



ლევან ალფაიძე

თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურის ეკოსისტემების სერვისების  
შეფასება  
(თბილისის საქალაქო საჯარო პარკების მაგალითზე)

წარდგენილია ურბანისტიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი იოსებ სალუქვაძე

2022 წელი  
თბილისი

## მადლიერება

მინდა უღრმესი მადლობა გადავუხადო ჩემი დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, გეოგრაფიის დოქტორს, პროფესორ იოსებ სალუქვაძეს, სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების ყველა ეტაპზე გაწეული დახმარებისათვის.

ასევე მინდა გადავუხადო უღრმესი მადლობა ლისაბონის უნივერსიტეტის არქიტექტურის დოქტორს, პროფესორ ანტონიო კასტელბრანკოს, მიუნხენის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის პროფესორს, ლანდშაფტის დიზაინის კათედრის გამგეს, დოქტორ შტეფან პაულაიტს და იტალიის ეროვნული კვლევითი საბჭოს მკვლევარს, დოქტორ როკო პაჩეს, სადისერტაციო ნაშრომის პრობლემატიკის ჩამოყალიბებასა და კვლევის მეთოდების შერჩევაში დახმარებისთვის. განსაკუთრებით მადლობას ვუხდის ბიოლოგებს, გრიგოლ დეისაძეს და მამუკა მირცხულავას, საველე სამუშაოების დაგეგმვასა და წარმოებაში დახმარებისათვის და გეოგრაფიის მაგისტრს, გიორგი კირკიტაძეს, კარტოგრაფიული მასალისა და მონაცემთა ორგანიზებაში გაწეული დახმარებისათვის.

მინდა დიდი მადლიერება გაგამოვხატო გიორგი გველესიანის, ლევან გოგსაძის, თემურ უსტიაშვილის, გიორგი თავდიშვილისა და კომპანია „ჯი თი გრუპის“ თანამშრომლების მიმართ, იმ თანადგომისა და კეთილგანწყობისთვის, რომლებსაც ისინი ჩემდამი ავლენდნენ სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობის პერიოდში. მათი მხარდაჭერის გარეშე, ვერ შევძლებდი კვლევის ჩატარებასა და ნაშრომის დასრულებას.

დიდი მადლობა მინდა გადავუხადო საქართველოს შოთა რუსთაველის სამეცნიერო ფონდს და მის ხელმძღვანელობას. რუსთაველის კვლევითი გრანტის გარეშე, შეუძლებელი იქნებოდა იმ ცოდნისა და გამოცდილების შეძენა, საველე და სხვა სამუშაოების ჩატარება, რომელიც მხოლოდ კვლევითი გრანტის დახმარებით გახდა შესაძლებელი.

მადლიერება მინდა გამოვხატო თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის სოციალური და პოლიტიკური მეცნიერებების საზოგადოებრივი გეოგრაფიის სპეციალობის ფაკულტეტის პროფესორ-მასწავლებლებისადმი, კვლევისა და სწავლის დროს ჩემი მხარდაჭერისათვის და საზოგადოებრივი გეოგრაფიის სპეციალობის, 2018-2019 წლის ბაკალავრიატის და სამაგისტრო საფეხურების სტუდენტებისადმი, რომლებიც აქტიურად იყვნენ ჩართულნი საველე სამუშაოებში.

ასევე დიდ მადლობას ვუხდის ჩემი ოჯახის წევრებს, მეუღლეს ნინოს და შვილებს, ელისაბედსა და დავითს, სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობისას ჩემი სრული მხარდაჭერისათვის.

## სარჩევი

შესავალი .....	11
<b>თავი 1. კვლევის კონცეპტუალური ჩარჩო და ლიტერატურის მიმოხილვა.....</b>	<b>15</b>
1.1. კონცეპტუალური ჩარჩო.....	15
1.2. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	21
<b>თავი 2. ურბანიზაცია და ქალაქების ეკოლოგია .....</b>	<b>33</b>
2.1. ქალაქის ეკოსისტემების მნიშვნელობა ურბანულ სივრცეში.....	33
2.2. ურბანული ეკოსისტემების სერვისები და მწვანე ინფრასტრუქტურა.....	37
<b>თავი 3. კვლევის მეთოდები და მონაცემები.....</b>	<b>42</b>
3.1. ძირითადი ცნებებისა და ტერმინების განმარტება.....	42
3.2. კვლევის შედეგების სამეცნიერო ღირებულება და პრაქტიკული გამოყენება.....	50
3.3. კვლევითი მოდელი .....	55
3.4. სავსე სამუშაო და კვლევის მოდელის თავისებურებები .....	56
3.5. კვლევის ინტერდიციპლინური ხასიათი და მისი სამეცნიერო სივრცე .....	58
<b>თავი 4. საკვლევი ტერიტორია .....</b>	<b>60</b>
4.1. ქ. თბილისის მწვანე სივრცეები.....	60
4.2. თბილისის ურბანული მწვანე დაგეგმარება: ისტორია და გამოცდილება.....	66
4.3. საკვლევი ტერიტორიის აღწერა .....	72
4.4. საკვლევი ტერიტორიები: თბილისის ორი ურბანული პარკი .....	78
4.5. საკვლევი ხეები პარკების ტერიტორიებზე.....	79
<b>თავი 5. კვლევის შედეგები .....</b>	<b>80</b>
5.1. კლიმატური და ჰაერის დაბინძურების მონაცემები .....	80
5.2. თბილისის ორი პარკის ურბანული ტყეების აღწერა .....	87
5.3. ხეების მიერ ნახშირბადის ატმოსფეროდან შთანთქმა (სეკვერსტრირება) და დაგროვება (შენახვა) .....	89

5.4. სათბურის გაზების დაგროვება და მათი გავლენა გლობალურ დათბობაზე .....	91
5.5. ნახშირბადის შთანთქმა და დაგროვება „წითელ ბაღში“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში .....	94
5.6. ჰაერიდან დამაბინძურებლების შთანთქმა .....	97
5.7. ურბანული პარკების ხეების ჰიდროლოგიური ეფექტები .....	102
<b>თავი 6. სადისკუსიო საკითხები .....</b>	<b>108</b>
6.1. ურბანული ტყის სტრუქტურა და ეკოსისტემების სერვისებით უზრუნველყოფა.....	108
6.2. თბილისის ურბანული ტყეების მნიშვნელობა და როლი .....	114
6.3. თბილისში ეკოსისტემების სერვისების პოტენციური მოცულობა და მათი შეფასება .....	120
6.4. თბილისში ახალი მწვანე სივრცეების განვითარების პერსპექტივები .....	131
დასკვნები .....	143
გამოყენებული ლიტერატურა .....	149

## აბსტრაქტი

მსხვილ ქალაქებში, მწვანე სივრცეების, პარკებისა და ზოგადად, ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის სასიკეთო დანიშნულება საყოველთაოდ არის ცნობილი. ხეები ჰაერიდან შთანთქამენ მავნე აირებს, ზეგავლენას ახდენენ ჰაერის ტემპერატურის რეგულირებაზე, ხელს უწყობენ ქალაქებში ბიომრავალფეროვნებისა და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას. მაგრამ კითხვები, თუ რამდენად სასარგებლოა პარკები და მწვანე სივრცეები ქალაქისათვის? რამდენად მყარია სამეცნიერო არგუმენტები მათი სარგებელის შესახებ, ან ურბანული ეკოსისტემების რა მოცულობისა თუ ღირებულების სერვისებზეა საუბარი, კვლავ კითხვებად რჩება.

კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენდა დაგვედგინა თუ რა ტიპის ეკოსისტემურ სერვისებს სთავაზობენ ქალაქს ურბანული პარკები, გამოგვეთვალა მათი მოცულობა, შეგვეფასებინა ისინი და დაგვედგინა მათი როლი ქალაქის გარემოს დაცვისა და ეკოლოგიური სტატუსის გაუმჯობესებაში.

კვლევა ჩატარდა აშშ-ს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს სატყეო სააგენტოს მიერ შემოთავაზებული მეთოდით, i-Tree Eco-ს და i-Tree Canopy-ის მოდელების გამოყენებით, 2018 წლის ზაფხულში და 2021 წლის შემოდგომაზე. შესწავლილ იქნა თბილისის ორი პარკის და ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეულის მიერ ქალაქისათვის მიწოდებული ეკოსისტემების სერვისები, აღიწერა მათი მოცულობა, ამ სერვისების მასშტაბი და მათი შესაძლო ღირებულება. i-Tree Eco მეთოდის გამოყენებით ურბანული ეკოსისტემების სერვისების სანეცნიერო კვლევა პირველად ჩატარდა სამხრეთ კავკასიაში.

კვლევის შედეგად დადგინდა რომ თბილისი ორი ურბანული პარკის, „წითელი ბაღის“ (3.2 ჰა) და „ექსპო-ჯორჯიას პარკის“ (3.3 ჰა) და ვაკის სასაფლაოს (17 ჰა) ხე-მცენარეული ქალაქს რიგ მნიშვნელოვან ეკოსისტემურ სერვისებს აწვდიან: აღნიშნული მწვანე სივრცეები ყოველწლიურად ჰაერიდან შთანთქავენ (სეკვესტრაციას უკეთებენ) დიდი რაოდენობით ნახშირბადს, „წითელი ბაღი“ – 4.7 ტონას, „ექსპო-ჯორჯიას პარკი“ – 4.6 ტონას და ვაკის სასაფლაოს მცენარეული - 36.2 ტონას; მწვანე ნარგავები და ხეები სხეულში ინახავენ (აფიქსირებენ) დიდი რაოდენობით ნახშირბადს: „წითელი ბაღი“ – 126.5 ტონას, „ექსპო-ჯორჯიას პარკი“ – 198.4 ტონას და ვაკის სასაფლაოს მცენარეული - 909.57 ტონას; ჰაერიდან ყოველწლიურად შთანთქამენ სხვადასხვა მავნე აირსა და წვრილ, მყარ ნაწილაკებს (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub>): ჯამურად, 119.6 კგ-ს „ექსპო-ჯორჯიას პარკი“, 90.3 კგ - „წითელი ბაღი“ და 961.27 კგ - ვაკის სასაფლაოს მცენარეული.

კვლევისას შევადარეთ სხვადასხვა ეკოსისტემის მიერ მოწოდებული სერვისები მოცულობები ორ ურბანულ პარკსა და ერთი სასაფლაოზე; განვახორციელეთ მიღებული შედეგების ექსტრაპოლაცია თბილისი 19 ურბანულ პარკზე (ჯამური ფართობი: 590.18 ჰა), თბილისი 21 მსხვილ სასაფლაოს მცენარეულზე (სულ ფართობი: 517.07 ჰა) და თბილისში არსებული ე.წ. „ბრაუნფილდების“ ტერიტორიებზე ( სულ 800 ჰა-მდე, მათი გამწვანების შემთხვევაში), ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურის ეკოსისტემების ჯამური პოტენციალის დასადგენად.

კვლევის შედეგებით დადგინდა რომ თბილისი მწვანე ურბანული ინფრასტრუქტურას (პარკებისა და სასაფლაოების მცენარეული) ეკოსისტემური სერვისების მიწოდების დიდი პოტენციალი აქვს და დიდი როლს თამაშობს ქალაქისათვის კრიტიკულად აუცილებელი ეკოლოგიური სერვისების მიწოდების საქმეში. კერძოდ, ქალაქის შესწავლილ მწვანე სივრცეები ყოველწლიურად ჰაერიდან შთანთქამენ 2,000 ტ-მდე ნახშირბადს, ხეები ბოჭკოვან სხეულში ინახავენ (აფიქსირებენ) 55,000 ტ-მდე ნახშირბადს, ჰაერიდან შთანთქამენ 43 ტ-მდე მავნე აირსა და მყარ ნაწილაკებს და აორთქლებენ და შეისრუტავენ 43,000 მ<sup>3</sup>-მდე ზედაპირული

ნიაღვრულ წყლებს. დაახლოებითი დაანგარიშებით და მსოფლიოში დღეს არსებული ფასებით, ჩამოთვლილი ეკოსოსიტემური სერვისების ჯამური ღირებულება \$ 10 მილიონ აშშ დოლარს აღემატება, რაც ხაზს უსვამს მათ ფუნქციებსა და როლს, როგორც ქალაქის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებაში, ისე - მათ მნიშვნელობას, ურბანული დაგეგმარებისა და ურბანული პოლიტიკის სწორად წარმართვის საქმეში.

### **Abstract**

Author: Levan Alpaidze, PhD student, Urban studies, Tbilisi State University

The beneficial features of green spaces, urban parks and generally, of green infrastructure in big cities, is well acknowledged. Trees absorb pollutants from the air, affect the temperature regulation, support biodiversity and maintain the ecological equilibrium in urban areas. Nevertheless, the questions of how beneficial are the parks and green spaces and what are the volumes of ecosystem services, provided by urban parks, are still partially answered.

The aim of this study was to find out what types of ecosystem services do the urban parks and other green urban infrastructure provide to the city; evaluate the volumes of those services, and identify the roles, the ecosystem services play, in the improvement of environmental and ecological status of the city. The study aimed to quantify the air quality and climate-related ecosystem services of two public parks and the green cover of one cemetery, in Tbilisi, and the assess the role of urban forests in improving the environmental quality of the city.

The analysis has been carried out, using as research method, the i-Tree Eco model, which for the first time has been applied in the scientific study of urban ecosystem services in South Caucasus.

The study of two urban parks and one cemetery, in Tbilisi had been conducted in 2018 and 2021, using the modelling platforms i-Tree Eco and i-Tree Canopy, of USDA federal Forest Service.

The research revealed that the green infrastructure of two urban parks of Tbilisi (“Red park” and “Expo Georgia” park) and the Vake cemetery, provide city with number of important ecosystem

cervices: Annually, those spaces store big amounts of carbon in the woody tissue of trees (126.5 t in “Red Park”, 198.4 t in “Expo Georgia” park and 909.57 t at Vake cemetery); sequester carbon from the atmosphere (4.6 tons in “Expo Georgia” park, 4.7 tons – in “Red Park” and 36.2 tons at Vake cemetery); absorb big amounts of various pollutants and particulates from the air (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) - 119.6 kg (“Expo Georgia “park), 90.3 kg (“Red Park”) and 961.27 kg (“Vake cemetery”).

