

**СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ “СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ” ГЕОЛОГО-  
ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ Катедра “Климатология, хидрология и геоморфология”**



**Йелена Драган Светозаревич**

**ПРОСТРАНСТВЕНО-ВРЕМЕВИ ПАРАМЕТРИ НА ВАЛЕЖИТЕ В  
ТРАНСГРАНИЧНИЯ РАЙОН БЪЛГАРИЯ - СЪРБИЯ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“

Научна специалност 4.4. Науки за земята (Климатология)

**Научен ръководител:** проф. д-р Нина Николова

доц. Д-р Йелена Лукович

София, 2025

## ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА

Дисертационният труд е преминал предварително обсъждане на заседание на катедра „Климатология, хидрология и геоморфология” на 30 януари 2025 г., на което е взето решение за насочване към процедура по публична защита.

Дисертационният труд е в обем 172 страници, от които 147 страници основен текст и 25 страници приложения, разделени в Увод, четири основни глави включващи и изводи, заключение и приложения. Дисертационният труд съдържа 37 броя фигури и 16 таблици (в автореферата номерацията на фигурите и таблиците отговаря на тази в дисертацията). Използваната литература е в обем 10 страници със 146 заглавия, от които 22 на кирилица и 124 на латиница.

Уводът (5 страници) съдържа актуалност на дисертацията, обект, цел и задачи на изследването разкрива научната значимост на дисертацията и посочва ограниченията на изследването. Глава I (9 страници) представя основни дефиниции във връзка с пространствено времеви характеристики в трансграничен район България - Сърбия и състояние на научните изследвания по темата на дисертацията. В глава II (20 страници) са описани обхвата на изследването, факторите и особеностите на климата на трансграничния район България-Сърбия, използваните данни и методи на изследване. В глава III (79 страници) се анализират пространствено-времените изменения на валежите – тенденции в изменението на сезонните и годишните валежи, проява на екстремно сухи и екстремно валежни месеци, неравномерност и ерозивност на валежите, особености и промяна в плювиометричната континенталност на климата на изследваната територия. В глава IV (8 страници) е анализирано влиянието на едромасабни циркуляционни процеси върху валежите. В заключението (2 страници) са обобщени най-важните изводи от научния труд. Дисертацията завършва с Приложения (25 страници), включващи 4 фигури и 16 таблици.

Научното жури е утвърдено от Факултетен съвет на Геолого-географски факултет на 18 февруари 2025 г. и е в състав:

проф. д-р Нели Христова

доц. д-р Калина Радева

чл.-кор. проф. дн Екатерина Бъчварова

проф. д-р Дилянка Безлова

доц.д-р Владимир Иванов

Публичната защита ще се състои на ..... г. от ..... ч. в зала ..... на Софийски университет „Св. Климент Охридски”.

Материалите по защитата са публикувани на страницата на Софийския университет и са на разположение на интересуващите се в Деканата на Геолого-географски факултет, кабинет 254, етаж II (северно крило) на Ректората на Софийски университет „Св. Климент Охридски“

<b>УВОД</b> .....	6
<b>ГЛАВА ПЪРВА. ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО</b> .....	8
<b>ГЛАВА ВТОРА. ИЗСЛЕДВАНА ТЕРИТОРИЯ, ДАННИ И МЕТОДИ</b> .....	9
2.1. Обхват и характеристика на климата на изследваната територия.....	9
2.1.1. Обхват на изследваната територия.....	9
2.1.2. Качествен контрол на изходната информация.....	10
2.1.3. Обща характеристика на климата .....	10
2.1.4. Фактори за формиране на климата.....	10
2.2. Методи на изследване.....	11
<b>ГЛАВА ТРЕТА. ПРОСТРАНСТВЕНО-ВРЕМЕВИ ИЗМЕНЕНИЯ НА ВАЛЕЖИТЕ</b> .....	12
3.1. Статистически характеристики на месечните валежи.....	12
3.1.1. Средно квадратично (стандартно) отклонение на месечните стойности.....	12
3.1.2. Коефициент на вариация на месечните стойности.....	12
3.1.3. Асиметрия и ексцес на месечните стойности.....	13
3.1.4. Средна стойност на месечните валежни суми за периода 1961–2020 г.....	13
3.1.5. Най-високи и най-ниски месечни валежи за периода 1961–2020 г.....	14
3.2. Статистически характеристики на сезоните валежи.....	14
3.2.1. Средно квадратично (стандартно) отклонение на сезоните валежи.....	14
3.2.2. Коефициент на вариацията на сезоните валежи.....	14
3.2.3. Асиметрия и ексцес на сезоните валежи.....	15
3.2.4. Средни стойности на сезоните валежи.....	15
3.3. Наблюдавани промени в режима на валежите.....	16
3.3.1. Вътрешногодишен ход на валежите – промени в проявата на минимумите и максимумите.....	16
3.3.2. Вътрешногодишно разпределение на сезонните валежни суми.....	19
3.3.3. Вътрешногодишно разпределение на валежите – индекс на концентрация на валежите (Precipitation Concentration index –PCI).....	20
3.4. Хронологични изменения на валежите.....	23
3.4.1. Анализ на тренда на месечните валежи.....	23
3.4.2. Тренд на сезоните валежи.....	24
3.4.3. Хронологично изменение на годишните валежи.....	25
3.4.4. Екстремно сухи и екстремно валежни месеци .....	25
3.5. Ерозивност на валежите.....	29
3.5.1. Анализ на ерозивността по Фурние индекс (FI).....	29
3.5.2. Анализ на ерозивността по Модифициран Фурние индекс (MFI).....	29
3.5.3. Ангот индекс.....	32
3.6. Плъвиометрична континенталност на климата.....	34
3.6.1. Индекс на континенталността (С) по Велев .....	34
3.6.2. Съотношение на валежните суми за топлото и студеното полугодие.....	34
3.6.3. Съотношение на зимните и пролетните валежи.....	34
3.6.4. Съотношение между зимните и летните валежи.....	35
3.6.5. Съотношение между есените и пролетните валежи .....	35

3.6.6. Вемич индекс за континенталност на климата (k).....	36
<b>ГЛАВА ЧЕТВЪРТА. ВЛИЯНИЕ НА ЦИРКУЛАЦИОННИТЕ ФАКТОРИ ВЪРХУ</b>	
<b>ИЗМЕНЕНИЕТО НА ВАЛЕЖИТЕ.....</b>	<b>38</b>
5.1. Северно атлантическата осцилация (NAO).....	38
5.2. Западно Средиземноморска осцилация (WeMOI) .....	40
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ИЗВОДИ.....</b>	<b>41</b>
<b>ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ.....</b>	<b>43</b>
<b>ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ .....</b>	<b>44</b>
<b>Благодарности.....</b>	<b>44</b>

## УВОД

**Актуалност на темата.** Актуалността на темата на настоящата дисертация се определя от значимостта на съвременните изменения на климата и тяхното влияние върху редица сектори на икономиката, като земеделие, води, горско стопанство, туризъм, а също така и върху екосистемите, живота и здравето на хората. През последните години изменението на климата се приема като една от най-значимите и най-сериозните заплахи за световната околна среда, а също така и за осигуряването на храната, здравето на човека, земеделието (UN). Важността на проблемите, породени от изменението на климата е потвърдена и от Междуправителствена комисия по изменение на климат (IPCC) и от междудържавни срещи на високо равнище (COP 28 в Дубай 2023 г., COP 29 в Баку, 2024 г.), а също и от редица международни документи (напр. Рамковата конвенция на Обединените нации по изменение на климата, Протокола на Киото и последвалите ги споразумения, като Парижкото споразумение). Причините за изменението на климата са природни (промени в атмосферната циркулация, слънчевата активност, изригването на вулканите) и антропогенни (стопанската дейност, която променя състава на атмосферата и земеползването и води до повишаване на концентрацията на парниковите газове). Като се има предвид глобалното затопляне, причинено от антропогенните емисии на парникови газове, смята се, че глобалното количество на валежите ще се увеличи с около 2% с увеличаването на температурата на въздуха след 2040 г. (Gu & Adler, 2015). Въпреки това, някои сценарии на CESM (Community Earth System Models) показват, че за Средиземноморието и умерените ширини можем да очакваме повишение на температурите на въздуха и намаляване на валежите. (IPCC 2013; Попов и Топлийски, 2015). Средното годишно количество на валежите се е увеличило с 40 mm в средните географски ширини на северното полукълбо, като трендът е най-добре изразен в края на 20-ия век. Анализът на годишните суми на валежите в целия свят показва, че положителния тренд е характерен главно за северното полукълбо, докато в западните и източните части на Африка, в южна Азия и в Средиземноморския регион е установен отрицателен тренд. (Gu & Adler, 2015). След 1960 промяната на валежите в Европа показва изразена регионална и сезонна променливост. В североизточните и северозападните части на Европа се наблюдава увеличаване на валежите (до 70 mm/ десетилетие), докато в южните части е видимо намаляване на валежите (до 90 mm/ десетилетие). (EEA, 2017). Средните зимни валежи също

показват тенденция към намаляване в южните части на Европа, докато в северната част на континента се наблюдава увеличение до 70 mm/десетилетие. (Maraun, 2013). Значителни отрицателни тенденции на валежите през пролетта се наблюдават в средиземноморския басейн: в северните части на Португалия (до 8 mm/десетилетие), южните части на Испания (до 4 mm/десетилетие), Мароко (до 6 mm /десетилетие), някои части на Хърватия (до 4 mm/десетилетие) и в Черна гора (до 8 mm/десетилетие). Положителни тенденции на валежите (до 8 mm/десетилетие) през този сезон са характерни за западната част на Франция, южната част на Германия и северните части на Скандинавия. В повечето части на Южна Европа се наблюдава намаление на летните валежи до 20 mm/десетилетие, докато в някои райони в северната част на континента се наблюдава значително увеличение до 18 mm/десетилетие. (ЕЕА, 2017). Gnjato (2022) в своята докторска дисертация посочва, че отрицателни тенденции на пролетните валежи се наблюдават в централните и източните части на Сърбия, като най-значителни отрицателни тенденции са открити в долината на река Морава. Значително увеличение на екстремните валежи се наблюдава в средните ширини на северното полукълбо (Hartmann et al., 2013). От друга страна се доказва, че броят на събитията с екстремните валежи се увеличава в много области, дори и в районите с намаляване на годишната сума валежи поради глобалното затопляне и увеличаването на водната пара в атмосферата (Trenberth et al., 2007). Екстремните климатични и метеорологични събития в България през последните години са предмет на изследване от Рачев (1995); Велев (1997); Бочева и др. (2010); Александров (2011); Власков (2017); Николова и Ченкова (2018) и др.

Значението на изучаването на валежите във връзка с водните ресурси се повишава, тъй като реките, чийто отток зависи силно от валежите, представляват основен ресурс, който осигурява храна, енергия, местообитание и имат редица важни биологични, химически, физически и социално-икономически функции в околната среда. Отрицателният ефект, който глобалното затопляне може да има върху водните ресурси, поражда сериозни опасения относно наличието на вода в бъдеще, особено като се има предвид натискът от глобалното повишаване на броя на населението и последващото увеличаване на нуждата от производство на храна. Многогодишната променливост на валежите е един от основните индикатори за регионалното изменение на климата. Познаването на режима на валежите и хидрологичния цикъл като цяло има голямо научно и практическо значение.

В настоящата дисертация, **обект на изследването** са валежите в трансграничния район България–Сърбия за периода 1961–2020 г., с акцент върху периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г., а **предмет на изследването** са пространствено времевите параметри на валежите и измененията на годишните и сезонни суми за изследваните периоди.

**Цел и задачи на дисертацията.** Цел на настоящата дисертация е да допринесе за повишаване на теоретичните знания и изясняване на съвременните колебания на валежите в регионален аспект и конкретно, в трансграничния район България -Сърбия за периода 1961-2020 година.

За постигане на целта на изследването са изпълнени следните **задачи**:

- Оценка на статистическата структура на месечните и сезонни валежи за периода 1961–2020;
- Определяне на тенденциите в изменението на валежите и анализ в проявата на екстремно сухи и екстремно валежни месеци
- Характеристика на режима и концентрацията на валежите през годините и оценка на плювиометричната континенталност на климата
- Оценка на ерозивността на валежите
- Анализ на плювиометричната континенталност на климата на изследвания район

**Ограничения на изследването.** Настоящото изследване се ограничава в териториален аспект от публична достъпността на данните, като същевременно е повлияно от прекъсванията в измерванията, свързани с миналите военни времена.

## **ГЛАВА ПЪРВА**

### **ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

Валежите са основен климатичен елемент, който представлява общото количество вода, което може да падне в даден район през определен времеви период, измервано в кубични милиметри. Те могат да се проявяват в различни агрегатни състояния – течни, твърди или смесени, като дъжд, сняг и градушка (Koutsoyiannis and Langousis, 2011).

„**Трендът на валежите**“ се отнася до дългосрочната промяна в количествата валежи в определен район за конкретен период. Изследването на тренда включва анализ на метеорологични данни от предишни години, за да се установят тенденции – например дали валежите се увеличават, намаляват или остават стабилни.

Многогодишните изменения на валежите са обект на задълбочени изследвания както в Сърбия, така и в България. В Сърбия проучванията включват работи на Ракићевић (1976); Ducic et al. (2009, 2010); Миловановић (2010); Mihailovic i Radic (2010); Stanojevic (2012); Тошић et al. (2014); Milovanović et al. (2017); Malinović-Milićević et al. (2018); Milovanović et al. (2021). В България подобни изследвания са извършени от Alexandrov et al. (2004); Alexandrov et al. (2004); Vocheva et al. (2004); Manea et al. (2010); Nojarov (2012, 2015); Айдарова и др. (2017); Николова и др. (2020); Vocheva (2020) и други. Анализите на тези автори показват намаляване на валежите през последното десетилетие на XX век и първите години на XXI век, съчетано с увеличаване на екстремните събития, които водят до наводнения или създават значителен риск от такива (Пенков, 2003, 2001, 1992; Тишков, 1996).

Въпреки множеството публикации, анализиращи валежите, са необходими задълбочени анализи, които да дадат актуална информация за валежните характеристики на регионално ниво. За определяне на теоретичните основи на изследването анализът на публикациите по темата на дисертацията е извършен в две направление: 1) референция – публикации, анализиращи промени в режима и тенденциите в многогодишните изменения на валежите и 2) теоретико-методично – анализ на използваните методи за изследване на валежните характеристики.

Използването на различни методи и индекси позволява по-добро разбиране на генезиса на климата, както и на климатичните изменения и тяхното влияние върху трансграничния район България-Сърбия.

