



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО - ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ ВЕЛЕС**



Назив на студиската програма

ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ХРАНА И НУТРИЦИОНИЗАМ

**ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА КАДМИУМ ВО ДОМАТИ И ЗЕЛКА ОД ОКОЛИНАТА
НА БИТОЛА И ВЕЛЕС, Р. С. МАКЕДОНИЈА И ПРОЦЕНКА НА
ЗДРАВСТВЕН РИЗИК**

докторски проект

Кандидат

Катерина Темелковска Ристевска
број на индекс 31

Ментор

Ред. Проф. д-р Горица Павловска

СОДРЖИНА

1. Вовед.....	3
2. Преглед на литературата.....	4
3. Методи и материјали.....	6
3.1 Истражувачка област.....	6
3.2 Подготовка на сув примерок.....	7
3.3 Анализа на примерок.....	7
3.4 Проценка на здравствен ризик.....	8
3.4.1 Просечната дневна доза на кадмиум ADD (Average daily dose).....	8
3.4.2 Коефициентот на опасност HQ (Hazard quotient)	8
3.4.3 Стапка на дневен внес DIR (Daily Intake Rate).....	9
4. Резултати и дискусија.....	9
5. Заклучок.....	12
Користена литература.....	13

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА КАДМИУМ ВО ДОМАТИ И ЗЕЛКА ОД ОКОЛИНАТА НА БИТОЛА И ВЕЛЕС, Р. С. МАКЕДОНИЈА И ПРОЦЕНКА НА ЗДРАВСТВЕН РИЗИК

Катерина Темелковска Ристевска

Универзитет „Св. Климент Охридски“ Битола, Р. С. Македонија

katerina.temelkovska@uklo.edu.mk

Проф. д-р Горица Павловска

Универзитет „Св. Климент Охридски“ Битола, Р. С. Македонија

0009-0008-6877-3188

gorica.pavlovska@uklo.edu.mk

Апстракт

Загадувањето на почвата со кадмиум како резултат на антропогени активности е големо. Поради високата токсичност на кадмиумот и неговиот кумулативен ефект голем број на истражувања се насочени кон анализирање на концентрацијата на кадмиум во зеленчук одгледуван во близина на рудници, топилници, индустрија и автопати како и кон проценка на здравствениот ризик на населението. Целта на ова истражување е да се определи концентрацијата на кадмиум во домати и зелка одгледувани во близина на поранешната топилница за олово и цинк во Велес и термоелектраната РЕК Битола. Примероците за анализа се земени од три локации од регионот Велес и три локации од регионот Битола и исушени до константа маса. Квантитативната и квалитативната анализа за кадмиум е направена со оптичка емисиона спектроскопија, индуктивно спрегната плазма. Направена е проценка на здравствен ризик од консумирање на овие производи. Концентрацијата на кадмиум кај домати и зелка одгледувана во близина на поранешната топилница на олово и цинк е повеќе од двојно повисока од примероците одгледувани на оддалечената локација, но вредностите кај сите примероци се под максималните дозволени концентрации (0,05 mg/kg). Концентрацијата на кадмиум кај домати и зелка од сите локации во околината на Битола се под границата на детекција (0,0001 mg/kg). Проценката на здравствен ризик покажува дека нема значителен неканцероген ризик од консумирање на домати и зелка од овие локации. Контаминацијата на кадмиум во зеленчукот одгледуван во близина на поранешната топилница на олово и цинк е значително повисок споредено со зеленчукот одгледуван во близина на термоелектраната.

Клучни зборови: Кадмиум, Домати, Зелка, Здравствен ризик

1. Вовед

Тешките метали и металоиди се природен и структурен дел на земјината кора со густина поголема од 5 g/cm^3 , како што се кадмиум (Cd), олово (Pb), никел (Ni), хром (Cr), жива (Hg) итн. (Гупта и сор. - Gupta et al., 2022; Манвани и сор.- Manwani et al., 2022) Тие влегуваат во почвата преку природни процеси и како резултат на антропогените извори на загадување, како што се рудниците, топилниците, тешката

индустрија, сообраќајот, употребата на органски и минерални ѓубрива во земјоделието, согорување на фосилни горива, бои, лакови, комуналниот и индустрискиот отпад (Ли и сор. - Li et al., 2019). Тешките метали претставуваат голем еколошки проблем бидејќи се неразградливи загадувачи кои се таложат на површината на почвата, а потоа се апсорбираат преку корените на растенијата и се акумулираат во јадливите и нејадливите делови. Поради нивната токсичност претставуваат непосредна опасност за синџирот на исхрана (Гупта и сор. - Gupta et al., 2022; Малав и сор. - Malav et al., 2020; Исмаел и сор. - Ismael et al., 2022).

Кадмиумот е сребрено-бел, мек и еластичен хемиски метал со атомски број 48 и густина од $8,7 \text{ g/cm}^3$ (Хоџаоглу-Озиигит и Генџ - Hocaoglu-Ozyigit & Genc, 2020). Како резултат на геогени и антропогени извори како што се рударство, топилници, индустрија, атмосферско таложење и употреба на ѓубрива што содржат кадмиум, доаѓа до зголемување на концентрацијата на кадмиум во почвата и подземните води (Шарма и сор. - Sharma et al., 2015). Кадмиумот претставува закана за здравјето на човекот преку различни механизми вклучувајќи нарушување на интрацелуларната рамнотежа на калциум, оксидативен стрес, нарушување на процесите на сигнализација на клетките и епигенетски промени (Ку и Женг - Qu & Zheng, 2024). Неговиот биолошки полуживот кај луѓето е 10-35 години (СЗО - WHO, 2019). Изложеноста на ниски нивоа на кадмиум може да доведе до оштетување на бубрезите, црниот дроб, скелетниот и кардиоваскуларниот систем како и нарушување на видот и слухот (Генџи и сор. - Genchi et al., 2020). Тој предизвикува изразена невротоксичност (Бранка и сор. - Branka et al., 2018) и репродуктивна токсичност (Кумар и Шарма - Kumar & Sharma, 2019; Генг и Ванг - Geng & Wang, 2019). Кадмиумот е познат човеков канцероген, кој меѓународната агенција за истражување на ракот го класифицира кадмиумот во група 1 на соединенија за кои има доволно докази дека се канцерогени за луѓето (Меѓународна агенција за истражување на ракот - IARC, 2012).