Study had compared the volumes of various ecosystem services, provided by the green cover of two urban parks and one cemetery; extrapolated the obtained results for 19 urban parks (with total area: 590.18 he), 21 urban cemeteries (total area of 517.07 he) and for existing Brownfields (former industrial sites with area of approx.. 800 he) of Tbilisi (in case of their “green conversion”), for evaluating the approximate potential of gross ecosystems services of the green infrastructure of Tbilisi.

Study results showed that the green infrastructure of Tbilisi’s urban parks and cemeteries have substantial potential of ecosystem services, contributing to crucial ecological services of carbon sequestration of approx. 2,000 tons of carbon/annually, and storage of approx. 55,000 tons of carbon, air pollution removal - totally 43 tons of gaseous and particulate pollutants and avoided runoff, over 43,000 m<sup>3</sup> of water. With approximate evaluations, based on the current international prices for listed ecosystems services, their aggregated value exceeded \$ 10 million US, what emphasizes the importance and the role, these ecosystem services could and should play in urban planning and in informing various urban policies.

### **ცხრილების, გრაფიკებისა და სხვა ილუსტრაციების ჩამონათვალი**

**ცხრილი 1.** DPSIR-ჩარჩო (“მამოძრავებელი ძალა-ზეწოლა-მდგომარეობა-ზემოქმედება-პასუხი) კავშირებზე ადამიანის საქმიანობასა და მწვანე ინფრასტრუქტურის ფუნქციონირებას შორის (გვ. 16)

**ცხრილი 2.** ეკოსისტემების სერვისებისა და ფუნქციების კლასიფიკაცია (გვ. 27)

**ცხრილი 3.** 2013 წლამდე. სამეცნიერო ჟურნალები, რომლებშიც 2013 წლამდე გამოქვეყნდა სამეცნიერო სტატიები ურბანულ ეკოსისტემებზე (გვ.30)

**ცხრილი 4.** ატმოსფერული ნალექები თბილისში. ნალექების რაოდენობა თბილისში თვეების მიხედვით, მმ (ცხრილი შედგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრო-მეტეოროლოგიური ინსტიტუტის 1995 წლის კვლევის მონაცემების თანახმად), წყარო: მუნიციპალიტეტის საკრებულოს დადგენილება „დედაქალაქის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის დამტკიცების შესახებ“ (გვ. 75)



**ცხრილი 5.** „წითელი ბაღის“ დომინანტური ხეების სახეობები: მათი რაოდენობა, ვარჯის ფართობი, ფოთლოვანი საფარველის ფართობი და ხეების განივკვეთის ფართობი <sup>1</sup> მეტი ან ტოლი 1%, 300 მ<sup>2</sup>, 1000 მ<sup>2</sup>, და 0.3 მ<sup>2</sup> (გვ. 87)

**ცხრილი 6.** „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის დომინანტური ხეების სახეობები: მათი რაოდენობა, ვარჯის ფართობი, ფოთლოვანი საფარველის ფართობი და ხეების განივკვეთის ფართობი მეტი ან ტოლი 1%, 300 მ<sup>2</sup>, 1000 მ<sup>2</sup>, და 0.3 მ<sup>2</sup> (გვ. 88).

**ცხრილი 7.** ძირითადი სათბურის გაზების გავლენა დედამიწის გლობალურ დათბობაზე (გვ. 92).

**ცხრილი 8.** ურბანული ეკოსისტემების სერვისები: ჰაერიდან ნახშირბადის სეკვესტრაციის, მისი დაგროვებისა და ჰაერიდან მავნე ნივთიერებების ( CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, და SO<sub>2</sub> -ის) შთანთქმის მონაცემების შედარება მსოფლიოს სხვადასხვა ქალაქში (გვ. 96).

**ცხრილი 9.** ნახშირბადის აკუმულირება და სეკვესტრირება ბუნებრივ და ურბანულ (ხელოვნურ) პარკებში (ბორჯომის სახელმწ. ნაკრძალი, „ექსპო ჯორჯიას პარკი“ და „წითელი ბაღი“) (გვ. 96).

**ცხრილი 10.** ხეების დომინანტური სახეობების ეკოსისტემების სერვისების შედეგები ხის სახეობების მიხედვით „წითელ ბაღს“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში. [\*\*- „ექსპო ჯორჯია“ პარკი, \* - „წითელი ბაღი“; R=რეკომენდირებული, P=პრიორიტეტული] (გვ. 113).

**ცხრილი 11.** ნახშირბადის შთანთქმა (სეკვესტრირება) ატმოსფეროდან „წითელი ბაღისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკების პარკების ხეების მიერ (გვ.118).

**ცხრილი 12.** ქ. თბილისის მსხვილი ურბანული პარკებისა და ბრაუნფილდების ეკოსისტემების სერვისების პოტენციალი, რაოდენობა და მონეტარული შეფასება (ექსტრაპოლაცია, „ექსპო ჯორჯია პარკისა“ და „წითელი ბაღის“ კვლევის შედეგების გამოყენებით), თითოეული ეკოსისტემის სერვისის გასაშუალოებული მონაცემის საფუძველზე (გვ. 122).

**ცხრილი 13.** ნახშირორანგის წლიური შთანთქმა თბილისის 19 ურბანულ პარკში და „ბრაინფილდების“ პოტენციურ, 800-ზე ჰა გამწვანებულ ტერიტორიებზე (ემისიის შესაბამისი რაოდენობების შედარება სხვადასხვა დარგებში) (გვ. 125).

**ცხრილი 14.** სათბურის გაზების მთლიანი ემისია საქართველოში. წყაროები: საქართველოში სათბურის გაზების ეროვნული ინვენტარიზაციის ანგარიში 1990-2015 (2019); (გვ. 125).

**ცხრილი 15.** შერჩეული პარკების მიერ ატმოსფერული ჰაერიდან ნახშირორანგის, ჰაერის დამაბინძურებლების შთანთქმა და თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების მოცულობა, გაანგარიშებული თბილისის შერჩეული ცხრამეტი პარკის ხე-მცენარეებისთვის (ექსტრაპოლაცია), შეფასება (აშშ-ს პარკების შეფასების კრიტერიუმების და ღირებულების გამოყენებით) (გვ. 128).

**ცხრილი 16.** ქ. თბილისის ვაკის საქალაქო სასაფლაოს ტერიტორიის განაწილება ზედაპირის მიხედვით (საკვლევი ტერიტორია, google map-ზე შერჩეული პოლიგონი, რომელიც მთლიანად მოიცავს ვაკის სასაფლაოს ტერიტორიას) (გვ. 137).

**ცხრილი 17.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნახშირბადის სეკვესტრაცია და დაგროვება) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით, 2021. (გვ. 138).

<sup>1</sup> განივკვეთის ფართობი - კორომის (ხევნარის) ხეის ღეროების 1.3 მეტრ სიმაღლეზე განივკვეთის ფართობების ჯამი ფართობის ერთ ერთეულზე.