## **ГЛАВА ВТОРА**

### **ИЗСЛЕДВАНА ТЕРИТОРИЯ, ДАННИ И МЕТОДИ**

#### **2.1. Обхват и характеристика на климата на изследваната територия**

##### **2.1.1. Обхват на изследваната територия**

Дисертацията обхваща данни от 11 метеорологични станции в източна и югоизточна Сърбия и 12 станции в северозападна и западна България за периода 1961–2020 г. с анализ на два 30-годишни периода (1961–1990 г. и 1991–2020 г.). Синоптични станции са разположени в равнинния и хълмистия хипсометричен пояс с надморска височина от 29 m

(Оряхово) до 747 m (Трън) за станциите в България и от 42 m (Неготин) до 1037 m (Црни връх). Приложение 1.

За анализа на връзката валежи–атмосферна циркулация са използвани индексите на Северно атлантическата осцилация/колебание (NAO – North Atlantic Oscillation) и Западно-средиземноморската осцилация (WeMOI).

### **2.1.2. Качествен контрол на изходната информация.**

За анализите в настоящата дисертация са използвани главно станции с пълен период от данни, но за да се покрие по-голяма част от територията са включени и отделни станции, в които са установени липсващи данни и които е било възможно да се възстановят по стандартно утвърдените методи за възстановяване на данните за валежите – чрез станция-аналог по метода на отношенията. Такива са станциите Бабушница (с липсващи стойности за 2020 г.) и Бела Паланка (с липси от 2017. до 2020 г.). Възстановяването на данните е извършено по метода на отношенията със станции-аналог, за които са установени високи коефициенти на корелация (над 0,70). Като станция-аналог за Бабушница е избрана най-близката станция Димитровград, за която е установена силна корелация с месечните валежни серии (корелационен коефициент  $R > 0,8$ ). Данните за Бела Паланка са възстановени по станция Ниш (коефициент на корелация  $R > 0,7$ ). Една от причините за липса на данните най-често е с антропогенен характер, заради преместването на станцията, тяхната повреда или неправилно наблюдение при стандартни метеорологични срокове.

### **2.1.3. Обща характеристика на климата**

Климатът на изследваната територия е разнообразен – преобладава умерено-континенталния климат, в най-южните части – преходен към континентално-средиземноморски, а в планините – планинските им разновидности. Направено е подробно описание и на факторите за формиране на климата в трансграничния район България-Сърбия (радиационен баланс, циркулационни фактори и характер на подстилящата повърхнина и релеф). Описани са характеристиките на основните климатични елементи температурата на въздуха и валежите, също така на ветровете и други климатични елементи.

### **2.1.4 Фактори за формиране на климата**

Атмосферната циркулация е ключов климатообразуващ фактор, който формира климата чрез циклоните, антициклоните и периодичните осцилации.

Северноатлантическата осцилация (NAO) оказва значително влияние върху валежите в България и Сърбия, като положителната ѝ фаза води до по-сухо време на Балканите, а отрицателната – до повече валежи. Азорският антициклон и Исландският циклон определят климатичните условия в региона, като Азорският антициклон е причина за сухо и топло лято, а Исландският циклон – за валежна зима. Средиземноморската осцилация (WeMOI) влияе върху валежите и ветровете в Южна Европа, включително България и Сърбия, в зависимост от разликите в налягането между Западното Средиземноморие и Централна Европа. Сибирският антициклон доминира през зимата, носейки студени въздушни маси, докато през останалите сезони климатът е под влиянието на въздушните маси от Средиземноморието.

Климатът на дадена територия се определя от географското разположение, атмосферната циркулация и релефа. Географската ширина и отдалечеността от океаните оказват влияние върху режима и количеството на валежите. Средиземноморското влияние прониква през долините на реки, като Южна Морава и Струма, докато Дунавската равнина позволява проникване на полярни и арктични въздушни маси. Въздушните маси от Атлантическия океан водят до по-влажно време, а Средиземно море има по-силно влияние в южните части през зимата. Балканският полуостров засилва континенталните черти на климата, особено през зимата.

Релефът е основен фактор за формирането на климата, като промените в надморската височина и структурата на терена водят до различия в температурите, валежите и влажността. Планините, например, създават вертикални климатични градиенти и могат да запазват определени региони от нахлуването на ветрове, което води до различия в климатичните условия. Релефът възпрепятства или улеснява движението на топли и студени въздушни маси и създава местен климат, а надморската височина влияе на образуването на планински климат. През летните месеци местната циркулация на въздуха може да доведе до конвективни валежи, но поради урбанизацията метеорологичните данни, измерени в повечето от станциите, може да бъдат повлияни от човешката дейност.

## **2.2. Методи на изследване.**

За решаване на задачите в дисертацията се използват математико-статистически и аналитични методи, а също така графичен метод и ГИС за визуализация. Първоначалната обработка на метеорологични данни за валежите е извършена чрез описателна статистика,

като са изчислени средни стойности, коефициент на вариация, асиметрия и ексцес. Динамиката и измененията на валежите са анализирани чрез линейна регресия и корелационен анализ с помощта на софтуера AnClim. За изследване на сезонното разпределение на валежите и ерозивността на валежите са използвани индекси като PCI, FI, MFI, индекси на Angot и Vemic. Използвайки ArcGIS Pro, е извършен анализ на разпределението на индекса Vemič и PCI в пограничния район България-Сърбия за периода 1961–2020 г., като методът Kriging осигурява висока точност при прогнозиране на стойности в райони без данни.

Средната стойност е основен статистически показател, използван в изследванията на климатичните елементи за периодите 1961–2020 г. и за два референтни периода, препоръчани от Световната метеорологична организация (1961–1990 г. и 1991–2020 г.). Статистическите характеристики на времевите редове, като средни, максимални и минимални стойности, стандартно отклонение, коефициенти на асиметрия и ексцес, се изчисляват с помощта на софтуерни инструменти като Excel и AnClim, които са подробно описани в дисертацията.

## ГЛАВА ТРЕТА

### Пространствено-времеви изменения на валежите

**3.1. Статистически характеристики на месечните валежи.** Статистическият анализ на месечните валежи за периода 1961–2020 г. е извършен чрез софтуера AnClim (Stepanek, 2008)

*3.1.1. Средно квадратично (стандартно) отклонение на месечните стойности.* Средното стандартно отклонение на месечните валежни суми за периода 1961–2020 г. варира от 18 до 61 mm, като най-високи стойности са наблюдавани в Долнодунавския подрайон през летните и есенните месеци (46-61 mm). Най-ниски отклонения има в Централния трансграничен подрайон, с минимални стойности през февруари (18-20 mm). В Пчинско-краищенския подрайон стойностите на стандартното отклонение са по-малко променливи, обикновено между 20 и 35 mm.

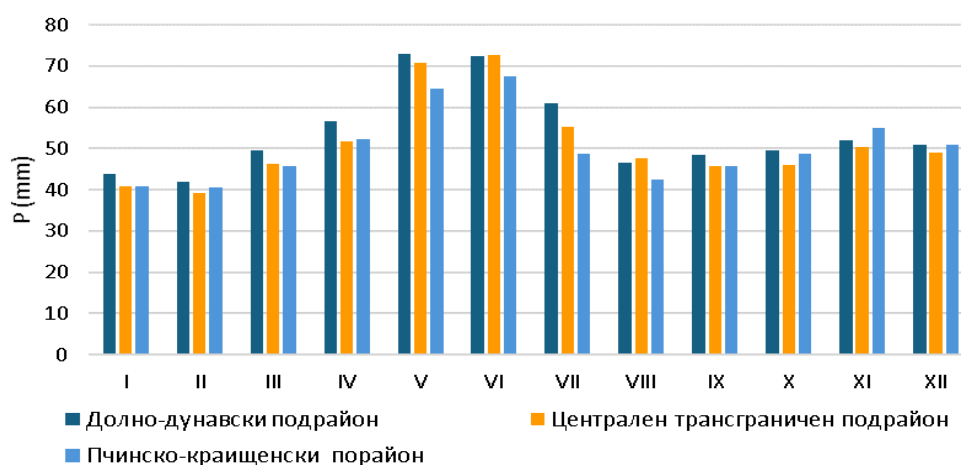
*3.1.2. Коефициент на вариация на месечните стойности.* Анализът на коефициентите на корелация за месечните валежи за периода 1961–2020 г. показва, че редиците на валежите имат голяма вариация, като месеците от юли до декември имат коефициент на вариация над 60%. Най-ниска вариация се наблюдава през април, май и юни,

с коефициенти между 30 и 60%. Пространствено, най-голяма вариация има в Долнодунавския подрайон, като месеците август и септември показват най-висока вариация, със стойности около 85% на всички станции (Приложение 15).

*3.1.3. Асиметрия и ексцес на месечните стойности.* Анализът на месечните валежи показва положителна асиметрия през цялата година, като най-високи стойности, с някои изключение, се наблюдават през април, август и септември. Най-високи стойности на асиметрия имат станциите Неготин (2,65) през септември и Монтана (2,97) през август. Анализът на коефициентите на ексцес показва, че има поне един месец с отрицателен ексцес във всички станции, като най-висока стойност има станция Ихтиман през август (27,1). Сравнението на асиметрията и ексцеса показва, че разпределението е нормално през повечето месеци, с изключение на септември и октомври в някои станции.

*3.1.4. Средна стойност на месечните валежи за периода 1961–2020 г.*

Анализът на месечните валежи за периода 1961–2020 г. показва, че Долнодунавският подрайон има най-високи месечни валежи, особено в южната част, с максимум през май и юни и минимум през февруари (Фиг. 2). В Пчинско-краищенския подрайон месечните валежи са най-ниски през топлите месеци, а в Централния трансграничен подрайон има типичен юнски максимум и минимум през зимата. Най-големите разлики в месечните валежи се наблюдават в станциите Враца, Монтана и Трън. Тези различия са свързани с географските особености и циркулационните климатични фактори на региона.



**Фигура 2** :Месечни валежни суми за периода 1961– 2020 г. (осреднение за подрайоните)

*3.1.5. Най-високи и най-ниски месечни валежи за периода 1961–2020 г.* През различните месеци от годината се наблюдават различни години с най-високи месечни валежи, като през януари това е 1963 година, а през февруари – 1968 г. През март, април и май най-високи валежи се наблюдават в различни години, като април 2014 г. е най-валежен за Централен трансграничен и Пчинско-краишки подрайон, а май 1961 и 1980 г. се открояват като най-валежни.

Най-ниските месечни валежи през януари са регистрирани през 1989 година на голяма част от изследваната територия. През февруари и март минимални валежи са отчетени през различни години, като най-често през 2002, 2008 и 2003 година. През април, май, юни и юли най-ниските валежи са били през различни години, с повтарящи се периоди през 1969, 1996 и 2007 година. През август и септември минимумите на валежите също са били през различни години, най-често през 1988 и 2000 година. През октомври и ноември, валежите са минимални през 1965, 1969 и 2011 година. През декември, минимумите са били през 2015 и 2016 година (Приложение 5).

**3.2. Статистически характеристики на сезоните валежи.** Направен е анализа на характеристиката на четирите климатични сезона – пролет, лято, есен и зима на валежи чрез програмата AnClim за два 30-годишни периода 1961–1990 г. и 1991–2020 г.

*3.2.1. Средно квадратично (стандартно) отклонение на сезоните валежи.* През летния и есенния сезон се наблюдават най-големи отклонения от средните валежи. За зимата отклоненията намаляват през втория период в много станции, като най-голямото отклонение през 1991–2020 г. е установено в Неготин. Пролетта показва увеличение на отклоненията в някои станции, особено в Пчинско-краищенския подрайон. Летните валежи в повечето станции показват увеличаване на отклоненията, с изключение на Пчинско-краищенския район. През есента всички станции имат увеличение на отклоненията през 1991–2020 г., като най-голямото отклонение отново е в Неготин.

*3.2.2. Коефициент на вариацията на сезоните валежи.* Анализът на валежните суми показва, че за зимата коефициентът на вариация се променя разнопосочно между станциите. Някои станции, особено в Долнодунавската равнина, показват намаляване на вариацията през периода 1991–2020 г. Въпреки това, всички станции имат високи стойности на коефициента на вариация. През пролетта повечето станции имат голяма вариация, с изключение на някои, като Црни връх, Княжевац и Бабушница, които имат средна вариация.

През лятото вариацията намалява в някои станции, като Пирот и Княжевац, но в Ихтиман остава много голяма. През есента всички станции имат голяма вариация на месечните валежи, като се установяват най-високите стойности на коефициента на вариация.

*3.2.3. Асиметрия и ексцес на сезоните валежи.* През зимата за периода 1961–1990 г. асиметрията е положителна при повечето станции, с изключение на ст. Црни връх. През втория период (1991–2020 г.) отрицателна асиметрия се наблюдава в Централния трансграничен подрайон. За летните месеци асиметрията е положителна през двата периода, като стойностите са по-високи през втория период. През есента само ст. Црни връх има отрицателна асиметрия. Коефициентът на ексцес през зимата е отрицателен в повечето станции през периода 1961–1990 г., но през 1991–2020 г. е положителен в почти всички, с изключение на ст. Пирот и Бабушница. Летните месеци показват високи стойности на ексцеса, като в ст. Ихтиман и Белоградчик той достига екстремни стойности през 1991–2020 г. Есенните месеци показват преобладаващо положителен ексцес през първия период и отрицателен през втория.

*3.2.4. Средни стойности на сезоните валежи.* Сравнителният анализ на сезонните валежи показва следните основни тенденции:

- **Зима:** По-високи валежи са регистрирани през периода 1961–1990 г., с най-голямо намаление през 1991–2020 г. в станциите Княжевац, Оряхово, Пирот, Вранье, Кюстендил и Радомир. Най-висока средна стойност през зимата се наблюдава в Неготин за двата периода.
- **Пролет:** Намаляване на валежите през 1990–2020 г. в станциите от Долнодунавския подрайон и Кюстендил. Най-висока средна стойност през пролетта имат Белоградчик, Црни връх и Враца, а най-голямо увеличение през втория период е в Зайчар.
- **Лято:** Намаляване на валежите в по-голямата част от територията, но с увеличение в Неготин, Зайчар, Оряхово, Лом, Монтана, Кюстендил, Ихтиман, София и Бела Паланка. Най-ниски валежни суми през 1991–2020 г. са регистрирани в Бобошево.
- **Есен:** Единствено Пирот показва намаляване на валежите през втория период, докато в останалите станции има увеличение. Средните стойности за есента са най-ниски, като Црни връх и Враца отново имат най-високи стойности през двата периода.