Целта на ова истражување е да се определи концентрацијата на кадмиум во домати и зелка кои што се одгледувани во близина на поранешната топилница на олово и цинк во околината на Велес и во близина на термоелектраната РЕК Битола. Исто така, анализирана е и концентрацијата на кадмиум кај домати и зелка кои се одгледувани на локации подалеку од изворите на загадување. Поради високата токсичност, од големо значење е да се направи проценка на здравствениот неканцероген ризик кај населението при консумирање на домати и зелка одгледувани на контаминирана почва.

2. Преглед на литературата

Загадувањето на почвата со кадмиум околу топилниците и рудниците за олово и цинк било поголемо споредено со почвата од други рудници (Луо - Luo, 2022). Висока концентрација на кадмиум е најдена во почвата што се наоѓа во близина на топилници и рудници на олово и цинк во повеќе региони во Кина (Као и сор. - Cao et al., 2023; Ми и сор. - Mi et al., 2018), Полска (Кичинска и сор. - Kicinska et al., 2019), Иран, (Багаи и Агили - Baghaie & Aghili, 2019), Косово (Шајн и сор. - Sajn et al., 2013), Шпанија (Барутија и сор. - Barrutia et al., 2011), Тунис (Далдул и сор. - Daldoul et al., 2015),

Белгија (Хоубен и сор. - Houben et al., 2013) и др. Постои потенцијален еколошки и здравствен ризик од загадување со кадмиум во почвата на околу 2 km од топилниците за олово и цинк (Џоу и сор. - Zhou et al., 2022).

Кадмиумот е еден од најтоксичните и најподвижните елементи во животната средина, најчесто влегува во човековата исхрана преку зеленчукот (Кубиер и сор. - Kubier et al., 2019). Според Зенг и сор. - Zeng et al., (2018), факторот на биоакмулација односно способноста на зеленчукот да ги апсорбира тешките метали од почвата бил најголем кај кадмиумот во ист вид на зеленчук споредено со акумулацијата на цинк, бакар и олово. Бадамаси и сор. - Badamasi et al., (2023) известуваат дека факторот на биоакмулација е највисок кај кадмиумот кај сите видови на испитуван зеленчук (марула, домати и боранија). Од испитувањето на зеленчук одгледуван на почва во близина на поранешен рудник и топилница за олово и цинк во Полска, откриена е висока содржина на кадмиум која ги надминува максималните дозволени концентрации според европските регулативи за над 11 пати во магдонос, 8 пати во морков, 4 пати во цвекло и целер и 2 пати во компири (Џвиелаг-Драбек и сор. - Cwielaг-Drabek et al., 2020; Регулатива на комисијата ЕУ - Commission Regulation EU, 2014). Исто така, и според други истражувања има зголемување на содржината на кадмиум во зеленчук и растенија кои се одгледувани во близина на рудници и топилници со олово и цинк (Ли и сор. - Li et al., 2023; Монтерозо и сор. - Monterroso et al., 2014). Зголемена концентрација на кадмиум има во лиснат зеленчук одгледуван во близина на рударска област во Босна и Херцеговина од 0,77 до 1,93 mg/kg сува маса (Пазалија и сор. - Pазалија et al., 2023). Концентрацијата на кадмиум во зеленчук од индустриска област во Кина е од 0,03 до 0,82 mg/kg на сува маса кај лиснат зеленчук, 0,02-0,35 mg/kg кај плодест зеленчук и 0,02-0,2 mg/kg кај коренест зеленчук (Зенг и сор. - Zeng et al., 2018). Според Алимохамеди и сор. - Alimohammadi et al. (2018), од испитувањето за присуството на тешки метали во зеленчук од супермаркети во Техеран, концентрацијата на кадмиум во домати била 0,009 mg/kg свежа маса. Повисока концентрација на кадмиум од 0,925 mg/kg на свежа маса била најдена кај домати од супермаркети од Бангладеш (Чаудхури и сор. - Chowdhury et al., 2024). Концентрацијата на кадмиум во домати одгледувани во близина на автопати во Индија е 0,02-0,35 mg/kg сува маса (Гупта и сор. - Gupta et al., 2022). Концентрацијата на кадмиум во зелка наводнувана со отпадни води во Нигерија била 1,21-1,87 mg/kg (Лере и сор. - Lere et al., 2021). Харманеску и сор. - Harmanescu et al., (2011), во зелка одгледувана во близина на поранешни рударски активности во Романија ја определиле следната концентрација на кадмиум од 0,01-0,12 mg/kg на свежа маса. Од направените испитувања за содржината на тешки метали во почвата околу термоелектрани на јаглен се покажало дека содржината на кадмиум е повисока непосредно до термоелектраните, додека пак со зголемување на оддалеченоста се намалувала содржината на кадмиум (Салуми и Алабади - Saloumi & Alabadi, 2023; Ху и сор. - Hu et al., 2021).