**ცხრილი 18.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნიაღვრული წყლების შთანთქმა-შეკავება და თავიდან აცილება, ევაპოტრანსპირაცია) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით (გვ. 139).

**ცხრილი 19.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნიაღვრული წყლების შთანთქმა-შეკავება, თავიდან აცილება და ევაპოტრანსპირაცია) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით (გვ. 139).

**ცხრილი 20.** თბილისის ძირითადი სასაფლაოები და მათი ფართობები (შედგენილია [www.tas.ge](http://www.tas.ge) -ის თბილისის მუნიციპალიტეტის ინტერაქტიული რუკის გამოყენებით). (გვ. 140).

**ცხრილი 21.** ხეების მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების შედარება თბილისის ორ პარკში („წითელი ბაღი“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკი), თბილისის ვაკის სასაფლაოს მწვანე საფარის მიერ გაწეული სერვისებისებთან (გვ. 141).

**ნახატი A.** ეკოსისტემების სერვისები, მოწოდებული ურბანული ხე-მცენარეების მიერ (გვ. 40).

**ნახატი 1.** ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ შედგენილი თბილისის გეგმა (დატანილია არაბული რიცხვები, შავ-თეთრი რუკა), მე-18 საუკუნის 30-იანი წლები. წყარო: თბილისი, საქართველოს ეროვნული ბოტანიკური ბაღის ვებსაიტი: <https://www.gegma.ge/#>, (გვ. 67)

**ნახატი 2.** ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ შედგენილი თბილისის გეგმა (რუსულად, რედაქტირებული, დატანილია არაბული რიცხვები, ყვითელ ფურცელზე, რუკა), XVIII საუკუნის 30-იანი წლები (გვ. 68).

**ნახატი 3.** სოლოლაკის უბნის (რუკაზე იხ. Sololaki 1) მწვანე საფარი მე-19 საუკუნის 60-იან წლებში. თბილისი. „სამი ბაღი-ჰეტეროტოპია - სოლოლაკის ბაღები, ორთაჭალის ბაღები და ალექსანდრეს ბაღი გოლოვინის გამზირზე. 1867 წლის რუკა. თბილისი (Three Garden Heterotopias) (1867 Tbilisi Map)“ (რუკა ამოღებულია პოლ მენინგის, 2019 წლის ლექციის მასალებიდან), ბაღები მონიშნულია მწვანე ხაზებით (გვ. 69).

**ნახატი 4.** ნალექების რაოდენობა თბილისის სხვადასხვა უბანში, წელიწადის თვეების მიხედვით (შედგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრო-მეტეოროლოგიური ინსტიტუტის 1995 წლის კვლევის მონაცემების მიხედვით) (გვ. 76).

**ნახატი 5.** ვასო გომიაშვილის („წითელი ბაღი“) და ექსპო-ჯორჯიას პარკები, თბილისი, აეროფოტოს საფუმველზე (ავტორები: გიორგი კირკიტაძე და ლევან ალფაიძე, 2020) (გვ. 78).

**ნახატი 6.** კლიმატის მონაცემები, გამოყენებული მოდელის სიმულაციისთვის, თბილისი 2018 წელი. ზემოდან ქვემოთ: დღიური საშუალო ფოტოსინთეზური აქტიური რადიაცია (ფარ-ი - Photosynthetically Active Radiation (PAR) - ფოტოსინთეზისათვის საჭირო სხივების რაოდენობა 80-710 ნანომეტრი (ნმ) სიგრძის ტალღების დიაპაზონში), დღიური საშუალო ტემპერატურა, და საშუალო ნალექების რაოდენობა თვეების მიხედვით (გვ. 81).

**ნახატი 7.** ჰაერის დამაბინძურებლების, CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub>-ის დღიური საშუალო კონცენტრაცია თბილისში (2018) (გვ. 86).

**ნახატი 8.** ხეების სახეობები რომლებიც აგროვებენ (Carbon storage) და შთანთქავენ ატმოსფეროდან (სეკვესტრაცია - Carbon sequestration) ყველაზე მეტ ნახშირბადს „წითელ ბაღსა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში (გვ. 95).

**ნახატი 9.** ჰაერიდან მავნე ნივთიერებების (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, და SO<sub>2</sub>) შთანთქმა, თვეების მიხედვით, „წითელი პარკისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების მიერ, 2018 (გვ. 101).

**ნახატი 10.** თბილისში „წითელი პარკისა“, „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების მიერ ატმო-სფეროში გაშვებული აქროლადი ორგანული ნივთიერებები, იზოპრენი და მონოტერპენი (გვ. 102).

**ნახატი 11.** „წითელი ბადის“ და „ექსპო ჯორჯის“ პარკის ხეების მიერ აორთქლებული და თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლის მოცულობები თვეების მიხედვით, თბილისი, 2018 წელი (გვ. 105).

**ნახატი 12.** თბილისში არსებული ძირითადი „ბრაუნფილდების“ მდებარეობა (წითლად შემოსაზღვრულია ბრაუნფილდების ტერიტორიები). მარჯვენა სურათზე, ბრაუნფილდებთან ერთად, დატანილია თბილისში არსებული რკინიგზის მთავარი მაგისტრალები (ყვითელი ხაზი). წყარო: რუკები აღებულია ჯონ ბეროუზის მიერ ჩატარებული კვლევიდან „ყოფილი საწარმოო ტერიტორიები („ბრაუნფილდები“) თბილისში“, კვლევა მომზადებულია თბილისის მუნიციპალიტეტის დაკვეთით და მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით, 2017 წელი) (ჯ. ბეროუზი, 2017) (გვ. 132).

**ნახატი 13.** ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეული საფარველის მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების დანგარიშება i-Tree Canopy-ის მეთოდით (შემთხვევითი/პროგრამული შერჩევა პოლიგონზე, შერჩევის 555 წერტილი (გვ. 139).

## შესავალი

*თემის აქტუალობა.* ურბანიზაცია გლობალური მასშტაბის მიმდინარე პროცესია, რომელსაც ადამიანებისთვის სხვადასხვა შესაძლებლობები და საფრთხეები მოაქვს - ერთის მხრივ, იგი ქალაქების მოსახლეობას მრავალფეროვან სამუშაოსა და სერვისებს სთავაზობს, მეორე მხრივ კი, ქალაქებისა და მისი მოსახლეობის ზრდა, კითხვის ქვეშ აყენებს ურბანული დასახლებებში ცხოვრების, შრომის, ჯანმრთელობის დაცვის, ეკოლოგიური მდგომარეობის და ზოგადად, ქალაქების მდგრადი განვითარების საკითხებს.

დღეს, დედამიწელთა უმეტესობა (55%), ურბანულ სივრცეებში ცხოვრობს. გაეროს მონაცემებით, 2050 წელს, დედამიწის მოსახლეობის ორი მესამედი ქალაქის მცხოვრები იქნება (United Nations, 2019). მიმდინარე სწარავი ურბანიზაციის პირობებში აქტუალური ხდება ადამიანისა და ბუნების ურთიერთქმედების თავისებურებების სწორი აღქმა და შეფასება, განსაკუთრებით ურბანულ გარემოში, სადაც ადამიანის ბუნებაზე ზემოქმედების ინტენსივობა მაქსიმალურია (Unterweger et al. 2017).

