е најдалеку од топилницата е најниско и изнесува 5,79 mg/kg, а во селата блиску до топилницата Фрашер (8,67 mg/kg) и Звечан (8,14 mg/kg) концентрациите на бакар се повисоки. Од сите анализирани тешки метали највисока е концентрацијата на хромот. Во Звечан концентрацијата на хромот е 22,30 mg/kg, во Фрашер 32,60 mg/kg и во Полски 23,40 mg/kg. Од сите анализирани тешки метали во кромидот одгледуван во околината на Косовска Митровица, најниска концентрација е определена за кобалтот. Определени се 0,17 mg/kg кобалт во кромидот од селата Звечан и Полски и 0,45 mg/kg кобалт во кромидот од селото Полски. Концентрацијата на манган во кромидот е највисока во селото Полски (15,80 mg/kg) а најниска во селото Фрашер (10,90 mg/kg). Кромидот од селото Фрашер има најмногу никел (25,50 mg/kg), а кромидот од село Звечан најмалку никел (14,80 mg/kg). Концентрацијата на хром е приближно иста во селата Звечан и Полски (22,30 mg/kg и 23,40 mg/kg, соодветно) додека во село Фрашер концентрацијата е повисока (32,60 mg/kg).



Графикон бр.1: Концентрација на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во сува маса на кромид одгледуван во различни региони во околината на Косовска Митровица

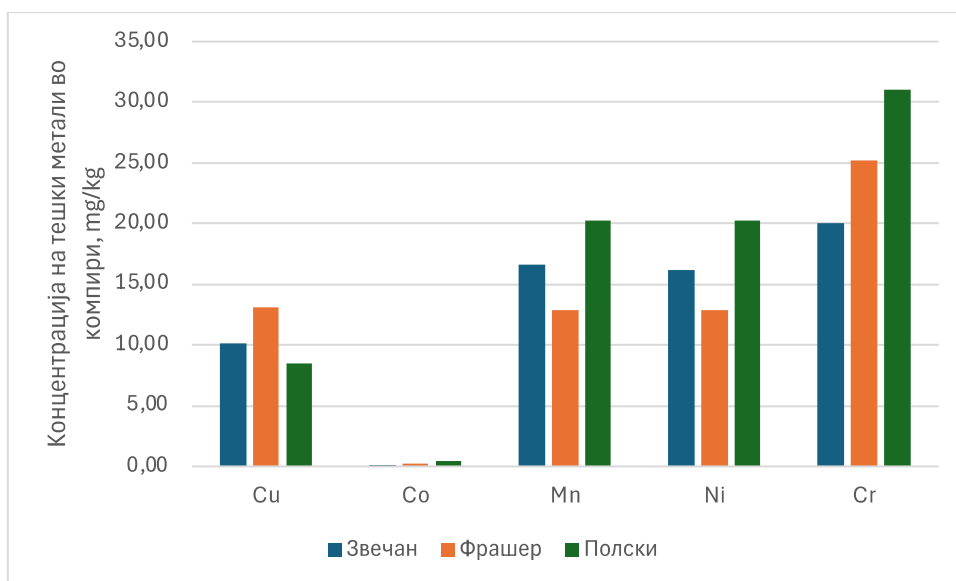
На графикон 2 е претставена концентрацијата на тешките метали (Cu, Co, Mn, Ni и Cr) во сува маса на лук одгледуван на различна територија во околината на Косовска Митровица.



Графикон бр. 2: Концентрација на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во сува маса на лук одгледуван во различни региони во околината на Косовска Митровица

Во анализираниот лук највисока концентрацијата од анализираниите елементи има никелот во селото Полски 92,30 mg/kg. Концентрацијата на никел во селото Звечан е 29,10 mg/kg а во селото Фрашер 27,90 mg/kg. Концентрацијата на хром во лук одгледуван во селата Звечан, Фрашер и Полски е 24,20 mg/kg, 40,10 mg/kg и 36,00 mg/kg соодветно. Еднаква е концентрацијата на манган во селата Фрашер и Полски (15,70 mg/kg), а во селото Звечан концентрацијата на манган во лук е 13,50 mg/kg. Лукот одгледуван во селото Фрашер се одликува со највисока концентрација на кобалт (0,47 mg/kg), а лукот одгледуван во селото Полски со најниска концентрација на манган (0,21 mg/kg). Концентрацијата на бакар во лук одгледуван во селата Звечан и Фрашер е речиси иста (5,43 mg/kg и 5,74 mg/kg соодветно), а во лукот одгледуван во с. Полски концентрацијата на бакар е 1,52 mg/kg.

На графикон 3 е претставена концентрацијата на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во сува маса на компири одгледувани во различни региони во околината на Косовска Митровица.