### 3.3. Наблюдавани промени в режима на валежите

*3.3.1. Вътрешногодишен ход на валежите – промени в проявата на минимумите и максимумите.* Анализът на вътрешногодишния ход на валежите за двата периода (1961–1990 и 1991–2020) показва, че повечето станции в изследваните подрайони имат два максимума и два минимума в годишния ход на валежите, като типичен първи максимум се установява през май-юни и първи минимум през февруари. В Долнодунавския подрайон главният минимум, през 1961–1990 г., се наблюдава в различни месеци, като най-често през януари (40% от станциите), а през 1991–2020 г. първичният минимум е предимно през август. В Централния трансграничен подрайон за периода 1961–1990 г. минимумът е най-често през октомври (43% от станциите), докато през 1991–2020 г. 86% от станциите имат минимум през февруари. В Пчинско-краищенския подрайон през 1991–2020 г. първичният минимум е сравнително равномерно разпределен между януари, февруари и август.

Анализът на валежите в трансграничния район България-Сърбия за периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г. показва значителни изменения в пространственото и времевото разпределение на валежните максимуми и минимумами. В **Долнодунавския подрайон**, през първия период вторичният минимум на валежите се проявява най-често през октомври, като 50% от станциите имат минимум тогава. 20% от станциите имат минимум през февруари и септември, а една станция (в Лом) - през ноември. През втория период, обаче, има изместване на вторичния минимум към есенните месеци, като 30% от станциите имат минимум през септември, а останалите разпределят минимума в различни месеци. В **Централния трансграничен подрайон**, през първия период, 71% от станциите имат втори минимум през февруари, а 29% през октомври. През втория период, вторичният минимум се измества към есента, като 43% от станциите запазват минимум през октомври. Промените показват тенденция към изместване на времето на минималните валежи. В **Пчинско-краищенски подрайон**, през първия период вторичният минимум се наблюдава основно през януари, в 50% от станциите. В 50% от станциите вторият минимум се измества към август, в който месец за 1961–1990 г. е се е наблюдавал първият минимум. В същото време 17% от станциите имат втори минимум през януари, февруари и октомври.

По отношение на максималните валежи, само 17% от станциите запазват месеца на проява на максимум във вътрешногодишния ход през двата периода. В 83% от станциите се

наблюдава изместване на месеците с най-висок месечен валеж. При минималните валежи, 13% от станциите запазват същия месец за минимални валежи през двата периода, докато в 87% от станциите се наблюдава промяна в месеците с минимални валежи. Анализът на валежите в трансграничния район България-Сърбия показва промени в първичните и вторичните максимуми и минимуми през двата изследвани периода (1961–1990 г. и 1991–2020 г.).

Анализът на режима на валежите в **Долнодунавския подрайон** показва, че през първия период (1961–1990 г.) 70% от станциите имат първи максимум през юни, докато 30% имат максимум през май. През втория период (1991–2020 г.), първичният максимум се измества и 70% от станциите имат максимум през май, а само 10% имат максимум през юни. Има и изместване към август и септември – по 10% от станциите, а станция Неготин има първи максимум през декември. В **Централния трансграничен подрайон**, през първия период, 86% от станциите имат максимум през юни, а 14% през май. През втория период се наблюдава увеличение на станциите с максимум през май (71%) и намаление през юни (14%). В **Пчинско-краищенски подрайон**, през първия период, 67% от станциите имат максимум през юни, 17% през май и 17% през ноември. През втория период, 50% от станциите запазват максимум през юни, а 33% имат максимум през май. Станция Лесковац има максимум през октомври.

В **Долнодунавския подрайон**, през първия период (1961–1990 г.) вторият максимум на валежите е през ноември, за всички станции. През втория период (1991–2020 г.), вторичният максимум се разпределя през три месеца, като 80% от станциите имат максимум през октомври. В **Централния трансграничен подрайон**, през първия период, вторичният максимум е през ноември, а през втория период той се измества през октомври, докато в **Пчинско-краищенски подрайон**, вторичният максимум на валежите е през ноември при 83% от станциите през първия период, а през втория период се наблюдава през май и ноември. Промените във вътрешногодишния ход на валежите са представени в табл. 8.

Проявата на първи максимум на валежите през периода 1961–1990 г. е била най-често през юни за повечето станции, докато през периода 1991–2020 г. първичният максимум се е изместил към май. За вторичния максимум на валежите, през първия период, в 96% от станциите се проявява през ноември, а през втория период, 87% от станциите имат втори максимум през октомври.

Таблица 8: Средна месечна сума на валежите за периода 1961–2020 г. година (mm)

Метеорологични станции	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Неготин	1961-1990	41.0	52.0	55.4	62.6	68.2	67.8	49.0	37.3	40.8	47.7	64.7	56.4
	1991-2020	47.9	46.7	46.3	48.8	57.8	61.4	55.7	42.7	54.6	57.2	56.0	62.5
Зайчар	1961-1990	39.8	44.0	48.1	55.3	71.7	71.2	55.1	37.2	37.8	40.8	58.0	51.5
	1991-2020	43.5	40.4	44.9	49.9	61.0	60.3	61.8	46.8	45.9	53.5	47.6	54.7
Княжевац	1961-1990	44.2	43.1	47.8	48.8	66.4	73.1	58.4	47.7	43.0	38.3	56.9	53.9
	1991-2020	44.2	39.5	42.6	52.5	66.2	60.7	54.6	44.6	50.0	55.5	49.0	52.5
Црни врх	1961-1990	44.3	45.1	51.1	72.1	106.2	114.8	80.8	60.2	61.4	51.8	61.9	55.0
	1991-2020	49.2	46.6	52.7	70.3	87.2	87.1	67.9	66.7	71.6	76.6	60.9	60.8
Белоградчик	1961-1990	40.3	41.4	53.1	74.1	96.2	94.8	58.9	47.8	51.9	42.3	60.3	50.8
	1991-2020	49.9	46.8	64.9	71.1	86.3	72.6	67.4	52.7	63.7	67.7	51.7	52.0
Оряхово	1961-1990	38.4	35.6	43.1	42.1	55.5	62.1	47.5	34.2	33.1	35.2	48.4	43.9
	1991-2020	37.9	33.9	45.8	45.4	63.2	55.9	54.0	35.8	42.2	45.1	37.6	43.3
Лом	1961-1990	38	43	45	49	58	67	41	34	34	37	51	47
	1991-2020	43	40	49	49	64	54	63	44	46	51	43	48
Видин	1961-1990	35.8	40.3	44.8	52.8	61.6	64.5	46.0	41.0	37.6	36.9	51.8	47.0
	1991-2020	41.0	39.7	43.3	44.6	55.8	51.0	55.0	44.8	44.6	50.9	46.3	50.0
Враца	1961-1990	45.2	42.5	58.9	69.0	98.6	105.2	74.5	63.3	54.7	48.8	57.9	56.3
	1991-2020	48.8	48.4	66.0	70.5	89.8	78.4	71.5	51.3	66.1	65.6	48.2	52.7
Монтана	1961-1990	34.9	32.4	41.3	54.4	80.7	81.6	53.4	46.1	41.0	38.2	52.0	41.3
	1991-2020	39.0	34.7	49.1	53.8	66.1	68.3	64.8	52.7	49.1	52.8	38.2	40.1
Ниш	1961-1990	41.2	40.3	45.3	51.3	66.6	69.7	41.9	43.3	43.7	34.1	56.8	53.6
	1991-2020	42.9	39.0	47.6	55.9	69.7	57.5	49.4	43.8	49.0	55.8	48.9	53.9
Бела паланка	1961-1990	43.1	42.0	46.6	51.9	69.9	78.7	58.5	42.4	41.8	36.8	61.0	56.5
	1991-2020	42.7	42.2	46.7	54.1	68.0	66.0	49.3	47.0	51.6	62.7	48.1	54.7
Пирот	1961-1990	37.8	39.3	43.4	49.8	71.0	85.0	52.5	40.8	41.8	38.4	60.6	49.0
	1991-2020	39.6	35.9	45.3	49.5	65.7	69.4	48.0	49.4	43.8	51.5	44.6	43.5
Бабушница	1961-1990	50.6	44.6	52.1	55.9	74.0	80.3	61.3	41.5	44.1	44.3	66.1	59.6
	1991-2020	51.8	50.0	54.0	58.8	71.6	66.9	55.2	54.0	51.8	56.0	54.0	52.7
Димитровград	1961-1990	42.3	41.0	48.6	49.4	73.6	89.1	60.6	44.2	39.5	39.2	63.8	45.7
	1991-2020	44.0	42.6	49.4	55.1	76.3	71.4	62.2	52.2	54.9	56.6	48.3	47.7
София	1961-1990	28.3	31.7	37.9	51.4	72.8	75.2	63.3	50.5	38.0	35.3	48.5	40.4
	1991-2020	35.6	35.7	45.5	51.9	72.5	76.4	64.2	55.0	52.5	54.3	37.7	40.2
Ихтиман	1961-1990	35.1	32.6	38.7	44.8	67.8	65.9	50.5	50.1	32.6	30.5	47.6	44.5
	1991-2020	36.5	34.8	46.1	43.7	71.8	65.3	56.2	52.4	55.6	49.0	35.4	44.8
Вранье	1961-1990	41.4	43.4	46.0	51.7	65.0	70.9	50.4	38.7	45.4	46.2	62.9	52.0
	1991-2020	39.9	41.0	43.5	52.8	63.0	59.3	46.2	41.8	50.2	60.2	54.3	52.9
Лесковац	1961-1990	42.7	42.7	49.0	50.5	58.8	73.0	44.9	44.0	44.6	36.4	63.2	52.6
	1991-2020	46.2	45.5	52.1	62.8	69.3	61.6	51.2	45.1	52.2	70.3	55.4	58.2
Бобошево	1961-1990	38.1	43.2	44.7	54.3	66.2	62.8	39.3	42.9	38.6	44.1	67.3	49.3
	1991-2020	43.4	44.4	50.9	53.6	58.6	59.6	40.7	36.7	46.0	56.7	51.8	56.3
Трън	1961-1990	39.2	38.3	43.0	49.4	73.9	84.9	52.0	47.9	39.9	39.3	53.2	47.4
	1991-2020	41.7	36.8	50.3	55.1	75.1	73.0	59.0	48.2	55.5	59.6	43.1	46.8
Кюстендил	1961-1990	39.5	45.8	42.0	45.7	64.4	59.0	51.0	39.2	39.8	39.6	62.8	52.4
	1991-2020	37.9	39.2	46.4	48.1	54.8	63.0	50.7	40.4	45.1	55.2	45.3	51.1
Радомир	1961-1990	38.8	37.3	40.4	51.7	70.2	80.6	49.8	46.3	42.7	36.2	57.1	47.6
	1991-2020	41.6	30.6	42.8	52.3	56.0	63.5	48.8	40.1	49.2	52.3	42.9	43.3

\*първи минимум на валежите е отбелязан с оранжево, втори минимум с жълто, първи максимум е отбелязан с тъмно синьо, втори максимум със светло синьо

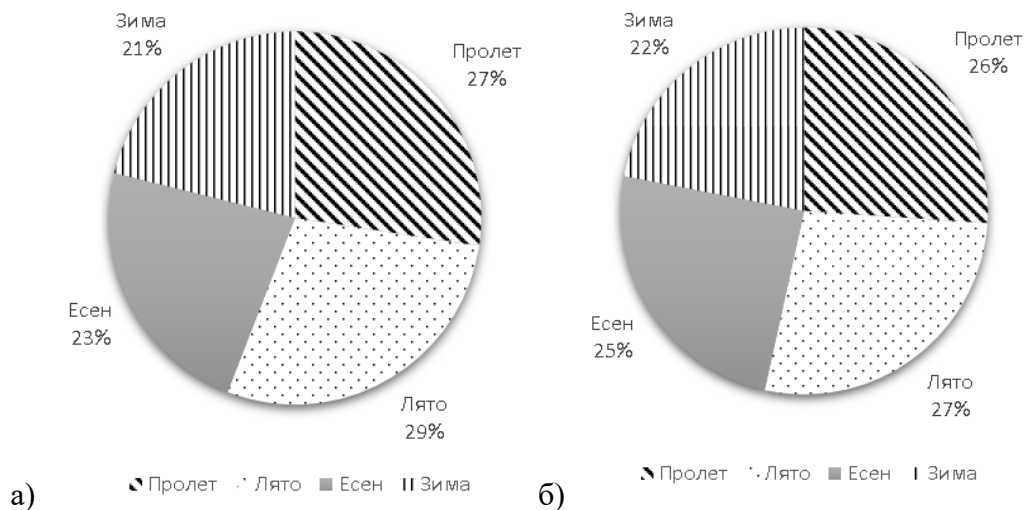
При сравнението на данните за двата периода се наблюдава увеличение на валежите през август, септември и октомври през втория период (1991–2020 г.), спрямо първия (1961–1990 г.). В същото време за северната и централната част на изследваната територия се наблюдава намаляване на валежите през летните месеци май, юни и юли в периода 1991–2020 г. Най-значително намаляване на валежите през юни е регистрирано на станциите Црни връх и Враца. Март месец показва увеличение на валежите през втория период за всички станции, с изключение на Неготин, Зайчар, Княжевац и Видин. Зимните месеци (декември, януари и февруари) не показват съществена промяна в стойностите на средномесечните валежи.

Заклучението от анализа е, че в изследваната територия преобладава плювиално-континентален тип на валежите, с два максимума, като летният е по-силно изразен, и два минимума, от които зимният е по-силно изразен. През периода 1991–2020 г. се наблюдава изместване на вторият максимум и минимум на валежите в по-голямата част от територията. Това показва, че климатичните условия в региона са претърпели промени през последните три десетилетия.

*3.3.2. Вътрешногодишно разпределение на сезонните валежни суми.* През двата периода, 1961–1990 г. и 1991–2020 г., за Долнодунавския подрайон се наблюдава увеличение на валежите през есента и зимата, докато през пролетта и лятото валежите намаляват. Въпреки тези промени, валежите са сравнително равномерно разпределени през годината, като летните месеци остават с най-голям процент от общите валежи, а зимата отчита най-малко количество валежи. (Фиг. 3).

- в Централен трансграничен подрайон най-много валежи падат през летните месеци и за двата периода.