Зеленчукот претставува главен извор на хранливи материи за добро балансирана човечка исхрана. Тој сочинува главен дел од исхраната на луѓето во многу делови од светот. Претставува извор на биоактивни компоненти со што го промовира здравјето на човекот (Рамја и Пател - Ramya & Patel, 2019; Абобата и сор. - Abobatta, 2021). Светската здравствена организација (СЗО) препорачува консумирање на

најмалку 400 g зеленчук и овошје дневно за да се обезбеди оптимално здравје и потребните хранливи материи кои ги нема во другите групи на храна (СЗО - WHO, 2023). Поради високата токсичност на кадмиумот и неговиот изразен канцероген ефект и кумулативно дејство потребно е да се направи проценка на здравствениот ризик од консумирање на зеленчук кој е одгледуван во близина на рудници, топилници и термоелектрани (Тонгпрунг и сор. - Tongprung et al., 2024; Ли и сор. - Li et al., 2023).

Просечната дневна доза на кадмиум преку консумирање на зелка во Нигерија е 0,04-0,06 mg/kg_{bw}/ден (Лере и сор. - Lere et al., 2021). Харманеску и сор. - Harmanescu et al., (2011) известуваат дека просечната дневна доза на кадмиум при консумирање на зелка одгледувана во близина на поранешни рударски активности во Романија била 0,003-0,035 mg/kg_{bw}/ден. Пониска просечна дневна доза на кадмиум од 0,002 mg/kg_{bw}/ден е откриен при консумирање на домати во Бангладеш (Чаудхури и сор. - Chowdhury et al., 2024). Просечната дневна доза на кадмиум преку зеленчук одгледуван во близина на топилници и рудници во Полска е 0,00001 mg/kg_{bw}/ден од магдонос и цвекло, 0,00002 mg/kg_{bw}/ден преку целер и морков и 0,00021 mg/kg_{bw}/ден преку компири (Цвиелаг-Драбек и сор. - Cwielag-Drabek et al., 2020).

Коефициентот на опасност HQ (Hazard quotient) за неканцероген ризик од внесот на кадмиум преку зеленчук во Полска е во интервалот од 0,01029 кај магдоносот до 0,20714 кај компирите (Цвиелаг-Драбек и сор. - Cwielag-Drabek et al., 2020). Коефициентот на опасност од внесот на кадмиум од зелка од маркети во различни области на Тајланд е од 0,001276387 до 0,003802281 (Тонгпрунг и сор. - Tongprung et al., 2024).

3. Методи и материјали

3.1. Истражувачка област

Истражувањето е спроведено на зеленчук кој е одгледуван во регионите на Велес и Битола, Р. С. Македонија. Градот Велес се наоѓа во централното подрачје во државата, во Вардарскиот регион, низ него тече реката Вардар. Според географската положба, тој се наоѓа на 41°43'12" северна географска должина и 21°47'36" источна географска широчина, на надморка висина од 160-200 m. Велес е еден од најзагадените градови во Северна Македонија поради контаминацијата на почвата и воздухот од поранешната топилница за олово и цинк која се наоѓа во непосредна близина на Велес (Sajn et al., 2020; Стафилов и сор., 2008). Примероците на зеленчук се земени од три локации во околината на Велес и тоа Башино село (координати [41°44'53"N 21°45'36"E](#)) и Речани (координати [41°43'40.1"N 21°46'47.7"E](#)) кои се наоѓаат во непосредна близина од 300-500 m на поранешната топилница на олово и цинк и селото Долно Каласлари (координати [41°41'18"N 21°50'15"E](#)) кое е оддалечено 9 km јужно од Велес. Битола се наоѓа во југозападниот дел на Р. С. Македонија, во средишниот дел на Пелагониската котлина, на надморска висина од 576 m, оддалечена на 14 km од границата со Р. Грција. Битола се наоѓа на 21°18'20" до 21°22'11" источна географска должина и 41°00'00" до 41°03'20" северна географска широчина. На околу 12 km источно од Битола се наоѓа Рударско-енергетски комбинат (РЕК) Битола (координати [41°03'50"N 21°29'39"E](#)) кој учествува со над 70% од вкупното производство на електрична

енергија во Р. С. Македонија. Примероците на зеленчук се земени од Новаци (координати [41°2'30"N 21°27'21"E](#)) оддалечено 7,2 km од РЕК Битола, Гнеотино (Координати [40°58'59"N 21°28'59"E](#)) оддалечено 14,3 km од РЕК Битола и на 6,4 km од рудникот за јаглен Брод – Гнеотино кој е дел од РЕК Битола. Третата локација е селото Породин (Координати [40°55'59"N 21°22'0"E](#)) кое се наоѓа во јужниот дел на Битолско поле, на околу 30 km оддалечено од РЕК Битола.