Графикон бр.3: Концентрација на Cu, Co, Mn, Ni и Cr во сува маса на компири одгледуван во различни региони во околината на Косовска Митровица

Компирите одгледувани во селото Фрашер се одликуваат со највисоки концентрации за бакар (13,10 mg/kg), а компирите од селото Полски со најниска концентрација на бакар (8,45 mg/kg). Компирите одгледувани во селото Полски имаат највисока концентрација на кобалт, манган, никел, и хром (0,45 mg/kg, 20,20 mg/kg, 20,20 mg/kg и 31,00 mg/kg) во споредба со компирите одгледувани во с. Звечан и с. Фрашер.

Во табела 1 се претставени резултатите од тешките метали во почвата во селата Звечан, Фрашер и Полски.

Регион	Cu (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)
Звечан	54,4	10,6	715	50,5	52,6
Фрашер	58,5	11,6	528	48,8	56,1
Полски	22,1	10,4	929	66,1	69,3

Табела 1. Тешки метали (Cu, Co, Mn, Ni и Cr) во почвата од различни региони во околината на Косовска Митровица

Во почвата од селото Фрашер е определена највисока концентрација на бакар (58,5 mg/kg) и кобалт (11,6 mg/kg), а во почвата од селото Полски најниска концентрација на бакар (22,1 mg/kg) и кобалт (10,4 mg/kg). Највисока концентрација на манган, никел и хром е определено во почвата од селото Полски (929 mg/kg Mn, 66,1 mg/kg и 69,3 mg/kg Cr). Почвата од селото Фрашер содржи најмалку манган (528 mg/kg) и никел (48,8 mg/kg), а почвата од селото Звечан најмалку хром (52, 6 mg/kg).

Фактор на биоконцентрација				
Тешки метали	Региони	Кромид	Лук	Компири
Cu	Звечан	0,15	0,10	0,19
	Фрашер	0,15	0,10	0,22
	Полски	0,26	0,07	0,38
Co	Звечан	0,02	0,03	0,01
	Фрашер	0,04	0,04	0,01
	Полски	0,02	0,02	0,04
Mn	Звечан	0,02	0,02	0,02
	Фрашер	0,02	0,03	0,02
	Полски	0,02	0,02	0,02
Ni	Звечан	0,29	0,58	0,32
	Фрашер	0,52	0,57	0,26
	Полски	0,23	1,40	0,31
Cr	Звечан	0,42	0,46	0,38
	Фрашер	0,58	0,71	0,45
	Полски	0,34	0,52	0,45

Табела 1: Фактор на биоконцентрација

Факторот на биоконцентрација е важен параметар во фиторемедијацијата и ја покажува апсорпцијата на тешките метали во растителните ткива од почвата. Вредностите >1 укажуваат на поголема апсорпција на тешките метали во растенијата, а за вредности <1 , поголема е концентрацијата на тешките метали во почвата отколку во растенијата (Маити и сор. – Maity et al., 2022). Од табела 1 се гледа дека факторот на биоконцентрација за никел кај лукот одгледуван во селото Полски е поголем од 1 (1,40) што укажува на тоа дека концентрацијата на никел во овој регион е поголема во самото растение отколку во почвата на која е одгледувано тоа растение. Од сите анализирани зеленчуци, во сите три села компирот има највисоки вредности за ФБ за бакарот. Тоа значи дека компирот најмногу го акумулира, односно го извлекува бакарот од почвата во однос на кромид и лук. ФБ за кобалтот во селата Фрашер и Полски кај кромид и лук е еднаков (0,04 и 0,02, соодветно) а ФБ за кобалт во селото Звечан е 0,02 кај кромидот и 0,03 кај лукот. Највисока вредност ФБ за кобалтот има кај компирите од селото Полски (0,04). Факторот на биоконцентрација за манган во сите три региони за трите видови зеленчук е 0,02, освен кај лукот во селото Фрашер (0,03), што значи дека акумулацијата на манган во сите 3 зеленчуци е иста. Највисок ФБ за никел е определен кај лукот одгледуван во селото Полски (1,41), а сите останати вредности за овој параметар се помали од 1. Во сите анализирани села лукот има највисоки вредности на ФБ за никел. Лукот има највисоки вредности за ФБ во сите 3 села и за хромот. Во однос на компирот и кромидот, тој има најголема способност за извлекување на никел и хром од почвата и негово акумулирање во себе.

Во табела 2 се дадени коефициентите на корелација за концентрацијата на сите анализирани метали (Cu, Co, Mn, Ni и Cr) во кромид, лук и компири.

	<i>Кромид</i>	<i>Лук</i>	<i>Компири</i>
Кромид	1		
Лук	0,5716497	1	
Компири	0,85950563	0,63245541	1

Табела 2: Коефициент на корелација помеѓу содржината на тешки метали (Cu, Co, Mn, Ni и Cr) во кромид, лук и компири

Од табела 2 се гледа дека постои силна позитивна корелација помеѓу содржината на тешките метали во сите три вида анализиран зеленчук. Најсилна е корелацијата помеѓу тешките метали во кромидот и компирите (0,85950563), потоа помеѓу лукот и компирите (0,63245541). Корелацијата помеѓу кромидот и лукот е најниска, но сепак позитивна (0,5716497).