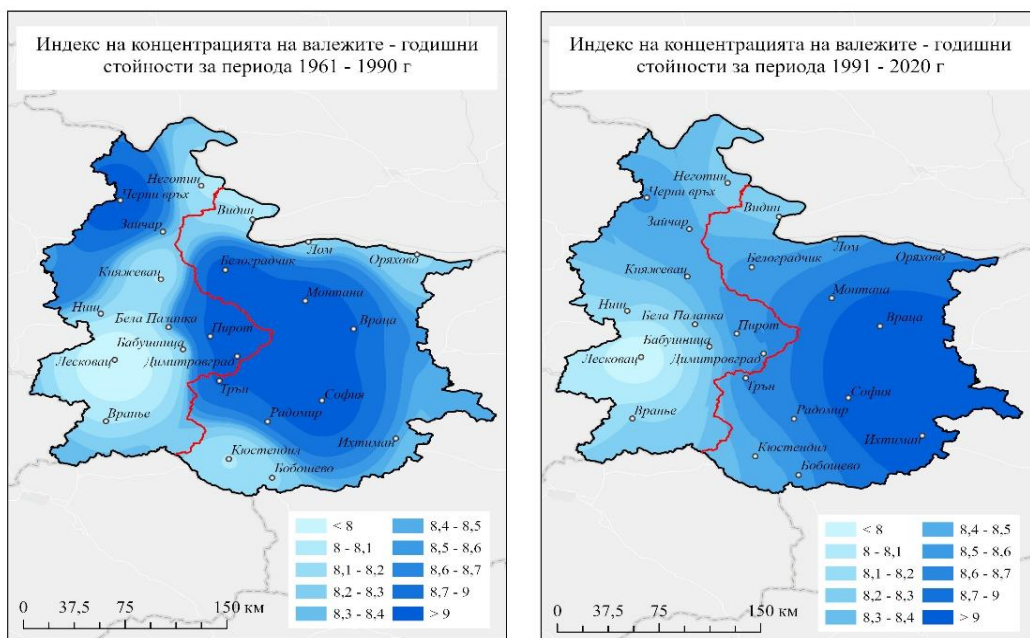
- в Пчинксо-краищенски подрайон най-голям процент валежи се наблюдават през летните месеци през периода 1961–1990 г., като през втория период 1991–2020 г. те намаляват и най-големият дял на валежите се измества през есенните месеци.



**Фигура 3:** Относителен дял на сезоните валежи в Долнодунавски подрайон за: а) 1961–1990 г. и б) 1991–2020 г.

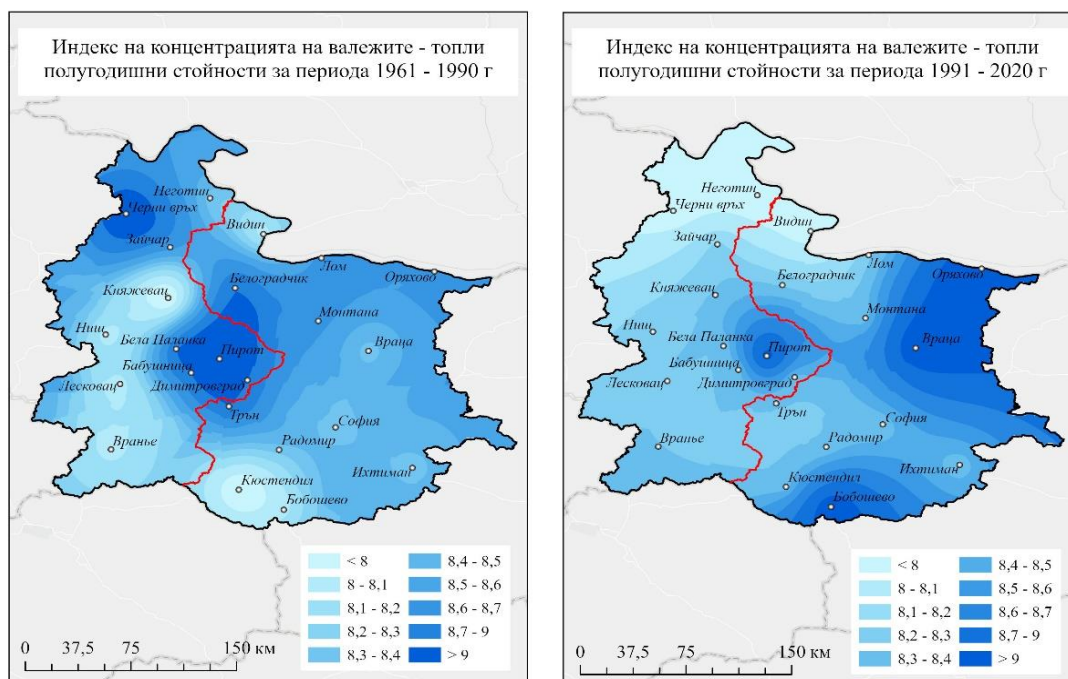
3.3.3. *Вътрешногодишно разпределение на валежите – индекс на концентрация на валежите (Precipitation Concentration index – PCI).* Анализът на концентрацията на валежите през годината е извършен чрез индекс на концентрацията на валежите за месечната месечната сума на валежите, за топлото (април – септември) и студеното (ноември-март) полугодие и за стандартните климатични сезони (пролет, лято, есен и зима).

Анализът на годишните стойности на индекса на концентрация на валежите (PCI<sub>annual</sub>) показва, че през периода 1991–2020 г. валежите се разпределят по-равномерно през годината в сравнение с периода 1961–1990 г., когато стойностите на индекса са по-високи. В Долнодунавския подрайон най-високата стойност на PCI<sub>annual</sub> през първия период е в планинската станция Црни връх, докато през втория период същата станция показва най-нисък индекс. В Централния трансграничен подрайон стойностите на PCI<sub>annual</sub> също са по-високи през 1961–1990 г., като най-високият индекс е в София (Фиг. 6). През втория период стойностите са по-равномерни, с намаление на индекса за повечето станции. В Пчинско-краищенски подрайон разликите между двата периода са малки, като станция Трън има най-високия индекс и през двата периода, а станция Лесковац – най-ниски стойности. Общата тенденция е към по-равномерно разпределение на валежите през новия 30-годишен период.



**Фигура 6:** Индекс на концентрация на валежите на годишните валежи за периоди 1961–1990 г. и 1991–2020 г.

През периода 1961–1990 г. най-ниски стойности на  $PCI_{annual}$  се наблюдават в югозападните части на трансграничния район, а през 1991–2020 г. индексът се повишава в северозападната част. Стойностите на  $PCI_{supraseasonal}$  през студените месеци са по-високи, показвайки умерена концентрация на валежите, докато през топлите месеци те са по-ниски и демонстрират по-равномерно разпределение на валежите. В Долнодунавския подрайон през студеното полугодие за 1961-1990 г., станция Оряхово има най-висок индекс  $PCI$  (9,5), а през периода 1991–2020 г. четири станции показват стойности на индекса над 9. В Централния трансграничен подрайон и Пчинско-краищенски район стойностите на  $PCI$  също се запазват високи, като станция Радомир достига индекс 10 през втория период, показвайки умерена концентрация на валежите. През топлото полугодие индексът на концентрацията на валежите е по-висок през периода 1961–1990 г., като в Долнодунавския подрайон най-високият индекс е при ст. Црни връх, а през 1991–2020 г. най-високи стойности имат ст. Оряхово и Враца. В Централния и Пчинско-краищенски подрайони разликите между индексите през двата периода са минимални, като най-високите стойности остават в Пирот и Трън. (Фиг. 8).



**Фигура 8:** Индекс на концентрация на валежите през топлото полугодие за 1961–1990 г. и 1991–2020 г.

Най-големите разлики в концентрацията на валежите се наблюдават през пролетта, като в Долнодунавския подрайон станция Неготин показва значително намаление на индекса през втория период. В Централния и Пчинско-краищенски подрайони през втория период индексите на концентрацията на валежите са по-високи в повечето станции, с изключение на някои станции като София и Ихтиман, които запазват по-висок индекс през първия период.

През летния сезон в Долнодунавския подрайон станциите показват различия в индексите на концентрацията на валежите между двата изследвани периода, като например станцията Враца и Црни връх имат значителни промени. В Централния трансграничен подрайон индексите през първия период РСІ са по-високи, с изключение на някои станции, като София, която показва най-висок индекс, докато в Пчинско-краищенски подрайон, разликите между периодите са по-малки, а стойностите на РСІ за есенните и зимните месеци показват равномерно разпределение на валежите и не са от съществено значение за дисертационен труд.

### 3.4. Хронологични изменения на валежите

3.4.1. Анализ на тренда на месечните валежи. През периода 1961–2020 година са наблюдавани различни линейни трендове за валежите в зависимост от месеците и географските области. Март и октомври се открояват с положителни, статистически значими, стойности на линейния тренд. (Табл. 9).

**Таблица 9:** Линеен тренд (mm/10 год.) и статистическа значимост на месечните валежи за периода 1961–2020 г. (по Mann-Kendall)

Метеорологични станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Неготин	1.74	1.70	-0.83	<b>-5.41</b>	-1.15	-2.50	1.74	2.48	3.54	3.17	-2.41	0.57
Зайчар	1.61	0.57	1.54	-2.35	-1.71	-1.55	2.05	3.00	0.92	3.86	-2.04	0.73
Княжевац	0.54	-0.00	-0.00	-0.38	-0.46	-1.46	-0.61	-1.32	-0.00	<b>5.57</b>	-1.23	-0.80
Црни врх	1.60	2.21	1.77	-2.73	-3.68	-7.47	-2.91	4.36	0.19	<b>6.86</b>	-0.98	-0.28
Белоградчик	<b>5.84</b>	3.07	<b>5.84</b>	-1.62	-3.32	-3.54	-3.54	1.24	2.33	<b>8.04</b>	-0.55	1.09
Оряхово	0.16	-0.28	2.19	0.27	2.50	-0.00	1.25	-0.14	0.97	4.40	-1.69	-0.82
Лом	1.76	0.39	2.87	<b>-0.32</b>	2.32	-2.46	5.30	2.95	2.31	4.05	-1.20	-0.05
Видин	1.42	1.97	1.46	-2.51	0.01	-3.24	1.34	0.54	0.62	4.63	-0.80	0.42
Враца	1.24	2.5	4.11	-0.49	-1.72	-4.50	0.19	-2.12	2.18	5.40	-2.29	-0.58
Монтана	0.47	1.87	<b>4.39</b>	-1.23	-2.98	-2.12	3.48	2.24	1.41	4.75	-2.27	0.19
Ниш	2.10	-0.40	2.66	0.01	2.27	-2.19	2.63	1.15	-1.23	<b>6.27</b>	-1.82	0.02
Бела паланка	0.16	-0.28	2.25	-0.37	-0.09	-3.16	-2.42	0.10	1.22	<b>7.94</b>	-3.87	-1.08
Пирот	1.51	-1.11	2.26	-0.51	-0.53	-4.07	-1.48	2.51	0.31	3.16	-4.64	-1.59
Бабушница	0.64	1.70	2.69	0.41	0.04	-3.27	-2.68	3.04	1.47	3.07	-4.10	-2.74
Димитровград	1.54	-0.03	2.77	0.97	1.44	-5.50	-0.41	2.54	3.22	4.27	-3.71	-0.61
София	2.39	1.05	<b>3.39</b>	0.75	-2.48	0.72	0.82	2.49	3.18	<b>5.46</b>	-2.73	-0.18
Ихтиман	0.15	0.76	3.54	-0.75	-0.10	2.37	0.45	1.30	6.34	<b>5.14</b>	-3.87	-0.24
Вранье	0.12	0.17	0.42	-0.75	0.75	-2.31	-2.22	0.84	1.00	3.92	-2.05	-0.47
Лесковац	1.51	0.81	2.18	2.99	3.31	-1.45	2.43	0.79	0.93	<b>6.63</b>	-1.16	1.88
Бобошево	1.98	1.25	2.32	-0.60	-2.07	-0.41	0.00	-0.44	1.59	3.44	-4.89	1.47
Трън	1.27	-0.82	<b>4.16</b>	0.99	1.44	-1.78	0.86	1.21	3.55	<b>6.14</b>	-2.09	-0.08
Кюстендил	-0.72	-1.59	2.71	-0.15	-2.78	1.24	-0.40	0.67	1.85	3.67	-4.61	-0.82
Радомир	0.25	-1.48	2.02	-0.57	-4.33	-3.29	-0.64	-0.84	2.79	4.75	-2.82	-0.45

\* **Bold** – статистически значим тренд (p-value  $\leq$  0.05)

От друга страна, през април се наблюдава отрицателен тренд в много станции, особено в Централния трансграничен район. През януари почти всички станции показват положителен тренд на валежите, с изключение на Кюстендил. През март, отрицателен тренд е отчетен в Неготин и Княжевац, но на други места като Белоградчик и Монтана има значително увеличение. За април, най-голямото намаляване на валежите е установено в Неготин, докато някои станции в Централния трансграничен район показват значително намаляване. През май и юни, много станции отчитат положителен тренд, като най-голямото увеличение на валежите се наблюдава в Лесковац и Ихтиман. В същото време, за юли и август, някои станции от Долнодунавския и Пчинско-краищенския подрайон имат отрицателен тренд, като значително намаляване на валежите има в Вранье и Радомир. През септември отрицателен тренд се установява за ст. Ниш и Княжевац, докато през октомври всички станции отчитат увеличаване на валежите. През ноември и декември се наблюдава отрицателен тренд за валежите, с най-голямо намаляване в Бобошево и Лесковац. (Табл. 9).

Анализирайки цялата година може да кажем ,че зимните месеци декември, януари и февруари и април регистрират най-малки промени на валежите за периода 1961–2020 г. , докато най-големите стойности на тренда се установяват през есенните месеци октомври и ноември.

*3.4.2. Тренд на сезоните валежи.* Анализът на линейния тренд зимните валежи за периода 1961–1990 г. показва отрицателни, но статистически незначими тенденции при повечето станции. Статистически значим тренд е установен в станции като Княжевац, Оряхово, Бела Паланка и други. Пролетните валежи не показват статистически значими стойности на тренда, освен в Кюстендил, докато през летните месеци наблюдаваме отрицателни тенденции за повечето станции. През есента валежите в повечето станции намаляват, но без статистическа значимост.