3.2. Подготовка на сув примерок

Анализирани се два вида зеленчук од велешкиот регион (Башино село, Речани и Каласлари) и битолскиот регион (Новаци, Гнеотино и Породин) во периодот од јуни до октомври 2023 година. Земени се по 10 примероци зелка (*Brassica oleracea*) и по 1 kg домати (*Solanum lycopersicum*) од секоја област. Анализирани се вкупно 12 примероци, собрани при нивна технолошка и консумна зрелост. Зеленчукот беше измиен со вода од чешма и беа отстранети целата прашина, остатоците од земја и останатите нечистотии. Јадливите делови беа измиени со дестилирана вода и оставени на филтер хартија и на собна температура за да се исуши површинската вода. Потоа, зеленчукот беше иситнет и измешан со цел да се добие среден примерок. Секој примерок беше измерен на аналитичка вага (BRS-1000-C1, d=0.001g, производител MRC,) и ставен во стаклена чаша и во сушара (DRY-line, производител VWR) на 105°C да се суши до константна маса. Пресметан е процентот на вода (W) и суви материи (dry matter) на сите примероци според следните формули (Хегедус – Миндру и сор. - Heghedus-Mindru et al., 2023):

$$\%W = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \cdot 100$$

(Формула бр. 3-1)

$$\% \text{ dry matter} = 100 - \%W$$

(Формула бр. 3-2)

Каде што:

- m_1 е масата на примерокот пред сушење;
- m_2 е масата на примерокот после сушење;
- m_3 е масата на садот за сушење.

3.3. Анализа на примерок

Сувите примероци беа растворени со влажна дигестија. Точната маса на примерокот беше третирана со 2 ml 65% азотна киселина и загревана во водена бања. Примероците беа разредени со дестилирана вода, прочистена од Fisher Chemical (одделение HPLC) до конечниот волумен од 25 mL, а потоа филтрирани (0,45 µm). Квантитативна анализа на кадмиум (Cd) во сите примероци беше изведена со индуктивно спрегната плазма, оптичка емисиона спектроскопија (ICP-OES, ARCOS FHE12, SPECTRO, Germany). Анализата се изведува на сува маса на примерокот, а за да се добие концентрацијата на елементите во свежа маса се користи следната равенка (Оддел за земјоделство на САД - USDA, 2011):

$$C_{ww} = C_{dw} \left[\frac{100 - W}{100} \right]$$

(Формула бр. 3-3)

Каде што:

C_{ww} е концентрација во свежа маса;

C_{dw} е концентрација во сува маса;

W е процент на содржина на вода.

3.4. Проценка на здравствен ризик

Неканцерогениот ризик од конзумирање на зеленчук се пресметува со определување на просечната дневна доза на кадмиум ADD (Average daily dose), коефициент на опасност HQ (Hazard quotient) и стапката на дневен внес DIR (Daily Intake Rate) според концентрацијата на кадмиум во зеленчукот.

3.4.1. Просечната дневна доза на кадмиум ADD (Average daily dose)

Просечната дневна доза на кадмиум ја претставува концентрацијата на внесен кадмиум преку зеленчукот (mg/kg_{bw}/ден) која што се употребува за проценка на неканцероген ризик на населението. Просечната дневна доза на кадмиум се пресметува според следната формула:

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

(Формула бр. 3-4)

Каде што C - концентрација на металот во зеленчукот (mg/kg), IR – просечен дневен внес на зеленчукот (kg/ден), EF - фреквенција на изложеност (365 дена/година), ED - времетраење на изложеноста (просечен животен век на населението), BW – просечна телесна маса, AT - просечен период на изложеност за неканцероген ризик ($EF \times ED$) (Алимохамеди и сор. - Alimohammadi M., 2018; Чаухан и Чаухан - Chauhan & Chauhan, 2014). Податоците за просечен дневен внес на зеленчук во пресметките се искористени од Агенција за заштита на животната средина на САД - EPA (2018), просечен животен век на населението е земен од Државен завод за статистика на Р. С. Македонија, и тоа 71,6 години за мажи и 75,2 години за жени, а податоците за просечна телесна маса на населението (82,1 kg за мажи, 67,2 kg за жени и 12 kg за деца) се според Европската управа за безбедност на храната - EFSA (2011).

3.4.2. Коефициентот на опасност HQ (Hazard quotient)

Коефициентот на опасност го мери неканцерогениот ризик од редовниот внес на тешки метали преку ингестија на контаминиран зеленчук. Доколку вредностите на HQ се пониски од 1 тогаш би требало да нема неканцероген ризик од внесот на зеленчук но доколку вредноста на HQ е повисока од 1, тоа укажува на можност за значајни здравствени опасности. HQ се пресметува според следната формула (Гупта и сор. - Gupta et al., 2022; Алимохамеди и сор. - Alimohammadi et al., 2018):

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

(Формула бр. 3-5)

Каде што, ADD – просечна дневна доза на кадмиум, а RfD - хронична орална референтна доза 0,001 mg/kg_{bw}/ден (Агенција за заштита на животната средина на САД - USEPA, 2021).

3.4.3. Стапка на дневен внес DIR (Daily Intake Rate)

Стапката на дневен внес DIR го пресметува вкупниот дневен внес на тешкиот метал преку секој зеленчук, се пресметува според следната формула (Чаухан и Чаухан - Chauhan & Chauhan, 2014):

$$DIR = C \times D \quad (\text{Формула бр. 3-6})$$

Каде што C - концентрација на тешки метали во зеленчук (mg/kg) на свежа маса и D - дневен внес на зеленчук (kg по лице на ден свежа маса).

4. Резултати и дискусија

Процентот на сува материја и вода кај домати и зелка од сите локации е прикажан во табела 1.

Локација	Домати		Зелка	
	% СМ	% вода	% СМ	% вода
Башино село	4,90	95,10	6,82	93,18
Речани	5,21	94,79	7,53	92,47
Каласлари	5,16	94,84	8,45	91,55
Новаци	5,84	94,16	6,90	93,10
Гнеотино	4,26	95,74	7,80	92,20
Породин	5,07	94,93	7,77	92,23

Табела 1: Процент на сува материја и вода кај домати и зелка

Од табела 1 може да се види дека процентот на сува материја на домати е во интервалот од 4,26 до 5,84% а процентот на вода од 94,16 до 95,74%. Содржината на сува материја кај зелката споредено со домати е повисока и таа изнесува 6,82-8,45%. Содржината на вода кај зелката е од 91,55 до 93,18%. Доматите и зелката се одликуваат со висок процент на вода.