ამ რთულ პროცესს, რომელიც ადამიანს, მის საცხოვრებელ სივრცესა და ბუნებრივ გარემოს მოიცავს, ჭირდება სწორი გაგება და მართვა. აუცილებელია ადამიანის საცხოვრებელ და სამოქმედო სივრცეში, გაწონასწორებულ იქნას ამ სივრცის შემადგენელი, მჭიდროდ ურთიერთდამოკიდებული ფაქტორების სოციალური,

ეკონომიური, კულტურული და ეკოლოგიური მახასიათებლები, ამ გარემოს მდგრადობის შესანარჩუნებლად (Beatley, 2009). მე-19 საუკუნეში დაწყებული ინდუსტრიული რევოლუციის შედეგად, პლანეტარული მასშტაბით, ადამიანის ეკონომიკური აქტივობის ზრდამ და ინტენსიფიკაციამ დედამიწა შეცვალა. 1820-დან 2003 წლამდე მსოფლიოს მთლიანი შიდა პროდუქტი 8.5-ჯერ გაიზარდა (Clark, 2009), ხოლო მოსახლეობა - 6.5-ჯერ; ეკონომიკურმა ზრდამ, შედეგად, მოსახლეობის ცხოვრების სტანდარტების საგრძნობი გაუმჯობესება მოიტანა, თუმცა ეკონომიკურ და სოციალურ განვითარებას თავისი საფასურიც მოჰყვა - გაუარესდა ადამიანის გარშემო არსებული ბუნებრივი გარემო და გაიზარდა კონკურენცია სხვადასხვა რესურსებისათვის. საფრთხის ქვეშ დადგა დედამიწაზე სიცოცხლის მხარდამჭერი გლობალური ეკოლოგიური სისტემები (ეკვატორული მარადმწვანე ტყეების ფართობის შემცირება, პოლარულ რეგიონებში ყინულის საფარის დნობა, ტროპიკულ განედებში მდებარე რეგიონების მზარდი დეზერტიფიკაცია, ტყეების გაშხირებული ხანძრები, სხვა რეგიონული თუ ლოკალური გამოწვევები).

### კვლევის მიზანი

ჩვენი კვლევის მიზანი გახლდათ თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურის მიერ ქალაქის ეკოსისტემისათვის მიწოდებული ეკოსისტემური სერვისების მოცულობისა და მასშტაბების დაგენა და სერვისების შეფასება, ქალაქგეგმარებითი და ურბანული პოლიტიკის ინფორმირებისათვის.

კვლევის ძირითადი შეკითხვა კი შესაძლოა ასე ჩამოყალიბდეს: *როგორ შეიძლება დღეს, 21-ე საუკუნეში, რომელშიც ბუნებრივი და ფინანსური რესურსებისა და კვალიფიციური პერსონალის ხელმისაწვდომობა შეზღუდულია, წარმოვიდგინოთ მმართველობის ის მოდელი, რომელიც გააცნობიერებს ქალაქებში ეკოლოგიური სისტემების სერვისების მნიშვნელობას და მას, გადაწყვეტილების მიღების ინსტრუმენტარიუმში, ძირითად როლს მიანიჭებს?*

სწორედ ამ კითხვასთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა გახლავთ წინამდებარე კვლევის ძირითადი მიზანი.

ჩვენი კვლევის ერთ-ერთ მთავარ საკითხს წარმოადგენს ქალაქებში ბუნებრივი, ხელოვნური და ნაშენი სისტემების ურთიერთქმედებისა და მათი ჰარმონიული თანაარსებობის შესაძლებლობების განხილვა და ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შესაძლებლობებისა და მნიშვნელობის დადგენა.

ჩვენი საკვლევი ამოცანებია: ა) ქალაქ თბილისის პარკებში არსებული ხე-მცენარეების ეკოსისტემების მიერ მოწოდებული სერვისების იდენტიფიკაცია და კლასიფიკაცია; ბ) აღნიშნული სერვისების ეკონომიკური და სოციალური შეფასება (ე.წ. „ვალუაცია“, ინგლ. valuation) და შერჩეული სერვისების სივრცითი განაწილების თავისებურებების დადგენა; გ) ეკოსისტემის სერვისების შეფასებითი ანალიზის ჩატარება, ქალაქგეგმარებითი და ქალაქმმართველობითი გადაწყვეტილებებისა და პოლიტიკ(ებ)ის ინფორმირებისათვის.

გამოკვლევის შედეგები საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ურბანული პარკების (როგორც ქალაქის ეკოსისტემის შემადგენელი ნაწილის) მიერ ქალაქისთვის გაწეული მომსახურების შინაარსი, პოტენციალი და მნიშვნელობა, ქალაქის მდგრადი განვითარებისა და მის მცხოვრებთა კეთილდღეობისათვის.

თუ *კვლევის ხედვაზე* ვისაუბრებთ, ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შინაარსის გაგება და შესწავლა აუცილებელია ისეთი ქალაქის წარმოსადგენად, რომელშიც ჰაერის, წყლის და ხმაურისმიერი დაბინძურება მცირეა, შენობებისა და ნაცრისფერი ინფრასტრუქტურის განლაგება ჰარმონიზირებულია ქალაქის მწვანე სივრცესთან ისე, რომ ეს ხელს უწყობს ქალაქის მცხოვრებთა სოციალურ კავშირებსა და ურთიერთობას/კომუნიკაციას, ქალაქელთა ჯანმრთელობას, უსაფრთხო საცხოვრებელი გარემოს ჩამოყალიბებას, ქალაქის რესურსებზე ყველას ხელმისწავდომობას, ეკონომიკის განვითარებასა და ადამიანთა კეთილდღეობას. თუ მოკლედ ვიტყვით, ჩვენი კვლევის მიზანია დავინახოთ და აღვიქვათ ბუნების მნიშვნელობა ქალაქებისათვის და ქალაქის მცხოვრებთა სიცოცხლისათვის. კვლევა დაგვეხმარება გავიგოთ, შევისწავლოთ, დავინახოთ თუ სად არის ქალაქი დღეს და მიღებული შედეგების მიხედვით წარმოვიდგინოთ თუ სად გვინდა ვიყოთ ხვალ? ან რისი მიღწევა ან გაკეთება გვსურს სამომავლოდ, არსებული მდგომარეობის გასაუმჯობესებლად?

ეკოსისტემების სერვისები წარმოადგენენ იმ პირობებსა და პროცესებს, რომლის მეშვეობითაც ბუნებრივი ეკოსისტემები და ორგანიზმები, რომლებიც ამ სისტემებში ცხოვრობენ, ხელს უწყობენ ადამიანის სახეობის სიცოცხლისუნარიანობას დედამიწაზე. გლობალური მასშტაბით, ეს პირობები და პროცესები ინარჩუნებენ ბიომრავალფეროვნებას, ხელს უწყობენ საქონლის წარმოებას (მაგ. საკვები) და სერვისების მიწოდებას (მაგ. ნარჩენების ასიმილაცია, ჰაერის გაგრილება, წყლის გაწმენდა), რაც ადამიანის დედამიწაზე ცხოვრებისა და გადარჩენის აუცილებელი პირობაა.