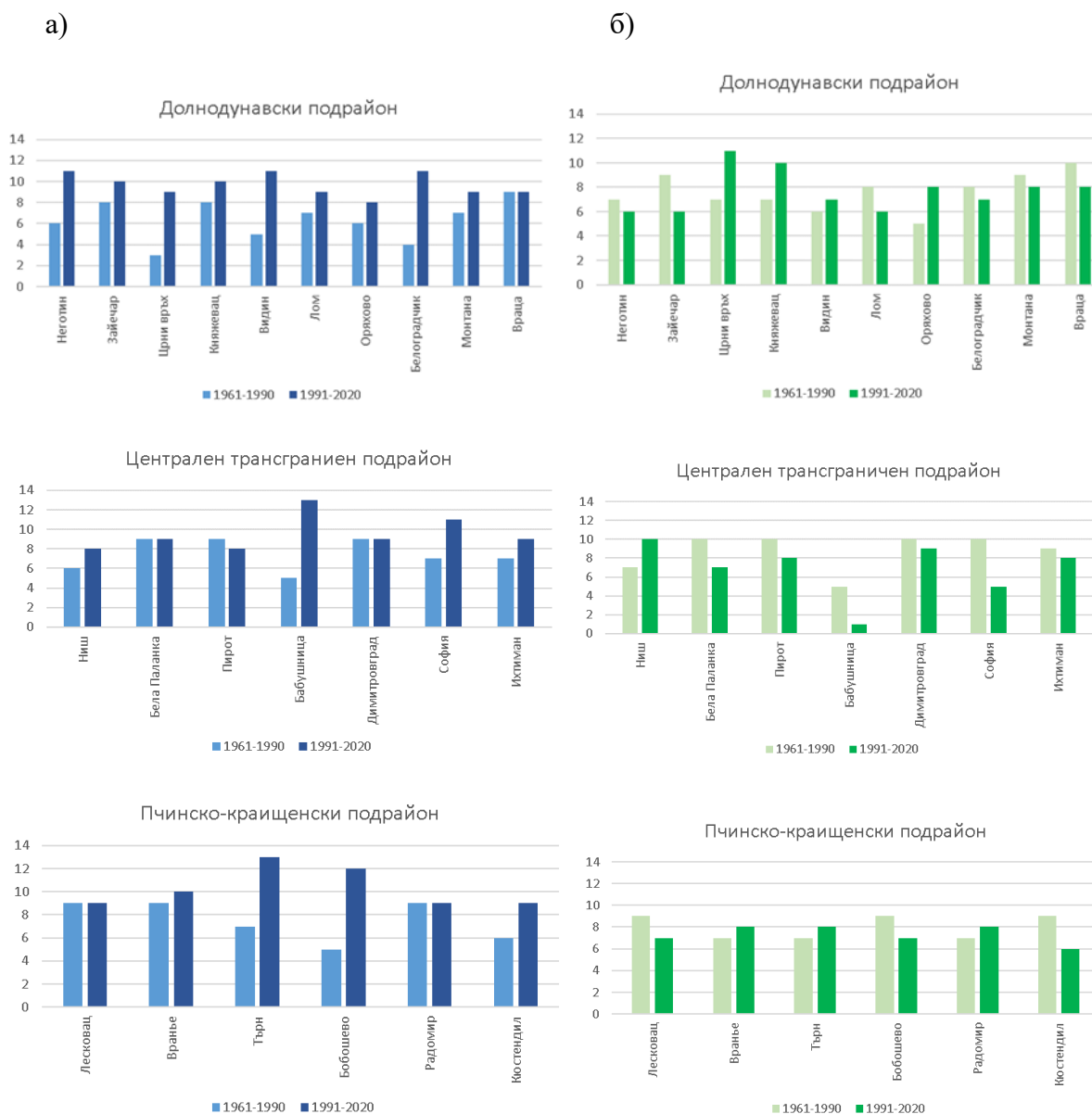
През периода 1991–2020 г. зимните валежи показват увеличение в повечето станции, като Княжевац отчита най-голямото увеличение. Пролетните валежи също показват положителни трендове, особено в Зайчар и Трън, с най-голямо увеличение. През летните месеци се наблюдава повишение в някои станции като Враца, въпреки че трендът не е статистически значим. През есента не се наблюдават статистически значими тенденции, като най-голямо намаляване на валежите се установява в Бобошево.

*3.4.3. Хронологично разпределение на годишните валежи.* Средногодишните валежи през периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г. показват различия в количеството валежи. През първия период те варират от 519,1 mm в ст. Ихтиман до 804,6 mm в ст. Црни връх. През втория период най-ниската стойност е 547,7 mm в ст. Белоградчик, а най-високата остава за ст. Црни връх с 797,4 mm. В южната част на региона, напр. ст. Вранье, Кюстендил и Радомир, валежите намаляват, докато в останалите станции се наблюдава повишение, най-добре изразено в ст. София и Лесковац – с над 50 mm спрямо предходния период.

Анализът на тренда показва намаляване на годишните валежите в някои станции през първия период (1961–1990 г.), с най-висока стойност в ст. Белоградчик (-2,8 mm/10 год). През втория период (1991–2020 г.) негативният тренд се запазва при ст. Белоградчик, Враца и Бабушница, докато повечето станции показват положителен тренд, с най-голямо повишение при ст. Црни връх (12,1 mm/10 год). В Централния трансграничен подрайон най-значителен положителен тренд се наблюдава при ст. Бела Паланка (7,1 mm/10 год).

*3.4.4. Екстремно сухи и екстремно валежни месеци.* Направен е сравнителен анализ на проявата на екстремно сухи и екстремно валежни месеци, определени чрез прагови стойности на 10-ия и 90-ия персентил, за периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г.

*Екстремно сухи и екстремно валежни валежни месеци за зимата.* През периода 1991–2020 г. се наблюдава увеличение на екстремно валежните месеци в цялата изследвана територия, което е най-голямо в Долнодунавския подрайон. През този период броят на екстремно валежните месеци е значително по-голям в сравнение с периода 1961–1990 г., като най-много екстремни валежни месеци се установяват за зимата в станциите Бабушница и Трън. В същото време, повече станции регистрират екстремно сухи месеци през периода 1961–1990 г., като в Долнодунавския подрайон се наблюдава почти равномерно разпределение на сухите месеци между двата периода. През 1991–2020 г. се наблюдава намаляване на екстремно сухите месеци в Централен трансграничен и Пчинско-краищенски подрайони. В тези райони, както и в Долнодунавския, зимният сезон показва увеличение на екстремно валежните месеци през втория период. (Фиг. 11).



**Фигура 11:** Разпределение на а) екстремно валежни и б) екстремно сухи зимни месеци за периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г.

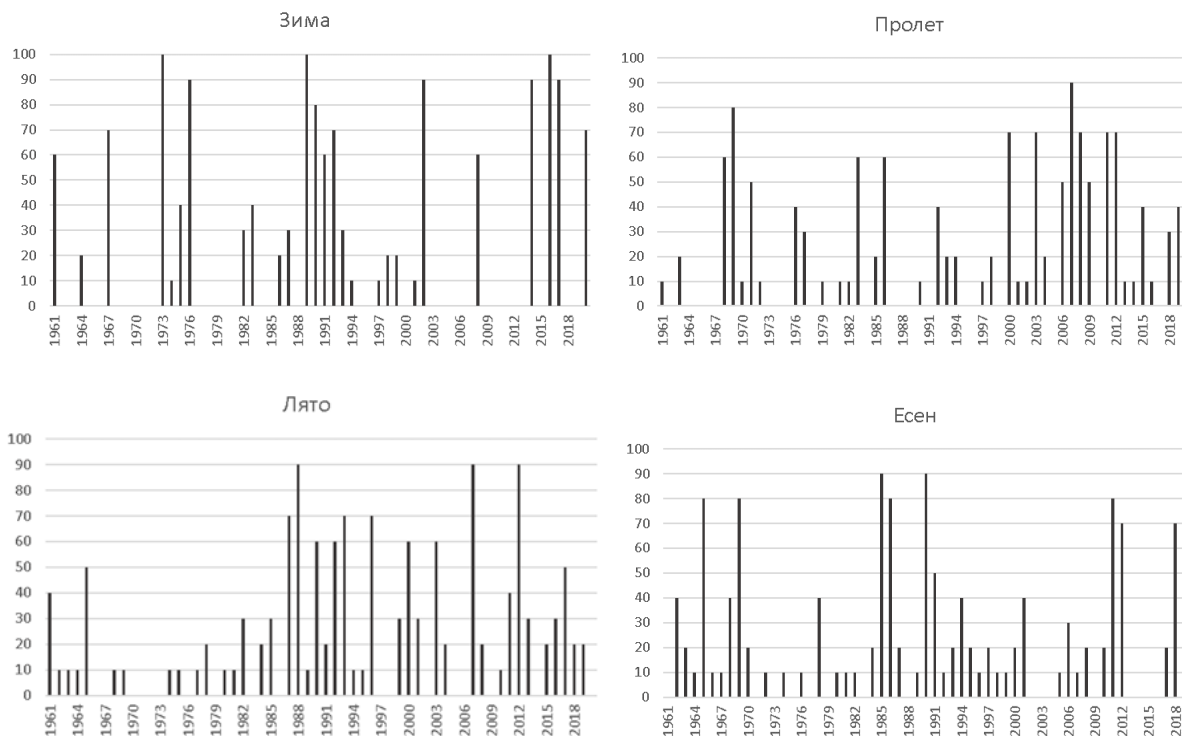
*Екстремно сухи и екстремно валежни месеци през пролетта.* През периода 1991–2020 г. се наблюдава увеличение на екстремно валежните месеци в северозападната част на Долнодунавския подрайон, с най-голяма промяна в станциите Оряхово и Неготин. В същото време, в източната част на Сърбия и в станция Видин, се отбелязва намаление на екстремно валежните месеци в сравнение с периода 1961-1990 г. В Централния трансграничен подрайон има минимални разлики в проявата на екстремни месеци през двата 30-годишни периода, като увеличение на екстремно валежните месеци се наблюдава само в София и

Ихтиман. В Пчинско-краищенски подрайон също се отбелязва увеличение на екстремно валежните месеци, най-голямо в станция Лесковац. По отношение на екстремно сухите месеци, в Долнодунавския подрайон процентът им се увеличава през втория период, като най-голямо увеличение се наблюдава при Неготин и Оряхово, а в Централния трансграничен подрайон се отбелязва увеличение на екстремно сухите месеци при всички станции. Резултатите от анализите показват увеличаване както на екстремно валежните, така и на екстремно сухите пролетни месеци през периода 1991-2020 г.

*Екстремно сухите и екстремно валежните месеци през лятото.* През периода 1991–2020 г. се наблюдава увеличение на екстремно сухите месеци в целия регион, като най-значително е в Централния трансграничен подрайон, където екстремно сухите месеци са 67% от всички месеци за периода 1961–2020 г. В Долнодунавския подрайон най-голям брой екстремно сухи се установяват при ст. Црни връх. В Централния трансграничен подрайон, ст. Ихтиман показва най-голямо увеличение на екстремно сухите месеци, с 13 в периода 1991–2020 г. В Пчинско-краищенски подрайон се наблюдава увеличение на екстремно сухите месеци, с изключение на ст. Кюстендил, която отчита намаление. В същото време, нарастващият брой на екстремно валежни месеци през втория период се наблюдава в Пчинско-краищенски подрайон, с най-значително увеличение при ст. Бобошево.

*Екстремно валежни и екстремно сухи месеци през есента.* През есента, анализът на Трансграничния район България-Сърбия показва увеличение на екстремно валежните месеци и намаляване на екстремно сухите месеци през втория период (1991–2020 г.). В Долнодунавския подрайон се наблюдава увеличение на екстремно валежните месеци в 8 от 10, от друга страна Белградчик и Видин отбелязват намаляване. В Централния трансграничен район, станциите Ниш и Ихтиман имат най-голямо увеличение на екстремно валежните месеци. В Пчинско-краищенски подрайон, повишение на екстремно валежните месеци се наблюдава при четири станции, а в Кюстендил – намаление. Процентното разпределение на екстремно сухите месеци през есента показва намаление в целия изследван район през периода 1991–2020 г. в сравнение с 1961–1990 г.

*Относителен дял на станциите с поне един екстремно сух месец през сезоните.* През зимния сезон в изследвания период 1973–2020 г. се наблюдава, че почти всички станции регистрират поне един екстремно сух месец, като годините 1973, 1990 и 2016 правят впечатление със поне един екстремно сух месец във всички изследвани станции (Фиг. 15).



**Фигура 15:** Сезонно разпределение на броя станции в Долнодунавски подрайон с поне един екстремно сух месец (в % от общия брой изследвани станции за подрайона)

През лятото и пролетта нараства броят на екстремно сухите месеци след 2000 година, като през 2012 г. 100% от станциите в Пчинско-краищенски подрайон и 90% от тези в Долнодунавския подрайон регистрират поне един екстремно сух месец, като най-сухата година е 2012, когато 50% от станциите в изследвания район имат по два екстремно сухи месеца през лятото.

*Относителен дял на станциите с поне един екстремно валежен месец през сезоните.* Анализът на екстремно валежните месеци в трите трансгранични подрайона показва забележително увеличение на екстремните валежи след 2009 година, особено през зимата и есента, като през тези периоди се наблюдават години с висока честота на екстремни валежи. В Долнодунавския подрайон, например, през 2014 и 2018 година 90% от станциите имат поне един екстремно валежен месец, докато през зимата 2010 и 2018 година се наблюдава увеличаване на броя на станциите с два валежни месеца. В Централния и Пчинско-краищенски подрайон също се отбелязва повишаване на броя на екстремно

валежните месеци, като най-голям брой са регистрирани в годините 2014, 2018 и 2020 (поне един екстремно валежен месец, а в някои станции и два).

### **3.5. Ерозивност на валежите**

*3.5.1. Анализ на ерозивността по Фурние индекс (FI).* Ерозионността на валежите определя потенциала на валежите да генерират ерозионни процеси (Lukić et al., 2019). В настоящото изследване, по-голям процент от годините в целия изследван период имат много слабо ниво на ерозивност. Анализът на FI индекса в Долнодунавския, Централния трансграничен и Пчинско-краищенски подрайон разкрива важни тенденции в ерозивността на валежите:

- **Долнодунавски подрайон:** През 1980-те години се наблюдава висока ерозивност, с най-високи стойности на FI стойности през 1985, 1986, 1990 и 2014. От друга страна, се установява отрицателен тренд на ерозивността, особено в станциите Црни връх и Видин.
- **Централен трансграничен подрайон:** След 1990 г. ерозивността на валежите достига умерено високо ниво. Установява се главно отрицателен тренд на FI, напр. в станциите Пирот и Бабушница, а в станция Ихтиман – положителен тренд в многогодишните изменения на коефициента на ерозивност.
- **Пчинско-краищенски подрайон:** Умерените нива на ерозивност преобладават през първия период (1961–1990). Подобно на другите два подрайона, тук също се установява слабо ерозивност на валежите за изследвания период.

В обобщение, ерозивността на валежите показва обща тенденция към намаляване през годините, с относително увеличение през 80-те години и с тенденция за отслабване през последните десетилетия.