5. Заклучок

Акумулацијата на тешки метали во различни видови зеленчук од селата Звечан, Фрашер и Полски во Република Косово претставува значаен еколошки и здравствен проблем. Од анализата на примероците од сува маса на кромид, лук и компири собрани во 2023 година е утврдено дека концентрацијата на тешките метали варира меѓу селата во близина на топилницата. Во кромидот највисоки концентрации се определени за хромот (22,30-32,60 mg/kg), а најниски за кобалтот (0,17=0,45 mg/kg). Во лукот од сите анализирани метали највисока е концентрацијата на никел (92,30 mg/kg), а најниска за

кобалт (0,21 mg/kg). Компирите исто како и кромидот содржат најмногу хром (20,00-31 mg/kg), а најмалку кобалт (0,13–0,45 mg/kg).

Факторот на биоконцентрација укажа на зголемена содржина на никел во лукот од селото Полски, споредено со почвата. Според вредностите на факторот на биоконцентрација, лукот има најголема способност за акумулација, односно за извлекување на никел и хром од почвата, а компирот најмногу го акумулира бакарот. Статистичката обработка потврди силна позитивна корелација помеѓу содржината на тешките метали во зеленчукот.

6. Користена литература

Ali, Z., Khan, I., Iqbal, M. S., Zhang, Q., Ai, X., Shi, H., Ding, L., Hong, M. (2023). Toxicological effects of copper on bioaccumulation and mRNA expression of antioxidant, immune, and apoptosis-related genes in Chinese striped-necked turtle (*Mauremys sinensis*). *Frontiers in Physiology*, 14.

Amoroso, L., Rizzo, V., Muratore, G. (2019). Nutritional values of potato slices added with rosemary essential oil cooked in sous vide bags. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 15, 1-5.

Beals, K.A. (2019). Potatoes, Nutrition and Health. *Am. J. Potato Res.*, 96, 102–110.

Bradl, H (2002). Sources and Origins of Heavy Metals. *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation*, Academic Press, 1-20.

Chen, R. J., Lee, V.R. (2004). Cobalt Toxicity. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

Dini, I., Tenore, G. C., Dini, A. (2008). Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of *Allium caepa* L. Var. *tropeana* (red onion) seeds. *Food Chemistry*, 107 (2), 613-621.

Ebabi, A., Adebayo, R. (2022). Nutritional Values of Vegetables. In *Vegetable Crops - Health Benefits and Cultivation*. IntechOpen.

Galgaye, G. G., Deresa, H. K. (2023). Effect of garlic genotypes (*Allium sativum* L.) on phenotype, growth, yield-related attributes, and nutritional quality at Bule Hora agro-ecology. *Heliyon*, 9 (6), 16317.

Genchi, G., Carocci, A., Laura, G., Sinicropi, M.S., Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health.*, 17 (3), 679.

He, Z., Shentu, J., Yang, X., Baligar, V. C., Zhang, T, Stoffella P. J. (2015). Heavy metal contamination of soils: sources, indicators and assessment. *Journal of Environmental Indicators* 9, 17-18.

Keen, C. L., Ensunsa, J. L., Lönnerdal, B., Zidenberg-Cherr, S. (2013). Manganese. *Encyclopedia of Human Nutrition*, 3–4, 148–154.

Mahey, S., Kumar, R., Sharma, M., Kumar, V., Bhardwaj, R. (2020). A critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1279.

Maiti, S. K., Ghosh, D., Raj, D. (2022). Phytoremediation of fly ash: bioaccumulation and translocation of metals in natural colonizing vegetation on fly ash lagoons. In *Handbook of Fly Ash* (pp. 501–523).

Majid, I., Majid, D., Makroo, H.A. Dar, B. N. (2024). Enhancing the bioavailability and gut health benefits of quercetin from sprouted onions: A comprehensive review in the context of food-derived bioactives. *Food Chemistry Advances*, 4, 100725.

Naqash, S., Naik, H. R., Hussain, S. Z., Dar, B. N., Makroo, H.A. (2022). Influence of controlled curing process on physico-chemical, nutritional, and bio-active composition of brown Spanish onion. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104823.

Shabbir, Z., Sardar, A., Shabbir, A., Abbas, G., Shamshad, S., Khalid, S., Natasha, Murtaza, G., Dumat, C., Shahid, M. (2020). Copper uptake, essentiality, toxicity, detoxification and risk assessment in soil-plant environment. *Chemosphere*, 259, 127436.

Shin, D. Y., Lee, S. M., Jang, Y., Lee, J., Lee, C. M., Cho, E. M., Seo, Y.R. (2023). Adverse Human Health Effects of Chromium by Exposure Route: A Comprehensive Review Based on Toxicogenomic Approach. *Int. J. Mol. Sci.* 24 (4), 3410.