დღეს, ეკოლოგიური სისტემების მდგომარეობა დედამიწაზე არასახარბიელოა: გაეროს 2005 წლის „ათასწლეულის ეკოსისტემების შეფასების კვლევის პროექტმა“ (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), დაადასტურა რომ მსოფლიო ეკოსისტემების 60%-ზე მეტი ან დეგრადირებულია, ან მათი არსებულ რეჟიმში გამოყენება, ხელს უწყობს არამდგრადი გარემოს ჩამოყალიბებას. მზარდია იმ შემთხვევების რაოდენობაც, რომლებიც ადასტურებენ, რომ ცვლილებები, გამოწვეული ადამიანის საქმიანობით, განსაკუთრებით ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნების კუთხით, ხშირად შეუქცევადი ხასიათისაა, რაც მოსალოდნელია უარყოფითად აისახოს ზოგადად განვითარებასა და კაცობრიობის კეთილდღეობაზე.

მსოფლიოში დღეს მიმდინარე გლობალური მასშტაბის პროცესები, რომლებიც მოიცავენ ქალაქების ზრდის, მოსახლეობის აღწარმოების, დედამიწის კლიმატის ცვლილების, არათანაბარი ეკონომიკური განვითარების, დედამიწაზე არსებული რესურსებისათვის კონკურენციისა და ბრძოლის, საცხოვრებელი გარემოს ცვლილების, მასზე ანთროპოგენული გავლენისა და სასიცოცხლოდ მინიშვნელოვანი ეკოსისტემების დეგრადაციის საკითხებს (McCarthy et al., 2010), სერიოზული ფიქრის საგანს წარმოადგენენ საზოგადოებისთვის, მმართველების, პოლიტიკური აქტორებისა და სამეცნიერო წრეებისათვის. დღეს, ამ პროცესების ერთ-ერთ მთავარ წარმმართველ ძალად ურბანიზაცია იქცა.

ურბანიზაცია, როგორც პლანეტარული მასშტაბის პროცესი და როგორც განვითარების ერთ-ერთი მთავარი ვექტორი, ყოველდღიურად ცვლის დედამიწას და

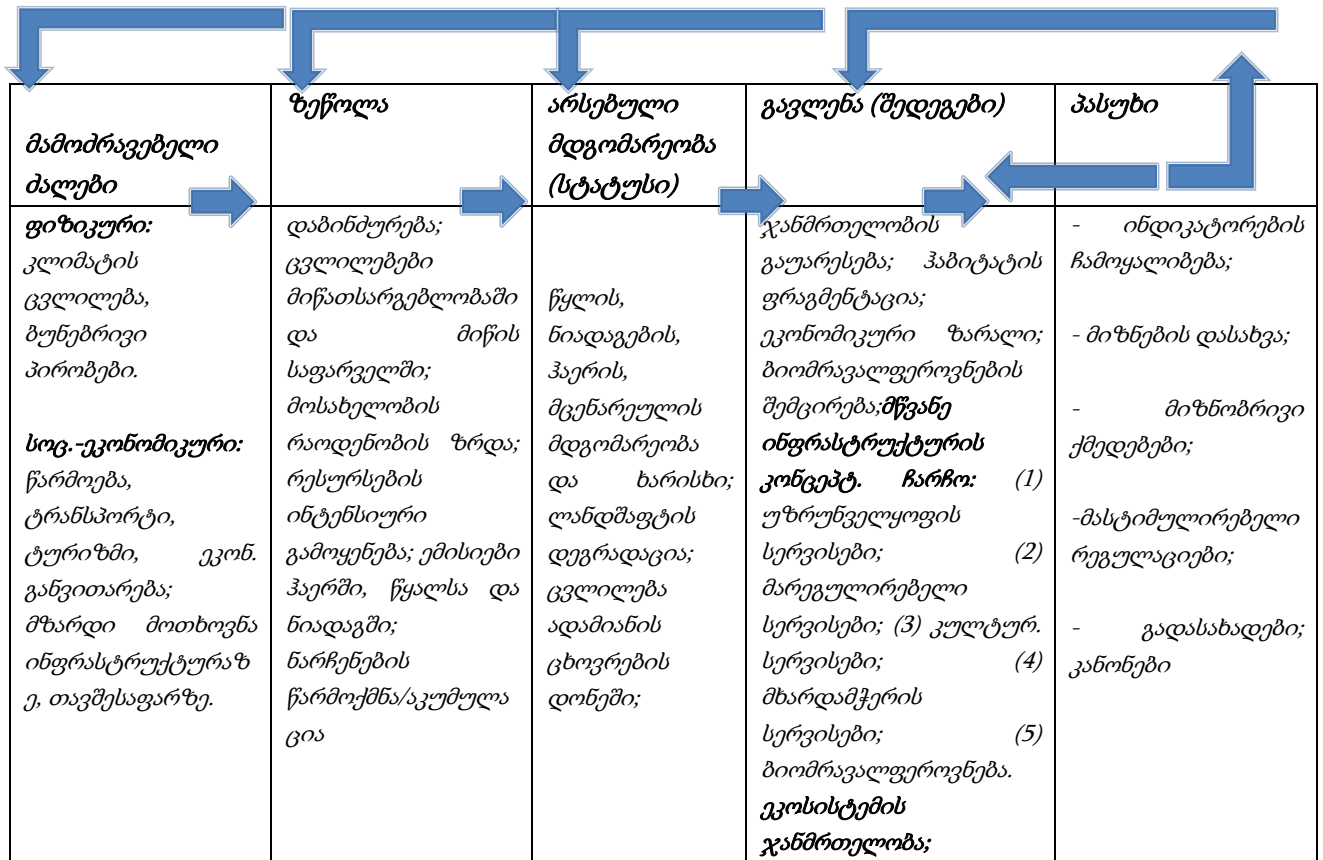
მისი გავლენა გლობალურ ტრანსფორმაციაზე ძალიან ძლიერია. დღეს, ქალაქები, მსოფლიოს თითქმის რვა მილიარდიანი მოსახლეობის ნახევარზე მეტისათვის, მუდმივი საცხოვრებელი ადგილი და გარემოა, სადაც ადამიანები იბადებიან, ცხოვრობენ და კვდებიან. მსოფლიო სულ უფრო ურბანული ხდება და ურბანიზაციის დინამიკა მზარდია. თუ გასული საუკუნის სამოცდაათიანი წლებიდან ახალი ათასწლეულის დაწყებამდე, ქალაქებს ყოველწლიურად დაახლოებით 50 მილიონი ახალი მობინადრე ემატებოდა, 2009 წელს, მიგრაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის, IOM-ის მონაცემებით, ამ რიცხვმა, კვირაში 3 მილიონ ადამიანს გადააჭარბა! (International Organization for Migration (IOM), 2015). აღსანიშნავია რომ „ახალ ქალაქელთა“ უმეტესობა, განვითარებადი ქვეყნების მცხოვრებნი არიან (United Nations, 2019). დღეს არსებული ეკონომიკური და სოციალური მოდელები, ურბანული ცხოვრების არსებული წესები და გლობალური მასშტაბის ურბანიზაცია, კითხვის ქვეშ აყენებენ ქალაქების, როგორც სისტემების მდგრადობის საკითხს. მრავალი კითხვა ჩნდება დღეს არსებული ქალაქების ფორმასა და შინაარსთან, მათი ფუნქციონირების წესებთან და ქალაქში მცხოვრები მოსახლეობის უსაფრთხოებასა და ჯანმრთელობასთან დაკავშირებით. ქალაქური ეკოსისტემები, მისი მწვანე (მცენარეული) და ლურჯი (წყლის) სივრცეები და მათ მიერ ქალაქისათვის მიწოდებული ეკოლოგიური სერვისები (დაჩრდილვა, ჰაერის ტემპერატურის რეგულირება, ჰაერიდან მავნე გაზებისა და მყარი ნაწილაკების შთანთქმა, ნახშირორჟანგის სეკვესტრირება, ზედაპირული ნიაღვრული წყლების შთანთქმა და კონტროლი, რეკრეაციული და კულტურული სერვისები, სხვა), მზარდი ურბანიზაციის ფონზე, დღითიდღე მცირდება და უარესდება.