*3.5.2. Анализ на ерозивността по Модифициран Фурние индекс (MFI).* Анализите чрез Фурние индекс (FI) се фокусират само върху най-валежния месец, считан за ключов за ерозията, но по този начин се пропускат останалите месеци, имащи отношение към ерозивност. С оглед на това, е проведен и анализ чрез модифицирания индекс на Фурние (MFI), който обхваща всички месеци през годината. Този подход осигурява по-пълна представа за влиянието на валежите върху развитието на ерозионните процеси през цялата година, а не само в най-валежния месец.

Анализът на модифицирания Фурние индекс (MFI) в различните разкрива ключови тенденции в динамиката на ерозивността:

- **Долнодунавски подрайон:** През първия изследван период (1961–1990 г.) се наблюдава преобладаване на умерено ниво на ерозивност, като с преминаването на юг индексът показва повишаване на ерозивността през втория период (1991–2020 г.). Станция Неготин регистрира най-много години с високо ниво на ерозивност. Въпреки това, високото ниво на ерозивност е по-характерно за втория период, а в началото на периода Црни връх отбелязва много високо ниво през 1961 и 1969. 70-те и 80-те години се установява главно умерена ерозивност.
- **Централен трансграничен подрайон:** Във периода 1991-2020 г. се наблюдава тенденция към увеличаване на ерозивността в сравнение с 1961-1990 г. Години като 2007, 2012, 2014 и 2020 се отличават с високи стойности. През 2005 година станция Ихтиман регистрира екстремно ниво на ерозивност, причинено от интензивни валежи през август. Високи нива на ерозивност са отчетени и в станциите Бела Паланка (2020), Ихтиман (2014, 2018) и София (1976, 2014).
- **Пчинско-краищенски подрайон:** В този район преобладават умерените нива на ерозивност, особено през 70-те години на първия период. През втория период (1991–2020 г.) станцията Лесковац регистрира по-високи стойности на ерозивност. Няма високи или много високи нива на ерозивност в района. Станция Кюстендил, въпреки по-високата си надморска височина (520 m), показва изключение с умерена ерозивност през първия период.

Общата тенденция показва, че по-високите надморски височини обикновено са свързани с по-ниска валежна ерозивност, с изключения като ст. Кюстендил.

Анализът на модифицирания Фурние индекс (MFI) показва важни различия в периодите на проява на умерени и високи нива на ерозивност в сравнение с класическия Фурние индекс (FI). Докато FI индексът сочи, че по-високите нива на ерозивност преобладават през периода 1961–1990 г., MFI индикаторът демонстрира нарастваща тенденция за често проявление на тези нива през последния изследван период (1991–2020 г.).

Анализът на модифицирания Фурние индекс (MFI) показва, че в различните райони има значителни вариации в нивата на ерозивност. През 1961–1990 г. най-много години с

ниско ниво на ерозивност са регистрирани в района на станция Димитровград, а много ниско ниво на ерозивност, в повече от 25 от годините е регистрирано в станциите Оряхово и Ихтиман. Умерено ниво на ерозивност е наблюдавано най-често в станция Црни връх, следвана от Враца и Бабушница. Високи нива на ерозивност са били регистрирани в Неготин, Враца и Черни връх, като най-много години с висока ерозивност се наблюдават в Неготин. Много високо ниво на ерозивност е отчетено в две години в станциите Црни връх и Враца. (Табл. 13).

**Таблица 13:** Брой години с различни нива на ерозивност на валежите според MFI за период 1961– 2020 г.

<b>Метеорологични станции</b>	<b>Много ниско</b>	<b>Ниско</b>	<b>Умерено</b>	<b>Високо</b>	<b>Много високо</b>
Неготин	11	39	9	6	0
Зайчар	13	43	4	0	0
Княжевац	12	43	5	0	0
Црни връх	6	21	27	4	2
Белоградчик	4	29	5	1	1
Оряхово	26	32	2	0	0
Лом	17	37	6	0	0
Видин	21	32	7	0	0
Враца	2	35	16	5	2
Монтана	12	39	7	2	0
Ниш	14	39	7	0	0
Бела паланка	8	48	3	2	1
Пирот	11	42	7	0	0
Бабушница	10	37	13	0	0
Димитровград	8	47	5	0	0
София	18	36	4	2	0
Ихтиман	25	30	2	2	1
Вранье	13	43	3	0	0
Лесковац	13	43	4	0	0
Бобошево	18	40	2	0	0
Трън	11	42	7	0	0
Кюстендил	12	44	2	0	0
Радомир	16	36	8	0	0

Извършените анализи показват, че индексът MFI предоставя по-подробна и надеждна информация за ерозивността на валежите, като основните резултати сочат към

преобладаващите по-ниски нива на ерозивност в региона. Въпреки това, индексът не отчита всички климатични фактори, които също играят роля в процесите на ерозия, което подчертава необходимостта от включването на допълнителни климатични променливи в бъдещите изследвания.

3.5.3. *Ангот индекс.* Анализът на средномесечния Ангот индекс за периода 1961–2020 г. показва, че месеците май и юни са с повишена предразположеност към ерозия, като през юни се наблюдава по-честа проява на по-високите нива на ерозивност на валежите. През по-голямата част от годината нивото на ерозивността на валежите е много ниско. В Централния трансграничен подрайон (Ниш, Бела Паланка, Бабушница, Димитровград) се наблюдава най-много сухи месеци с ниско ниво на ерозивност, особено през април, май, юни, ноември и декември. В станциите Ниш и Ихтиман се регистрира умерено ниво на ерозивност през май, с нормално разпределение на валежите. (Фиг. 28).

С ниско ниво на ерозивност ( $1 < k < 1.49$ ) са главно станциите в Централния трансграничен подрайон (Ниш, Бела Паланка, Бабушница, Димитровград) през април, май, юни, ноември и декември. В станция Ниш и Ихтиман се регистрира умерено ниво на ерозивност с нормално разпределение на валежите през май ( $k > 1,5$ ). Умерена ерозивност ( $> 1,5$ ) се наблюдава в станциите Црни връх, Враца, Монтана, Димитровград, София и Радомир, като най-висока стойност има станция Пирот (1,6).

Анализът на относителния дял на различните категории ерозивност на валежите, според Ангот индекс, в Долнодунавския подрайон показва, че през август ерозивността на валежите е много ниска, следван от януари, октомври и септември. В станциите Црни връх, Монтана и Враца, януари е месецът с най-ниска ерозивност (около 80% от месеците). В повечето от изследваните станции през пролетта и лятото намаляват годините с много ниска и ниска ерозивност на валежите, а се увеличават тези с умерена и силна ерозивност. В Централен трансграничен подрайон най-голям процент от месеците се класифицират с много ниска ерозивност (Фиг. 28 ). В станциите, разположени в южните части на изследвания район, много от месеците, основно от април до юли/август, имат много силно ниво на ерозивност , като най-висок индекс е регистриран през юни (София,  $k > 10\%$ ).



**Фигура 28:** Относителен дял на различните категории ерозивност на валежите според Ангот индекс за Централен трансграничен подрайон

Анализът на Пчинско-краищенския подрайон показва, че през повечето месеци нивото на ерозивност е много ниско, като най-висок относителен дял има тази категория през август в четири станции (Кюстендил, Трън, Вранье и Лесковац). Особено сухи месеци са февруари в станция Трън (в 82% от годините в изследвания период) и януари и юли в Бобошево (в 70% от годините в периода)

### **3.6. Плувиометрична континенталност на климата**

*3.6.1. Индекс на континенталността (С) по Велев.* Анализът на валежите в трансграничния район България–Сърбия за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. показва, че индексът на континенталност по Велев потвърждава умерено-континенталния характер на валежите за повечето станции в трансграничния район България–Сърбия ( $C > 1.2$ ).

Стойностите на индекса на континенталност са по-високи през 1961–1990 г., с изключение на няколко станции, където през 1991–2020 г. има минимално увеличение. Най-високи стойности са отчетени в станция София през първия период (1.7), а най-ниски – в южните части и станция Неготин (1–1.2). Разликите между периодите са минимални и не променят общия валежен режим.

#### *3.6.2. Съотношение на валежните суми за топлото и студеното полугодие.*

Анализът на данните за топлото и студеното полугодие показва, че десетилетия с типични континентални характеристики на климата са 1971–1980 г. и 2001–2010 г, като по-силно изразена континенталността се наблюдава в Долнодунавския подрайон. Почти всички станции в този подрайон имат преобладаващи летни валежи през всички десетилетия с изключение на ст. Неготин и Видин, в които  $R_{\text{warm/cold}} < 1$ , т.е. преобладават зимните валежи (през десетилетие 2011–2020 г.). В Централен трансграничен подрайон всички станции имат преобладаващи летни валежи и силно изразена континенталността през десетилетието 1971–1980 г., като  $R$  варира от 1.04 за ст. Бабушница през десетилетието 1961–1970 г. до 1.93 за ст. София през десетилетието 1971–1980 г. В Пчинско-краищенския подрайон континенталността е най-слабо изразена единствено в ст. Радомир и Трън, които имат по-висока надморска височина. Най-слабо изразено континентално влияние върху климата се установява през последното десетилетие (2011–2020 г.) от изследвания период

*3.6.3. Съотношение на зимните и пролетните валежи.* Коэффициентът на зимните и пролетните суми на валежите показва, че през 1961–1970 г. пролетните валежи преобладават

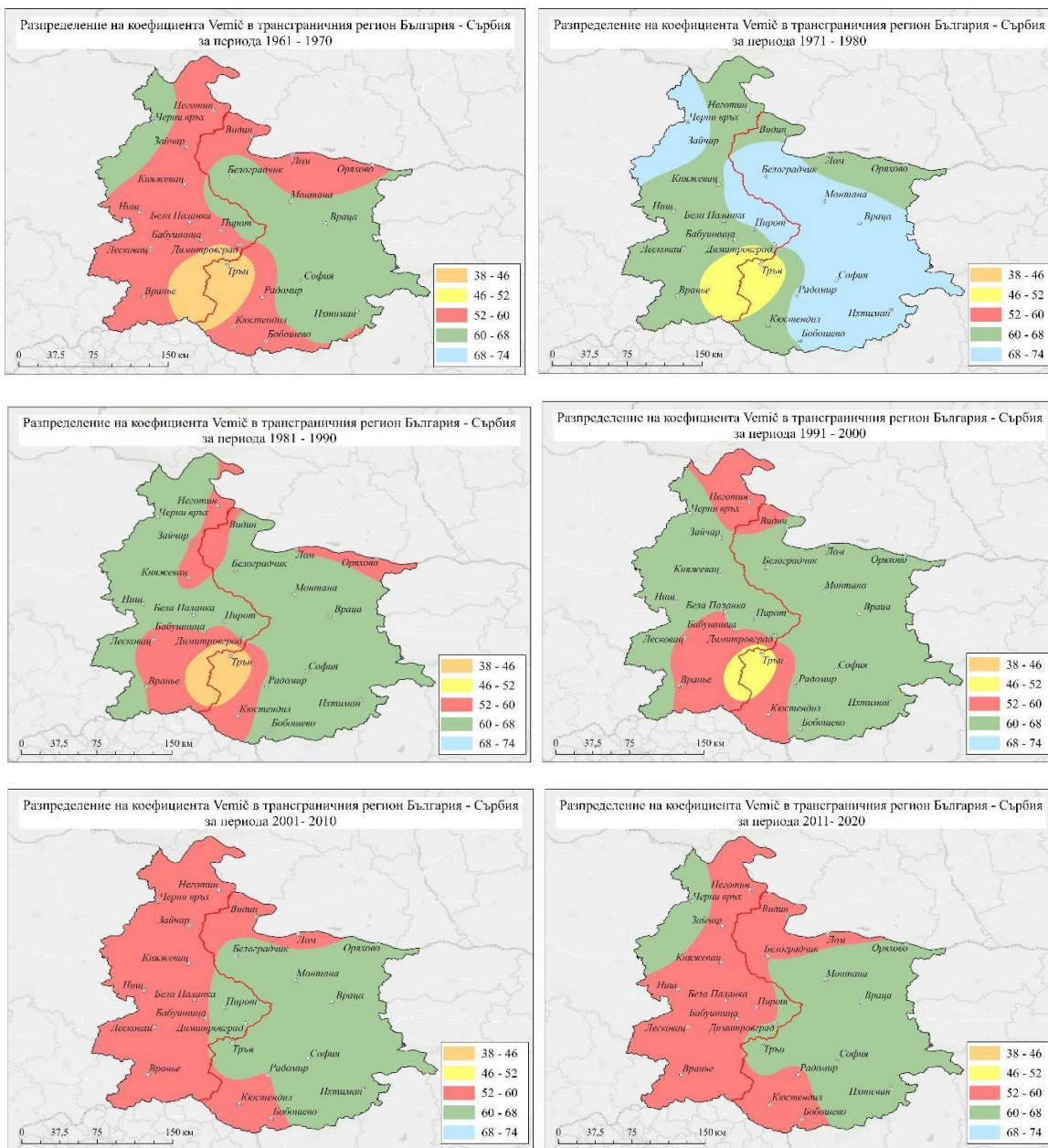
в повечето изследвани територии ( $R_{win/spr} < 1$ ), с изключение на Пчинско-краищенски подрайон, където зимните валежи доминират ( $R_{win/spr} > 1$ ). През десетилетието 1991–2000 г. зимните валежи преобладават в цялата територия, което показва влияние на средиземноморски климат. В Долнодунавския подрайон, през 1981–1990 г. и 2001–2020 г., преобладават зимните валежи с изключение на някои станции като Неготин и Зайчар, които имат пролетни валежи. В Централния трансграничен подрайон през 1961–1970 г. само станции в Сърбия показват преобладаване на пролетните валежи, докато през всички други периоди преобладават зимните валежи. В Пчинско-краищенски количеството зимни валежи намалява с времето, като само в станции като Трън и Радомир те остават по-ниски през изследвания период.

*3.6.4. Съотношение между зимните и летните валежи.* Коефициентът на сумарните зимни и летни валежи показва, че континенталното климатично влияние е било най-силно изразено през периодите 1971–1980 г. и 2001–2010 г., когато са преобладавали зимните валежи. Това се потвърждава за Долнодунавския подрайон и станции като Црни връх и Монтана, където стойностите на коефициента са по-малко от 1 ( $R_{win/sum} < 1$ ). През десетилетията 1961–1970 г. и 2011–2020 г. валежите са разпределени по-равномерно между зимата и лятото, с малки изключения в някои станции. През последното десетилетие, в станциите Неготин и Зайчар, преобладават летните валежи, което се отразява в по-високи стойности на коефициента за тези станции.