Во табела 2 е прикажана концентрацијата на кадмиум во сува маса на домати и зелка од сите локации на анализирање.

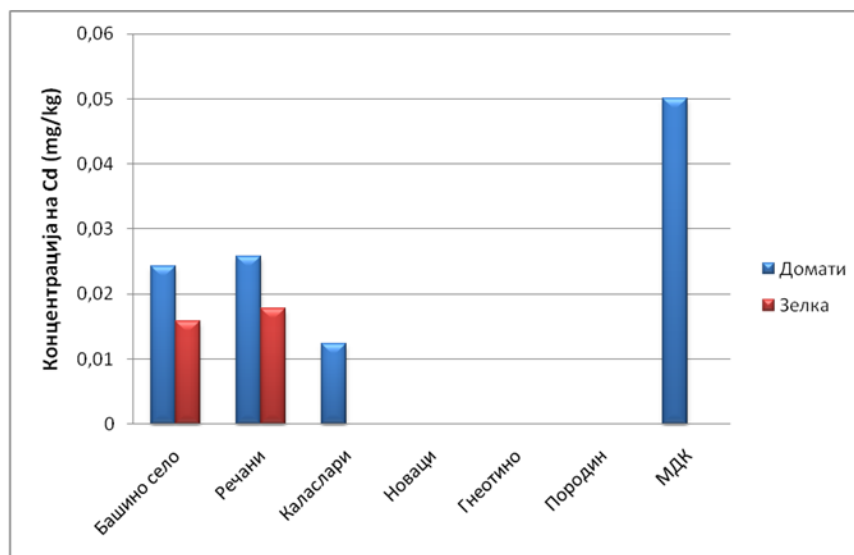
Концентрација на Cd (mg/kg)						
Зеленчук	Башино село	Речани	Каласлари	Новаци	Гнеотино	Породин
Домати	0,495099	0,492999	0,238277	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Зелка	0,23245	0,236116	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Табела 2: Концентрација на кадмиум во сува маса на домати и зелка (mg/kg).

Од табела 1 може да се види дека концентрацијата на кадмиум во примероците на домати и зелка од регионот Битола е под границата на детекција (0,0001 mg/kg).

Концентрацијата на кадмиум во домати и зелка што се одгледувани на локации во близина на поранешната топилница на олово и цинк (Башино село и Речани) имаат повисока концентрација на кадмиум, споредено со истиот зеленчук одгледуван на локацијата Каласлари. Концентрацијата на кадмиум во домати од локациите Башино село и Речани е повеќе од двојно поголема од концентрацијата на кадмиум во домати од Каласлари. Доматите имаат повеќе од двојно повисока концентрација на кадмиум споредено со концентрацијата на кадмиум во зелката, кај сите примероци од Велешкиот регион. Кај примероците на зелка од локацијата Каласлари концентрацијата на кадмиум е под границата на детекција (0,0001 mg/kg).

Концентрацијата на кадмиум во свежа маса на домати и зелка пресметана по формулата 3-3 и споредена со максимално дозволената концентрација на кадмиум 0,05 mg/kg (Комисија Кодекс Алиментариус - Codex Alimentarius Commission, 2023) за овој зеленчук е прикажана на графикон 1.



Графикон бр 1: Концентрација на кадмиум во свежа маса на домати и зелка.

Од графикон 1 може да се види дека концентрацијата на кадмиум кај домати и зелка од регионот Велес е под максималните дозволени концентрации (0,05 mg/kg). Зеленчукот од Речани има повисока концентрација на кадмиум за околу 0,002 mg/kg кај зелката и за 0,001 mg/kg кај домати, во однос на зеленчукот од Башино Село. Концентрацијата на кадмиум во домати од Каласлари е за двојно пониска споредено со концентрацијата на кадмиум во домати од Башино село и Речани, додека пак концентрацијата на кадмиум во зелката од Каласлари е под граница на детекција. Кај сите анализирани примероци од Битолскиот регион концентрацијата на кадмиум е под граница на детекција (0,0001 mg/kg), поради тоа тие се исклучени од понатамошните пресметки за проценка на здравствен ризик.

Просечната дневна доза на внесување на кадмиум со консумирање на домати и зелка од истражуваните области кај мажи, жени и деца е дадена во табела 3.

Зеленчук	Локација	ADD (mg/kg _{bw} /ден)		
		Мажи	Жени	Деца
Домати	Башино село	0,0000059098	0,0000072204	0,0000246026
	Речани	0,0000062840	0,0000076769	0,0000261559
	Каласлари	0,0000029950	0,0000036590	0,0000124697
Зелка	Башино село	0,0000022758	0,0000027839	0,0000109882
	Речани	0,0000025555	0,0000031054	0,0000123387
	Каласлари	/	/	/

Табела 3: Просечна дневна доза на кадмиум на килограм телесна маса дневно кај возрасни и деца од консумирање на домати и зелка од областите на истражување

Од табела 3 може да се види дека просечната дневна доза на кадмиум кај жените е повисока од тој кај мажите поради повисоката телесна маса на мажите бидејќи просечната дневна доза на кадмиум е изразена на килограм телесна маса. Највисока е просечна дневна доза на кадмиум има кај децата поради нивната пониска телесна маса. Највисока просечната дневна доза на кадмиум кај мажи, жени и деца има при консумирање на домати од Речани. Просечната дневна доза на кадмиум е повисок кај домати одколку кај зелката.