### **თავი 1. კვლევის კონცეპტუალური ჩარჩო**

ურბანული ეკოსისტემები დინამიკური სისტემებია. შესაბამისად, მათი ფუნქციონირებისა და ეფექტურობის შეფასებისათვის აუცილებელია მის შინაარსში გარკვევა და სისტემების შესაფასებლად გარკვეული გაზომვადი და აღქმადი ინდიკატორების ჩამოყალიბება. მიზეზ-შედეგობრივი კონცეპტუალური ჩარჩო, რომელიც დღეს, საზოგადოებისა და ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის

უერთიერთქმედების შესაფასებლად ერთ-ერთ ყველაზე სრულყოფილ მოდელად მიიჩნევა, გახლავთ ევროპის გარემოსდაცვითი სააგენტოს (EEA) და გაეროს საკვებისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაციის (FAO-ს) მიერ შემოთავაზებული მოდელი (DPSIR)<sup>2</sup>. მოდელი, დაახლოებით ასე იწოდება: „მამოძრავებელი ძალა-ზეწოლა-მდგომარეობა-ზემოქმედება-პასუხი“ (Pakzad & Osmond, 2016). იხილეთ DPSIR - ჩარჩოს აღწერა (ცხრილი 1). სწორედ ამ მოდელის ელემენტები იქნა გამოყენებული კვლევის თეორიული ჩარჩოს დასადგენად და თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურის ელემენტების შესასწავლად.

**ცხრილი 1.** DPSIR-ჩარჩო (‘მამოძრავებელი ძალა-ზეწოლა-მდგომარეობა-ზემოქმედება-პასუხი’) კავშირებზე ადამიანის საქმიანობასა და მწვანე ინფრასტრუქტურის ფუნქციონირებას შორის (Pakzad & Osmond, 2016).



<sup>2</sup> მამოძრავებელი ძალა-ზეწოლა-მდგომარეობა-ზემოქმედება-პასუხი (Driving force-Pressure-State-Impact-Response - DPSIR). გაეროს საკვებისა და სოფლისმეურნეობის ორგანიზაცია (FAO), წყარო: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1026561/#:~:text=The%20Driver%2DPressure%2DState%2D,be%20made%20in%20the%20future.>



			ადამიანის ჯანმრთელობა და კეთილდღეობა	
--	--	--	---	--

DPSIR-მოდელი მოიცავს და მეტ-ნაკლებად ითვალისწინებს ყველა იმ პირობას, რომლებიც უშუალო გავლენას ახდენენ ქალაქების კომპლექსურ სისტემებზე და მის ხელოვნურ თუ ბუნებრივ კომპონენტებზე. მოდელი თეორიულად აღწერს ქალაქების „ურბანულ“ ეკოსისტემაში, ადამიანისა და ბუნების ურთიერთქმედებას, არსებულ მდგომარეობას (სტატუსს), სისტემაში მიმდინარე პროცესებს, ადამიანთა საზოგადოების გავლენას გარემოზე და გარემო პირობების გავლენას საზოგადოებაზე, სისტემაში მიმდინარე პროცესების მამოძრავებელ ძალებსა და იმ პრობლემებს, რომლებიც ამ კომპლექსური პროცესების მიმდინარეობისას წარმოიშობიან; გვიჩვენებს მიღებულ (არსებულ) შედეგებსა და გვთავაზობს პრობლემების მოგვარების ან შერბილების შესაძლო გზებს.

DPSIR-ჩარჩოს მიხედვით, ურბანულ ეკოსისტემები წარმოდგენილია მრავალი და მრავალფეროვანი მიზეზ-შედეგობრივი კავშირით, რომელთაგან აღსანიშნავნი არიან შემდეგი: „მამოძრავებელი“ ძალები (ეკონომიკური სექტორები, ადამიანის საქმიანობა), სისტემაზე არსებული „ზეწოლები“ (ჰაერის, წყლის, ნიადაგის დაბინძურება, ემისიები ატმოსფეროში), „არსებული მდგომარეობა“ და მისი აღქმა და ანალიზი (წყლის, ნიადაგების, ჰაერის, მცენარეულის მდგომარეობა და ხარისხი; ლანდშაფტის ცვლილება და მისი ელემენტების დეგრადაცია; ცვლილება ადამიანის ცხოვრების წესში და ურბანულ გარემოში ცხოვრების ხარისხი), “ შედეგები“ - ჰაბიტატების ცვლილება, ფრაგმენტაცია, დეგრადაცია და მდგომარეობის ანალიზი, ეკონომიკური ზარალი და ეკონომიკური ფაქტორების გავლენა გარემოზე; გარემოს გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე, გარემოს ფუნქციების მდგომარეობა, ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის ფუნქციები და მათი ანალიზი და „პასუხი მდგომარეობაზე“ - შეფასების კრიტერიუმებისა და ინდიკატორების შემუშავება, პრიორიტეტების ჩამოყალიბება, მიზნების დასახვა, ქმედებები, მიზნების მისაღწევად და პოლიტიკური,

სოციალურ-ეკონომიკური და საკანონმდებლო ქმედებები, ამოცანების შესრულებისა და მდგომარეობის გაუმჯობესებისათვის (Kristensen, 2004).

ქალაქების კონტექსტში, დღეს, ჩვეულებრივი ამბავია საუბარი ჰაერის, წყლის, ნიადაგის დაბინძურებისა და ბუნებრივი ლანდშაფტებისა და ეკოლოგიური სისტემების მდგომარეობის გაუარესების ან დეგრადაციის შესახებ. ეკონომიკური განვითარების დღეს არსებული მოდელის მიხედვით, მზარდი ეკონომიკური მაჩვენებლების შესანარჩუნებლად საჭიროა მეტი რესურსი და მოხმარების მაჩვენებლების ზრდის მხარდაჭერა, რაც უმეტეს შემთხვევაში ბუნებრივი ცენოზებისა და ლანდშაფტების ეკონომიკურ საქმიანობაში ჩართვის ხარჯზე ხდება.