*3.6.5. Съотношение между есенните и пролетните валежи.* Коефициентът на сумарните есенни и пролетни валежи показва силна континенталност през десетилетията 1961–1970 г. и 2011–2020 г. за цялата изследвана територия, като през тези периоди есенните валежи са били по-ниски от пролетните ( $R_{aut/spr} < 1$ ). През 1981–1990 г. Долнодунавския и Централен трансграничен район също показват висока континенталност, с изключение на станцията Лом, която има преобладаващи пролетни валежи ( $R_{aut/spr} > 1$ ). През десетилетието 1991–2000 г. в Долнодунавския район преобладават есенните валежи, с изключение на планинската станция Црни връх, която има по-силно изразени пролетни валежи. В Централен трансграничен район, станциите София и Ихтиман също показват увеличение на есенните валежи спрямо пролетните, което показва влияние на средиземноморския климат. Пролетни валежи са най-силно изразени през 2001–2010 г., с изключения за станциите Бабушница, Ихтиман и Трън.

3.6.6. *Вемич индекс за континенталност на климата (k)*. Най-силно изразен плувиално-континентален климат се установява в северните части на изследваната територия – Долнодунавски подрайон, като стойностите варират от 56% за ст. Лом през десетилетието 1961–1970 г. до 73% за ст. Белоградчик за периода 1971–1980 г. През същия период най-висока стойност на индекса на Вемич има ст. Црни връх (73,4%), което представя най-високия индекс за всички декади. В Централния трансграничен подрайон най-силно изразена континенталност се наблюдава през периодите 1981–1990 г. и 1991–2000 г., като този ефект е особено изразен при станция София, която регистрира най-високия коефициент на континенталност. В рамките на подрайона стойностите варират от 57% при станциите Бабушница и Ниш до 70% при станция София, което подчертава пространствените различия в проявата на различна степен на континенталност. В Пчинско-краищенския подрайон, станция Трън показва сравнително нисък коефициент на континенталност ( $k < 50\%$ ) през всички изследвани десетилетия, което отразява влиянието на морския климат и преобладаване на зимните валежи. Промяна в тази тенденция се наблюдава едва през последните две десетилетия, когато е отчетено засилено проникване на континентален климат ( $k > 60\%$ ), (Фиг. 30).

Най-добре изразена континенталност на климата е наблюдавана през периода 1971-1980 г. за цялата изследвана територия. През десетилетието 2001-2010 г. станциите, разположени на територията на Сърбия, показват по-ниски стойности на индекса на Вемич в сравнение с тези, намиращи се на българската територия (Фиг 30).



**Фигура 30:** Разпределение на Vemіс индекс в трансграничния район България – Сърбия по декади

### Изводи

Изследването показва значителни промени в сезонните валежи, проявата на екстремно сухи и екстремно валежни месеци и ерозивността на валежите в трансграничния регион България-Сърбия:

- Установява се изменчивост на сезонните валежи, като най-голяма променливост на валежите се наблюдава през летните месеци за периода 1961–2020 г., докато през

зимните месеци (декември – февруари), както и през април, валежите са най-стабилни.

- Анализът на два 30-годишни периода (1961–1990 г. и 1991–2020 г.) показва разнопосочни тенденции – в първия период се наблюдава отрицателен тренд (намаление на валежите), докато във втория – положителен (увеличение). През 1961–1990 г. повечето станции регистрират значим линеен тренд през зимата, докато през 1991–2020 г. той се проявява основно през пролетта.
- Екстремно сухите месеци са по-чести през пролетта и лятото в периода 1991–2020 г., като най-голям брой екстремно сухи месеци са регистрирани през 80-те и началото на 90-те години, както и в годините 2007, 2011 и 2012. Екстремно валежните месеци се увеличават през зимата и есента след 1991 г., докато през пролетта и лятото са били по-чести в периода 1961–1990 г.
- Най-висок риск от плювиометрична ерозия има през май (Долнодунавски подрайон), юни (Пчинско-краищенски подрайон) и юли (Централен трансграничен подрайон).
- Континенталното влияние върху валежите е най-силно изразено през 70-те години на XX век, докато след 1996 г. се наблюдава засилено влияние на Средиземноморския климат.

## ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

### Влияние на циркулационни фактори за многогодишния ход на валежите

**4.1. Северно атлантическата осцилация (NAO).** През последните 30 години се наблюдава тенденция към преобладаване на позитивните фази на Северноатлантическата осцилация (NAO), с нарастващ положителен индекс, като това обяснява 32% от вариацията на десетгодишните зимни валежи в Европа.

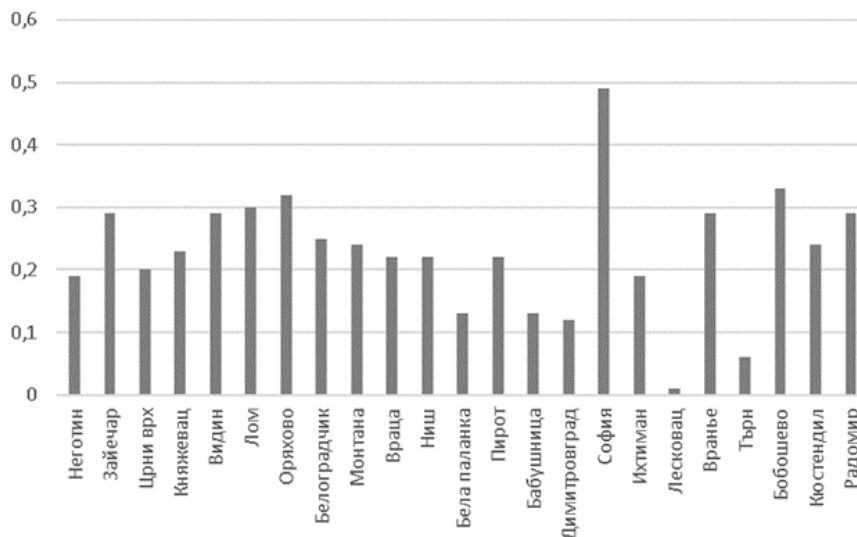
*Годишните стойности.* Анализът на годишните стойности на валежите и влиянието на NAO индексите за периода 1961–2020 г. показва отрицателна корелация в целия изследван район, като стойностите на коефициента варират от -0,41 за станция Бабушница до -0,02 за станция Ихтиман. Най-силното влияние на NAO върху валежите се наблюдава в северната част на района, особено в Долнодунавския и Централния трансграничен

подрайон. Станция Бобошево в Пчинско-краищенски подрайон има сравнително по-висок коефициент на корелация (-0,34) в сравнение с останалите станции в южната част на района.

*Зимни стойности ( $NAOI_{DJFM}$ ).* Анализът на връзката между  $NAOI_{DJFM}$  и зимните валежи в трансграничния район показва предимно отрицателна корелация, като най-силно изразена е в Долнодунавския подрайон. Коефициентът на корелация варира от -0,33 за станция Зайчар до 0,0 за станция Белоградчик. В Централния трансграничен подрайон корелацията варира от -0,25 (ст. Бабушница) до 0,07 (ст. Ихтиман). В Пчинско-краищенския подрайон най-силна отрицателна корелация се наблюдава при ст. Трън (-0,22), докато ст. Радомир не показва значима връзка. Станциите Белоградчик, София и Радомир не корелират със зимния NAO индекс, а София и Ихтиман показват положителна корелация.

*Месечни стойности.* Анализът на месечната корелация с NAOI показва предимно отрицателна връзка през повечето месеци, като тя е най-силна през зимните месеци (януари, февруари и март), особено в Централния трансграничен подрайон и на станции като Неготин, Зайчар, Видин, Княжевац и Лесковац. Положителна корелация се наблюдава основно през летните месеци (юни и юли), както и през април и септември. През август в 11 станции от Долнодунавския подрайон се отчита слаба отрицателна корелация с NAO, което предполага топло и валежно време.

*Влияние на NAO върху концентрацията на валежите.* Корелационният анализ показва, че годишният NAO индекс има най-силна положителна връзка при станцията София (0,49), а най-слаба за станциите Лесковац и Црни връх. През студеното полугодие повечето станции показват положителна връзка с NAOI, с най-силна корелация при станция Трън, докато зимните месеци показват слаба връзка с NAO индекс, като отрицателни корелации се наблюдават при станциите в южната част на територията. (Фиг. 34).



**Фигура 34:** Корелационни коефициенти между годишните стойности на NAOI и PCI

#### **4.2. Западно Средиземноморска осцилация (WeMOI).**

Западносредиземноморската осцилация (WeMOI), определена от вариациите в атмосферното налягане между Падуа и Кадис, влияе върху климатичните условия в Южна Европа, включително България и Сърбия, като променя преобладаващия пренос на въздушни маси. Въз основа на резултати от корелационния анализ са направени изводи за влиянието на WeMOI върху месечните и годишните валежи.

*Годишни стойности.* Анализът на коефициента на корелация между годишните валежи и WeMOI показва слаба отрицателна корелация при повечето станции, като най-силните връзки са в София (-0,26) и Ихтиман (-0,25), докато станция Станция Търн има положителна умерена корелация на WeMOI индекс (0.34), което предполага по-голямо количество валежи поради влиянието на Средиземноморската осцилация.

#### *Коефициент на корелация между месечните валежни суми и WeMOI*

Анализът на месечните валежи в по-голямата част от изследваната територия показва, че коефициентът на корелация с WeMOI е предимно положителен през повечето месеци, като най-силно влияние се наблюдава през декември, януари и април. През тези месеци връзката е умерена до силна (>0.40), докато през останалите месеци тя е по-слаба до умерена, което предполага различна степен на зависимост на валежите от циркулационните процеси, свързани с WeMOI.

### *Изводи*

Северноатлантическата осцилация (NAO) оказва по-силно влияние върху многогодишните изменения и вътрешногодишното разпределение (концентрацията) на валежите в трансграничния район България-Сърбия през зимните месеци, особено в станциите, разположени в северната и централната част на изследваната територия. Анализът на годишните валежи и WeMOI индекса показва противоположни резултати спрямо месечния анализ, като при месечните стойности преобладава положителната корелация през повечето месеци. Отрицателната корелация се наблюдава най-често през юни и септември.

## **Заклучение и изводи**

Повишената променливост в пространственото и времево разпределение на валежите, както и различията в тяхната интензивност и продължителност, водят до екстремни явления като засушавания и наводнения. Промените в режима и пространственото разпределение на валежите, както и проявата нинтензивни валежи и суши могат да засилят негативните ефекти от повишаването на температурата на въздуха и изменението на климата.

Резултатите от настоящата дисертация показват увеличение на променливостта на валежите през периода 1991-2020 г. в сравнение с 1961-1990 г., което е свързано с промените в атмосферната циркулация, а също и с глобалните и регионални климатични изменения, потвърдени от различни автори. При сравнението на вътрешногодишно разпределение на месечните валежи през двата периода (1961-1990 г. и 1991-2020 г.) се установява увеличение на валежите през август, септември и октомври, през втория период, а най-голямото намаление е наблюдавано през летните месеци (май, юни и юли) в северната и централната част на региона.

Анализът показва, че в изследваната територия преобладава плувиялно-континентален тип на валежите, характеризиращ се с два максимума и два минимума – по-изразен летен максимум и по-силно изразен зимен минимум. През периода 1991-2020 г. се наблюдава изместване на валежните екстремуми – летният максимум преминава от юни към май, а вторичните минимуми се изместват към по-късни месеци. Тези промени

свидетелстват за динамични климатични трансформации в региона през последните три десетилетия.

Анализът на РСІ (индекса за годишната концентрация на валежите) показва, че през втория период (1991-2020 г.) валежите стават по-равномерно разпределени през годината в сравнение с първия период (1961-1990 г.). Въпреки че през 1961-1990 г. стойностите на РСІ са по-високи, което показва по-голяма концентрация на валежите в определени месеци, през 1991-2020 г. се наблюдава тенденция за по-равномерно разпределение на валежите, особено през топлите месеци.

Анализът на средните стойности на сезоните валежи показва, че през периода 1991–2020 г. има намаляване на валежите в повечето сезони, като най-голямо намаление е регистрирано през зимата и пролетта в южните и централни части на региона. През същия период се наблюдава и значително увеличение на екстремно сухите месеци, особено, в Долнодунавския и Централния трансграничен подрайон. В същото време, в Пчинско-краищенския и Централния трансграничен подрайон има увеличение на броя на екстремно валежните месеци, с най-значителни промени в ст. София и Ихтиман. Въпреки някои локални увеличения на валежите, тенденцията за по-чести екстремно сухи условия, особено през зимата и пролетта, продължава да се засилва. Относителният дял на станциите с поне един екстремно сух месец, показва, че годините 1989, 2007 и 2012 са най-сухите години през изследвания период 1961-2020 г. За изследвания период, 1961-2020 г., са установени няколко години, които се открояват като изключително валежни, с голямо разпространение на екстремно валежни месеци в различни сезони. Най-валежните години през изследвания период са 1963, 1972, 1985, 2005, 2014, 2018 и 2020. Резултатите от изследванията във връзка с настоящата дисертацията, потвърждават тези на Бочева и Маринова (2023) по отношение на тенденциите в многогодишните изменения на валежите и проявата на най-сухи и най-валежни години.

Периодите с по-висока ерозивност (особено в 2007, 2012, 2014 и 2020 г.) показват че съществува опасност от ерозия, която се свързва с интензивни и чести валежи, оказващи влияние върху динамиката на ерозията в региона. Въпреки наблюдаваното увеличение на ерозивността през последните години, трябва да се подчертае, че много станции в Долнодунавския и Централния трансграничен подрайон се характеризират с негативен тренд на ерозивността на валежите. Анализът на Ангот индекс в трите подрайона показва,

че месеците с най-голяма предразположеност към ерозия са май и юни, като през юни се наблюдава най-ниско ниво на валежната ерозивност.

Изводите от изследването показват, че в бъдеще се очаква климатичната нестабилност да се увеличава, което поставя необходимостта от разработване на нови стратегически подходи за управление на водните ресурси, земеделието и екосистемите. Резултатите подчертават важността на сътрудничеството между България и Сърбия за мониторинг и адаптация към климатичните промени, като се предлагат конкретни мерки за интегрирано управление на трансграничните природни ресурси.

## **ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ**

### **Научни приноси**

Актуализирани и допълнени са резултати от досегашни изследвания на многогодишните изменения и режима на валежите в трансграничния район България–Сърбия. Анализите на валежните характеристики, оценката на континенталността на климата, определена чрез плювиометрични показатели и изследването на връзката между едромасщабни циркулационни процеси (NAO и WeMO) и валежите водят до по-добро разбиране на генезиса на климата и характерните особености на климатичните условия в района.