Просечната дневна доза на кадмиум е употребена за пресметка на коефициентот на опасност од консумирање на зеленчук контаминиран со кадмиум. Коефициентите на опасност од консумирање на домати и зелка од областите кои ги истражувавме се прикажани во табела 4.

Зеленчук	Локација	HQ		
		Мажи	Жени	Деца
Домати	Башино село	0,005909765	0,007220363	0,024602699
	Речани	0,006284019	0,007676854	0,026155899
	Каласлари	0,002994965	0,003658975	0,012469746
Зелка	Башино село	0,002275819	0,002783944	0,010988223
	Речани	0,002555461	0,003105439	0,012338748
	Каласлари	/	/	/

Табела 4: Коефициент на опасност HQ (Hazard quotient) од консумација на домати и зелка од областите на истражување

Од табела 4 може да се види дека сите вредности на HQ се помали од 1 што значи дека нема значителен неканцероген ризик од консумирање на домати и зелка од дадените локации кај мажи, жени и деца. Вредноста на HQ за децата е повисока од возрастните поради повисоката просечна дневна доза кај децата поради нивната пониска телесна маса.

Стапката на дневен внес на кадмиум кај возрасни и деца при консумирање на домати и зелка е дадена во табела 5.

Локација	DIR (mg/ден)			
	Домати		Зелка	
	Возрасни	Деца	Возрасни	Деца
Башино село	0,000485198	0,000295242983	0,0001870654	0,000132023784
Речани	0,0005159	0,00031392515	0,0002097922	0,00014806312
Каласлари	0,0002459	0,00014963015	/	/

Табела 5: Стапка на дневен внес (Daily Intake Rate DIR) на кадмиум (mg/ден) кај возрасни и деца од домати и зелка

Стапката на дневен внес на кадмиум кај деца и возрасни при консумирање на домати и зелка од трите локации во околината на Велес не ја надминува највисока дневна толерантна граница за кадмиум кај возрасни и деца според Организација за храна и земјоделство/СЗО - FAO/WHO (2010) која е 0,062 mg/ден. Повисок е внесот на кадмиум кај возрасните споредено со внесот кај деца, бидејќи децата внесуваат пониска просечна дневна количина на зеленчук споредено со возрасните.

5. Заклучок

Концентрацијата на кадмиум е највисока во сува и свежа маса на домати и зелка одгледувани во непосредна близина на поранешната топилница на олово и цинк во Велес од локациите Башино село и Речани. Повеќе од двојно пониски концентрации на кадмиум се најдени во сува и свежа маса на домати и зелка одгледувани во Долно Каласлари, кое е оддалечено од поранешната топилница. Доматите имаат повисока концентрација на кадмиум споредено со зелката. Добиените вредности се под максимално дозволната концентрација според правилниците (0,05 mg/kg). Концентрацијата на кадмиум кај сите анализирани примероци од регионот Битола е под граница на детекција (0,0001 mg/kg) што значи дека близината на термоелектраната РЕК Битола не влијае врз покачување на концентрацијата на кадмиум во анализираниите производи. Просечната дневна доза на кадмиум на килограм телесна маса од консумирање на домати и зелка е највисок кај децата, потоа кај жените, а најнизок е кај мажите поради нивната поголема телесна маса. Вредностите на коефициентот на опасност HQ се под 1 кај мажи, жени и деца што укажува дека нема значителен неканцероген ризик по населението при консумирање на домати и зелката од сите локации во регионот Велес. Стапката на дневен внес на кадмиум преку домати и зелка од регионот Велес кај возрасните и децата е значително под дневната толерантна граница (0,062 mg/ден).