### **Научно-приложни приноси**

Детайлните анализи на тенденциите в изменението на месечните, сезонните и годишните валежи дават информация, която може да допринесе за прогнозиране на бъдещи климатични условия в района.

Доказаните тенденции към увеличаване на ерозивността на валежите са важна информация за разработване на мерки за предотвратяване на почвени ерозионни процеси.

Данните от дисертацията могат да бъдат полезни при разработване на климатични политики и планове за адаптация.

### **Научно-методологичен принос**

Настоящата дисертация има научно-методологични приноси към регионалните изследвания на изменението на климата чрез приложение на редица индекси (за концентрация и ерозивност на валежите и плювиометрична континенталност) за анализ на валежните характеристики.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

- Попов, Н. **Svetozarevic, J.** 2021. Changes and contemporary trends in the annual amounts of precipitation in Serbia, 2021, Journal of the Bulgarian Geographical Society, Volume 44 (2021) 73–79. DOI: 10.3897/jbgs.e77102
- **Svetozarevic, J.** 2022. Precipitation changes in the hills of the upper Nišava river basin (1961-2020), Пиротски зборник, бр. 47, 119-1322. DOI: 10.5937/pirotzbor2247119S
- **Svetozarevic J.**, Nikolova N. 2021. Seasonal distribution of extreme precipitation months in Northwest Bulgaria. Bulgarian Academy of Sciences Climate, Atmosphere and Water Research Institute, Third conference “Climate, atmosphere, and water resources in the face of climate change”, 14–15 October 2021, Sofia, Bulgaria, ISSN: 2683-0558, vol. 3, 15-23

### Благодарности:

*Изказвам своята искрена и дълбока благодарност на научния си ръководител, проф. д-р Нина Николова, за оказаното доверие, за безценните научни напътствия и за споделянето на своя богат опит, които бяха от съществено значение за развитието и защитата на настоящата дисертация. Изказвам своята специална благодарност и на втория ми научен ръководител, доц. Йелена Лукович от Белградския университет, за нейната неоценима помощ, мъдри съвети и вдъхновяващи идеи, които допринесоха значително за обогатяването на този труд.*

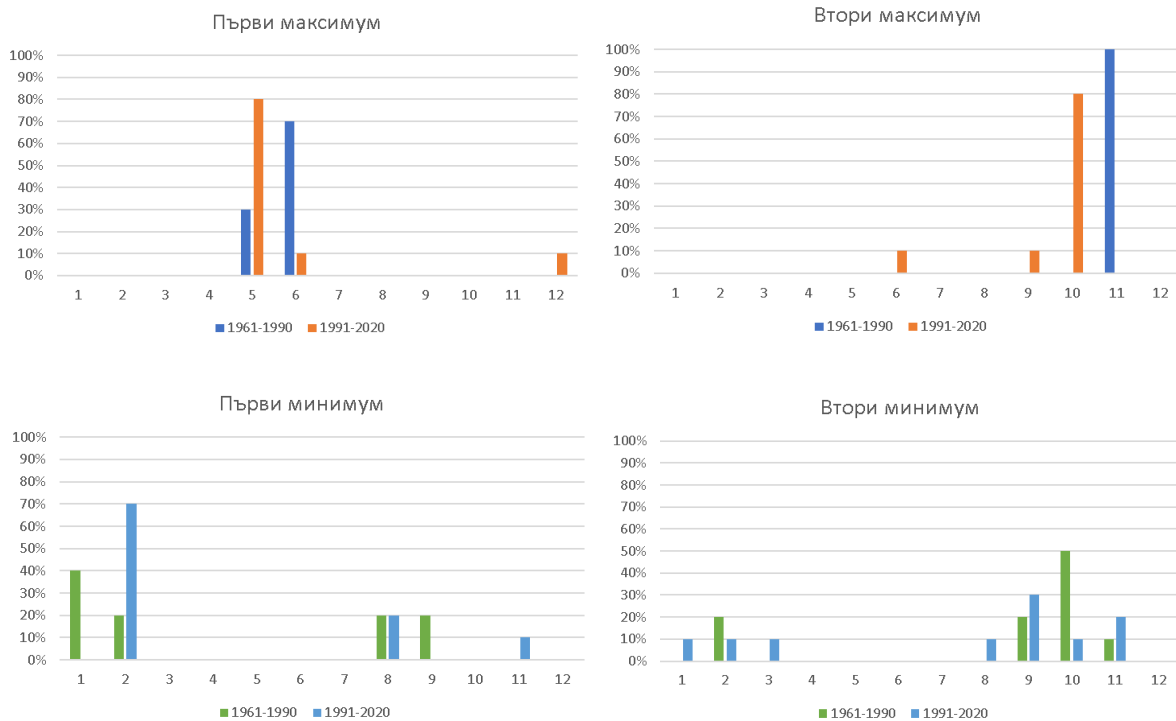
*Специална благодарност изразявам и към гл. ас. д-р Христо Попов и гл. ас. д-р Симеон Матев и цялата катедра за тяхната подкрепа, насърчение и ценните практически съвети, които ми помогнаха да преодоля трудностите по пътя, както и на колежката ми от магистърската програма „Географски информационни системи“ – Надя Петкова, която ме подкрепи с изработката на картите, важна част от този труд.*

*Завършването на дисертацията не би било възможно без помощта на моите приятели и близки, които непрекъснато ме подкрепяха, вярваха в мен и ме вдъхновяваха да продължавам напред в този нелек процес. Накрая, но не на последно място, изказвам своята искрена благодарност на моето семейство за тяхното търпение, разбиране и безусловна подкрепа, които бяха моята опора в най-трудните моменти.*

**Приложение 1:** Списък на метеорологичните станции, използвани в изследването – географски координати и надморска височина

Метеорологични станции	Географска дължина	Географска ширина	Надморска височина
Долнодунавски подрайон			
Неготин	44° 14' n	22° 32' e	42 m
Зайчар	43° 53' n	22° 17' e	144 m
Княжевац	21° 58' n	44° 08' e	263 m
Црни връх	43° 34' n	22° 15' e	1037 m
Белоградчик	43° 99' n	22° 87' e	544 m
Оряхово	43° 83' n	23° 24' e	29 m
Лом	43° 63' n	22° 69' e	32 m
Видин	43° 41' n	23° 22' e	31 m
Враца	43° 21' n	23° 54' e	309 m
Монтана	21° 54' n	43° 20' e	202 m
Централен трансграничен подрайон			
Ниш	43° 13' n	22° 19' e	291 m
Бела паланка	43° 09' n	22° 35' e	370 m
Пирот	43° 04' n	22° 26' e	495 m
Бабушница	43° 01' n	22° 45' e	446 m
Димитровград	42° 70' n	23° 33' e	586 m
София	42° 26' n	23° 49' e	586 m
Ихтиман	21° 57' n	42° 59' e	652 m
Пчинско-краищенски подрайон			
Вранье	21° 55' n	42° 33' e	433 m
Лесковац	22° 39' n	42° 50' e	900 m
Бобошево	22° 59' n	42° 09' e	375 m
Трън	22° 57' n	42° 33' e	747 m
Кюстендил	22° 43' n	42° 16' e	520 m
Радомир	22° 97' n	42° 55' e	704 m

**Приложение 15: Брой (%) на станции с проява на максимум и минимум на валежите в Долнодунавския подрайон за периоди 1961–1990 г. и 1991–2020 г.**



**Приложение 5: Максимален валеж за периода 1961–2020 г. и година на случване**

Метеорологични станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Неготин	112.4 (2019)	225.6 (1986)	137.7 (2018)	191.0 (1961)	185.7 (1980)	196.7 (1969)	191.7 (1970)	187.5 (2005)	304.1 (2014)	208.0 (1972)	245.8 (1985)	175.0 (1990)
Зайчар	105.6 (2016)	153.7 (1986)	140.5 (2018)	147.1 (2014)	209.7 (1980)	158.3 (2020)	204.0 (1986)	169.3 (2005)	167.3 (1972)	149.0 (2003)	167.1 (1985)	128.8 (2014)
Княжевац	125.1 (2016)	117.6 (1986)	141.4 (2018)	133.9 (2014)	163.2 (1961)	153.2 (2020)	171.5 (1970)	165.1 (1975)	199.0 (1972)	135.2 (2003)	189.4 (1985)	130.4 (2017)
Црни връх	100.3 (2004)	99.8 (1986)	99.0 (2009)	213.0 (1961)	253.1 (1961)	378.1 (1969)	213.6 (1982)	246.4 (2018)	185.3 (1972)	187.0 (1972)	147.2 (2004)	177.6 (2008)
Белоградчик	156.0 (1982)	142.0 (1986)	156.0 (1982)	259.0 (2014)	197.1 (2016)	222.4 (2014)	190.8 (2014)	217.6 (1975)	215.4 (2014)	180.5 (2017)	209.0 (1981)	132.0 (1990)
Оряхово	130.0 (1963)	81.8 (2018)	130.0 (1984)	134.7 (2014)	140.5 (2014)	134.0 (1979)	125.3 (2011)	168.8 (2005)	127.0 (1996)	166.0 (1972)	156.0 (1985)	112.1 (2014)
Лом	118.0 (1963)	142.0 (1986)	121.0 (2018)	143.0 (1999)	165.0 (1980)	174.0 (1983)	198.0 (1999)	223.0 (2005)	126.0 (1996)	164.0 (1972)	159.0 (1985)	115.0 (1990)
Видин	126.0 (1963)	155.0 (1986)	135.0 (2018)	113.0 (1987)	191.0 (1980)	183.0 (1969)	204.0 (1970)	175.0 (2005)	127.0 (1972,2014)	184.0 (1972)	179.0 (1985)	143.0 (1990)
Враца	140.0 (1963)	113.9 (2018)	147.0 (1978)	187.0 (2014)	285.0 (1970)	234.0 (1992)	223.8 (2005)	296.6 (2005)	289.9 (2014)	154.0 (1972)	133.9 (2007)	141.0 (1981)
Монтана	154.0 (1963)	106.2 (1986)	104.3 (2016)	134.1 (2014)	194.8 (1980)	217.6 (1983)	178.4 (1999)	288.3 (2005)	160.2 (2014)	143.1 (2007)	139.7 (1985)	102.6 (1990)
Ниш	101.3 (2016)	92.6 (1969)	153.9 (2018)	133.4 (2001)	177.1 (2014)	206.1 (1969)	142.5 (1986)	116.7 (1979)	201.1 (1996)	131.7 (2007)	179.1 (1985)	142.3 (2017)
Бела Паланка	125.4 (1963)	103.5 (2010)	163.4 (2018)	138.5 (2001)	166.6 (1980)	233.2 (2020)	163.1 (1970)	133.4 (2002)	190.4 (1996)	173.1 (2020)	164.0 (2007)	152.1 (2017)
Пирот	119.5 (1963)	83.6 (1970)	133.0 (2020)	124.6 (2014)	174.3 (2012)	206.6 (1988)	188.7 (1967)	202.3 (2005)	188.7 (1972)	125.2 (1972)	181.5 (1985)	132.6 (1990)
Бабушница	182.7 (1963)	114.9 (2010)	162.3 (2020)	140.3 (2014)	165.0 (1961)	170.5 (1988)	161.5 (1991)	210.9 (2002)	195.1 (1996)	127.9 (1972)	183.4 (2007)	138.1 (1996)
Димитровград	137.3 (1963)	101.4 (1969)	138.4 (2020)	145.8 (2014)	169.0 (2012)	195.2 (1969)	152.5 (1992)	168.3 (2005)	174.3 (1996)	126.5 (1972)	148.2 (1985)	119.6 (2017)
София	90.7 (1963)	85.0 (1970)	113.0 (2015)	151.0 (2014)	148.0 (2014)	168.7 (1983)	239.2 (1976)	191.0 (2005)	198.0 (2014)	153.7 (1972)	98.0 (2007)	105.0 (2010)

Ихтиман	90.7 (1981)	85.1 (1986)	130.0 (2015)	149.3 (2014)	153.5 (2007)	231.0 (2018)	163.7 (2018)	423.5 (2005)	268.8 (2014)	106.0 (1972)	108.0 (1968)	112.9 (1990)
Вранье	109.8 (2003)	107.5 (2013)	121.2 (1962)	161.8 (2014)	143.8 (1980)	156.3 (1983)	130.8 (1994)	146.6 (2005)	203.6 (1972)	144.5 (2015)	155.1 (1962)	134.9 (2017)
Лесковац	112.3 (1995)	96.1 (2010)	131.6 (2018)	185.3 (2014)	144.3 (1980)	178.5 (1969)	126.0 (1976)	147.6 (2002)	186.0 (1996)	129.3 (2003)	158.4 (2007)	140.2 (2017)
Бобошево	121.0 (2009)	116.0 (2013)	129.0 (1962)	128.0 (2014)	142.0 (1980)	140.0 (1983)	145.0 (1976)	153.0 (2020)	153.0 (1996)	151.0 (1972)	172.0 (1985)	181.0 (1990)
Трън	138.0 (1963)	93.0 (1970)	143.2 (2020)	144.7 (2014)	157.0 (1976)	200.1 (1983)	170.0 (1976)	142.2 (2005)	186.0 (1972)	127.3 (2007)	128.3 (2007)	123.2 (1990)
Кюстендил	120.0 (1966)	157.0 (1986)	132.0 (2020)	140.0 (2014)	114.0 (1961)	130.0 (1992)	204.0 (1976)	104.0 (2002)	160.0 (1972)	141.0 (2015)	175.0 (1985)	187.0 (1990)
Радомир	142.0 (1963)	103.0 (1969)	105.0 (1971)	126.8 (2014)	171.0 (1974)	192.0 (1975)	189.0 (1976)	202.0 (1979)	179.2 (2014)	140.0 (1972)	157.8 (1985)	152.3 (1990)

## ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ

Декларирам, че настоящият дисертационен труд на тема „Пространствено-времени параметри на валежите в трансграничния район България–Сърбия“ за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ е самостоятелно и оригинално авторско произведение, а използваните източници на научна и емпирична информация са коректно документирани и цитирани съгласно действащите в Република България стандарти.

Гарантирам, че:

1. Признаването на чуждо авторство на използваните текстове, таблици, схеми, графики, изображения и други е обозначено според утвърдения в научната област академичен стил на цитиране.

2. Библиографският списък в края на дисертационния труд включва всички цитирани и използвани печатни и електронни източници по темата.

С настоящата декларация удостоверявам, че съм запознат с правилата в Етичния кодекс на академичната общност на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ за зачитане на авторството, чуждите приноси и коректното цитиране и за недопустимостта на плагиатство.

30 януари 2025 г.

София, България

Йелена Светозаревич