Користена литература

- Стафилов, Т., Шајн, Р., Панчевски, З., Боев, Б., Фронтасјева, М. В. & Стрелкова Л. П., (2008). Геохемиски атлас на Велес и неговата околина. Скопје
- Abobatta, W. F. (2021). The Potential Health Benefits of Vegetable Crops, *Journal of Food and Nutritional Health*, 2(2), 113. DOI:[10.47275/2692-5222-113](https://doi.org/10.47275/2692-5222-113)
- Alimohammadi, M., Younesian, M., Madihi-Bidgoli, S., Nodehi, R. N., Khaniki, G. R. J., Hadi, M. & Ghanbari, F. (2018). Heavy metal(oid)s concentration in Tehran supermarket vegetables: carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment, *Toxin Reviews*, 39(3), 303-310. DOI:[10.1080/15569543.2018.1522644](https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1522644)
- Badamasi, H., Hassan, U. F., Adamu, H. M., Baba, N. M. & Ajiya, D. (2023). Heavy Metals Contamination Levels in the Vegetables Grown around Riruwai Mining Area, Kano State, Nigeria, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(6), 1032-1037. DOI:[10.24925/turjaf.v11i6.1032-1037.5663](https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i6.1032-1037.5663)
- Baghaie, A. & Aghili, F. (2019). Investigation of heavy metals concentration in soil around a Pb-Zn mine and ecological risk assessment, *Environmental Health Engineering and Management*, 6(3), 151-156. DOI:[10.15171/EHEM.2019.17](https://doi.org/10.15171/EHEM.2019.17)
- Barrutia, O., Artetxe, U., Hernandez, A., Olano, J. M., Garcia Plazaola, J. I., Garbisu, C. & Becerril, J. M. (2011). Native Plant Communities in an Abandoned Pb-Zn Mining Area of Northern Spain: Implications for Phytoremediation and Germplasm Preservation, *International Journal of Phytoremediation*, 13(3), 256-270. DOI:[10.1080/15226511003753946](https://doi.org/10.1080/15226511003753946)
- Branka, J. J. V., Morucci, G. & Pacini, A. (2018). Cadmium-induced neurotoxicity: still much a do, *Neural Regeneration Research*, 13(11), 1879-1882. DOI:[10.4103/1673-5374.239434](https://doi.org/10.4103/1673-5374.239434)
- Cao, X., Yuan, M. & Zhang, Y. (2023). Heavy Metals Pollution in Soil Around Lead-zinc Smelting Plant in guanzhong Plain, *E3S Web of Conferences*, 394, 1-4. DOI:[10.1051/e3sconf/202339401012](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339401012)
- Chauhan, G. & Chauhan, U. K. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via dietary intake of vegetables grown in wastewater irrigated area of Rewa, India. *International Journal of scientific and Research Publications*, 4(9), 1-9.
- Chowdhury, A. I., Shill, L. C., Raihan, M. M., Rashid, R., Bhuiyan, M. N. H., Reza, S. & Alam, M. R. (2024). Human health risk assessment of heavy metals in vegetables of Bangladesh. *Scientific reports*, 14, 15616. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65734-6>
- Codex Alimentarius Commission, Contaminants Joint FAO/WHO, General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, (2023).
- Commission Regulation (EU) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs Text with EEA relevance (2014).
- Cwielag-Drabek, M., Piekut, A., Gut, K. & Grabowski, M. (2020). Risk of cadmium, lead and zinc exposure from consumption of vegetables produced in areas with mining and smelting past, *Scientific Reports*, 10, 3363. DOI:[10.1038/s41598-020-60386-8](https://doi.org/10.1038/s41598-020-60386-8)
- Daldoul, G., Souissi, R., Souissi, F., Jemmali, N. & Chakroun, H. K. (2015). Assessment and mobility of heavy metals in carbonated soils contaminated by old mine

tailings in North Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 110, 150-159. DOI:[10.1016/j.jafrearsci.2015.06.004](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.06.004)

EFSA, (2011), Endorsed for public consultation, Scientific opinion, Guidance on Default assumptions used by the EFSA Scientific Panels and Committee, and EFSA Units in the absence of actual measured data. Parma, Italy.

EPA. (2018). Update for Chapter 9 of the Exposure Factors Handbook, Intake of Fruits and Vegetables. https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-08/documents/efh_-_chapter_9_update.pdf

FAO/WHO. Geneva, Switzerland: Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization; (2010). Seventy-third Meeting, Geneva, 8–17 June 2010. Summary and Conclusions. JECFA/73/SC.

Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A. & Catalano, A. (2020). The Effect of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 3782. doi: [10.3390/ijerph17113782](https://doi.org/10.3390/ijerph17113782)

Geng, H.X. & Wang, L. (2019). Cadmium: Toxic effects on placental and embryonic development. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 67, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.02.006>

Gupta, N., Kumar Yadav, K., Kumar, V., Prasad, S., Cabral-Pinto, M. M. S., Jeon, B. H., Kumar, S., Abdellattif, M. H. & Alsukaibia, A. K. D. (2022). Investigation of Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Health Risk to Humans From Their Consumption. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-12. DOI:[10.3389/fenvs.2022.791052](https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.791052)

Harmanescu, M., Alda, L. M., Bordean, D. M., Gogoasa, I. & Gergen, I. (2011). Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area: a case study: Banat Country, Romania. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 64. DOI:[10.1186/1752-153X-5-64](https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-64)

Hocaoglu-Ozyigit, A. & Genc, B. N. (2020). Cadmium in plants, humans and the environment. *Frontiers in Life Science and Related Technologies*, 1(1), 12-21.

Houben, D., Evrard, L. & Sonnet, P. (2013). Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. *Chemosphere*, 92, 1450-1457. DOI:[10.1016/j.chemosphere.2013.03.055](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.055)

Hu, Y., You, M., Liu, G. & Dong, Z. (2021). Characteristics and Potential Ecological Risks of Heavy Metal Pollution in Surface Soil Around Coal-fired Power Plant. *Environmental Earth Sciences*, 80, 566. DOI:[10.21203/rs.3.rs-554137/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-554137/v1)

International Agency for Research on Cancer: 100C. IARC Monographs; Lyon, (2012). 141.

Ismael, D. S., Mohammed, Y. & Sadeq, T. (2022). Heavy Metal Toxicity and its Effect on Living Organisms: A Review in Toxicology Study. *Pharmacy and Applied Health Science Journal*, 1(2), 11-17. DOI:[10.59480/phahs.v1i2.8](https://doi.org/10.59480/phahs.v1i2.8)

Kicinska, A., Smreczak, B. & Jadczyzyn, J. (2019). Soil Bioavailability of Cadmium, Lead, and Zinc in the Areas of Zn-Pb Ore Mining and Processing (Bukowno, Olkusz). *Journal of Ecological Engineering*, 20(1), 84-92. DOI:[10.12911/22998993/93794](https://doi.org/10.12911/22998993/93794)

Kubier, A., Wilkin, R. T. & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 1(108), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>

Kumar, S. & Sharma, A. (2019). Cadmium toxicity: Effects on human reproduction and fertility. *Reviews on Environmental Health*, 34, 327–338. DOI: [10.1515/reveh-2019-0016](https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016)

Lere, B. K., Basira, I., Abdulkadir, S., Tahir, S. M., Ari, H. A. & Ugya, Y. (2021). Health risk assessment of heavy metals in irrigated fruits and vegetables cultivated in selected farms around Kaduna metropolis, Nigeria. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(1), 317-329. DOI:[10.1080/2314808X.2021.1992956](https://doi.org/10.1080/2314808X.2021.1992956)

Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X. & Han, W. (2019). A review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>

Li, Q., Han, Z., Tian, Y., Xiao, H. & Yang, M. (2023). Risk Assessment of Heavy Metal in Farmlands and Crops Near Pb-Zn Mine Tailing Pounds in Niujiaotang, China. *Toxics*, 11(2), 106. DOI:[10.3390/toxics11020106](https://doi.org/10.3390/toxics11020106)

Luo, H. (2022). Soil Contamination with cadmium and potential risk around various mines in China during 2000-2020. *Journal of Environmental Management*, 310, 51-56. DOI:[10.1016/j.jenvman.2022.114509](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114509)

Malav, C., Kumar, S., Daripa, A. & Yadav, S. (2020). Heavy Metal Contamination: A Serious Hazard to Food-Chain. *Food and Scientific Reports*, 1(4), 9-12.

Manwani, S., Vanisree, C.R., Jiman, V., Awasthi, K. K., Yadav, C. S., Sankhala, M. S., Pandit, P. P. & Awasthi, G. (2022). Chapter: Heavy Metal Contamination in Vegetables and Their Toxic Effects on Human Health, in book: Sustainable Crop Production - Recent Advances, 1-17. DOI:[10.5772/intechopen.102651](https://doi.org/10.5772/intechopen.102651)

Mi, Y., Zhan, F., Li, B. & Qin, L. (2018). Distribution characteristics of cadmium and lead in particle size fractions of farmland soils in a lead-zinc mine area in Southwest China. *Environmental Systems Research*, 7(1), 14. DOI:[10.1186/s40068-018-0117-x](https://doi.org/10.1186/s40068-018-0117-x)

Monterroso, C., Rodriguez, F., Chaves, R., Diez, J., Becerra-Castro, C., Kidd, P. & Macias-Vazquez, F. (2014). Heavy metal distribution in mine-soils and plants growing in a Pb/Zn-mining area in NW Spain. *Applied Geochemistry*, 44(3), 11. DOI:[10.1016/j.apgeochem.2013.09.001](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.001)

Pazalija, M., Suleimanovic, J., Begic, S. & Salihovic, M. (2023). Heavy metals content and health risk assessment of selected leafy plants consumed in Bosnia and Herzegovina. *Plant, Soil and Environment*, 69, (4), 170-178. DOI:[10.17221/42/2023-PSE](https://doi.org/10.17221/42/2023-PSE)

Qu, F. & Zheng, W. (2024). Cadmium Exposure: Mechanisms and Pathways of Toxicity and Implications for Human Health, *Toxics*, 12(6), 388. <https://doi.org/10.3390/toxics12060388>

Ramya, V. & Patel, P. (2019). Health benefits of vegetables, *Interantional Journal of Chemical Studies*, 7(2), 82-87.

Sajn, R., Milihate, A., Stafilov, T. & Alijagic, J. (2013). Heavy metal contamination of topsoil around a lead and zinc smelter in Kosovska Mitrovica/Mitrovice, Kosovo/Kosove, *Journal of Geochemical Exploration*, 134, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.018>

Sajn, R., Stafilov, T., Boev, B., Serafimovski, T., Tasev, G., Ilijoski Z. & Boev, I., (2020). Geochemical Properties of lead-Zink Slag Landfill From MHK Zletovo in Veles, North Macedonia, *Geologica Macedonica*, 34(2), 89-104. DOI: <https://doi.org/10.46763/GEOL20020089sh>

Saloumi, Y. J. H. & Alabadi, L. (2023). A study of the Effect of Electric Power Plants on the Soil Content of some Heavy Elements (Ni, Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Fe). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1262(8), 082017. DOI:[10.1088/1755-1315/1262/8/082017](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/8/082017)

Sharma, H., Rawal, N. & Mathew, B. B. (2015). The characteristics, toxicity and effects of cadmium, *International Journal of Nanotechnology and Nanoscience*, 3, 1-9.

Tongprung, S., Wibulautai, J., Dechakhamphu, A. & Samaneein, K. (2024). Health risk assessment associated with consumption of heavy metal-contaminated vegetables: A case study in the southern area of Northeast Thailand. *Environmental Challenges*, 14, 100845. DOI:[10.1016/j.envc.2024.100845](https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100845)

USEPA. (2021). Regional Screening Levels (RSLs)-Generic Tables. Washington, DC USA: United States Environmental Protection Agency.

WHO. (2023). Increasing fruit and vegetable consumption to reduce the risk of noncommunicable diseases.

WHO (2019). Preventing disease through healthy environments, Exposure to cadmium: A major public health concern, Geneva, Switzerland.

Zeng, L., Zhou, F., Zhang, X., Qin, J. & Li, H. (2018). Distribution of heavy metals in soils and vegetables and health risk assessment in the vicinity of three contaminated sites in Guangdong Province, China, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(7), 1901-1915. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1431043>

Zhou, Z., Peng, C., Liu, X., Jiang, Z., Cuo, Z. & Xiao, X. (2022). Pollution and Risk Assessments of Heavy Metal(loid)s in the Soil around Lead-Zinc Smelteries via Data Integration Analysis, *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*, 19, 9698. DOI:[10.3390/ijerph19159698](https://doi.org/10.3390/ijerph19159698)

USDA (U.S. Department of Agriculture). (2011). Exposure Factors Handbook, Chapter 9: Intake of Fruits and Vegetables, 9-13.

<https://www.stat.gov.mk/>