ამ გამოწვევებზე საპასუხოდ, 2013 წელს, ბერლინში ჩატარდა ურბანული ეკოლოგიის საზოგადოების მსოფლიოს პირველი კონგრესი (Society For Urban Ecology, SURE)<sup>3</sup>, სადაც მსოფლიოს მეცნიერები და პრაქტიკოსები, მრავალი სამეცნიერო დისციპლინიდან თუ დარგიდან, შეიკრიბნენ და შეეცადნენ ერთად მოეძებნათ პასუხები იმ მრავალფეროვან, დისციპლინათაშორის გამოწვევებზე, რომლებსაც ურბანიზაცია, კლიმატის ცვლილება, გარემოს მზარდი დაბინძურება, მსოფლიოს მოსახლეობის ზრდა და სხვა გლობალური მასშტაბის სოციალური თუ ეკონომიკური პრობლემები აყენებენ დედამიწის მოსახლეობისა და მომავალი თაობების წინაშე. კონგრესის მთავარი მიზანი იყო ჩამოყალიბებულიყო შეთანხმება, რომელიც სამომავლოდ წარმართავდა ქალაქების ეკოლოგიისა და ურბანული ეკოსისტემების კვლევის სხვადასხვა ასპექტსა და მიმართულებას.

ურბანული ეკოლოგიის მსოფლიო პირველი კონგრესის მისიაში განცხადებული იყო რომ ამ გაერთიანების მთავარი მიზანი გახლდათ ურბანული ეკოსისტემების სტრუქტურისა და ფუნქციების გაგება, მათი შესწავლა და იმ პროცესების სამეცნიერო გააზრება, რომლებიც ადამიანსა და გარემოს შორის მიმდინარეობს მსოფლიოს ქალაქებში. კონგრესის მიზანი იყო იმ ცოდნის სისტემატიზირება და გამდიდრება, რომელიც აუცილებელია მკვლევარებისა და პრაქტიკოსებისათვის, იმ კომპლექსური

<sup>3</sup> ურბანული ეკოლოგიის საზოგადოება - The Society for Urban Ecology (SURE), SURE-ს შესახებ, ვებ-საიტი. <https://www.society-urban-ecology.org/>

ურბანული პრობლემების სწორად გადასაჭრელად, რომლების წინაშეც დღეს დგას ურბანიზირებული სამყარო.

დღეს, პლანეტაზე არსებული სიცოცხლისათვის და ადამიანთა საზოგადოებისათვის ერთ-ერთი ყველაზე მწვავე გამოწვევად გადაიქცა ურბანული ეკოსისტემების დეგრადაცია და იმ მომსახურების (სერვისების) შემცირება-შეზღუდვა, რომელსაც ეს სისტემები ქალაქის მცხოვრებლებს აწვდიან. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში, გამოჩნდა კვლევების საკმაოდ დიდი მოცულობა, რომლებიც ურბანულ ეკოსისტემების სერვისებს (უეს) შეეხება. ამან დიდად შეუწყო ხელი ჩვენი ცოდნის გაღრმავებას უეს-ის შესახებ, მათი ბიოფიზიკური, ეკონომიკური და სოციო-კულტურული მიმართულებებით. მეტიც, ურბანული ეკოსისტემების სერვისები განხილულ იქნა რამდენიმე გლობალური ინიციატივის ფარგლებშიც. კერძოდ, ეკოსისტემების სერვისები შესწავლა მოხდა რიგი საერთაშორისო ორგანიზაციების/პროგრამების მიერ:

- „ათასწლეულის ეკოსისტემების შეფასება“ (Millennium Ecosystem Assessment)<sup>4</sup> - გაეროს ათასწლეულის პლატფორმა;
- „ეკოსისტემებისა და ბიომრავალფეროვნების ეკონომიკის“ TEEB პლატფორმა<sup>5</sup> ;
- IPBES-ის (The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) - საერთაშორისო, მულტინაციონალური და მულტიდისციპლინური სამეცნიერო-პოლიტიკის კვლევითი პროექტის საშუალებით<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> ათასწლეულის ეკოსისტემების შეფასების პროექტი - Millennium Ecosystem Assessment (2005) გაერო (United Nations) . წყარო: <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html> .

<sup>5</sup> TEEB 2011, გლობალური ინიციატივა, რომლის მიზანი იყო „ბუნების მიერ მოწოდებული ფასეულობების ხილვადობის გაზრდა“ და ბიომრავალფეროვნებისა და ეკოსისტემების სერვისების ღირებულებისა და მნიშვნელობის ინტეგრაცია გადაწყვეტილებების მიღების პროცესებში, ყველა დონეზე. წყარო: <http://www.teebweb.org/>

<sup>6</sup> საერთაშორისო მთავრობათშორისი სამეცნიერო-პოლიტიკურ პლატფორმა - IPBES (The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). IPBES-ი წარმოადგენს, გაეროს მიერ ორგანიზებულ, გაეროში შემავალი ოთხი ორგანიზაციის, UNEP, UNESCO, FAO და UNDP-ის საფუძველზე - პლატფორმას, რომელიც სწავლობს და აფასებს ბიომრავალფეროვნებას და იმ ეკოსისტემების სერვისების მდგომარეობას, რომელსაც ბუნება აწვდის საზოგადოებას, პასუხად გადაწყვეტილებების მიმღებთა მოთხოვნებზე. ამ გაერთიანების მისია გულისხმობს მეცნიერული კვლევისა და პოლიტიკის ურთიერთქმედების ხელშეწყობას ბიომრავალფეროვნების გრძელვადიანი შენარჩუნებისა და მდგრადი განვითარებისთვის. წყარო: <https://www.iucn.org/theme/global-policy/our-work/ipbes> .

ამან, შესაბამისად, გამოიწვია ურბანული ეკოსისტემების სერვისებისადმი ყურადღებისა და ინტერესის ზრდა და მისი ჩართვა ურბანული პოლიტიკის დისკუსიებში, მაგრამ, მიუხედავად იმისა, რომ დედამიწის მოსახლეობის ნახევარზე მეტი დღეს ქალაქებში ცხოვრობს, ურბანული ეკოსისტემებისადმი ყურადღება კვლავ ძალიან მოკრძალებულია თუ მას შევადარებთ, მაგალითად, ტყეების და ოკეანეების სანაპირო ზოლის, პოლარული აკვატორიებისა და ტერიტორიების, ან მსოფლიოს ზღვებისა თუ ოკეანეების ეკოლოგიურ საკითხების კვლევებს (Gómez-Baggethun et al., 2013).

დღევანდელი მდგომარეობით, მიუხედავად არსებული ურბანული გამოწვევებისა, რომლებიც მოიცავენ კლიმატის ცვლილებას (Zwierzchowska, 2017), მოსახლეობის დემოგრაფიულ დაბერებას და ბუნებრივი რესურსების შემცირება-დეგრადაციას (Haase et al., 2014), ურბანული ეკოლოგიური სისტემების მიერ ქალაქების გარემოსთვის გაწეულ მომსახურებასთან და ეკოსისტემების სერვისებთან დაკავშირებული კვლევები და მათი გავლენის შეფასება ქალაქის ცხოვრებაზე, ნაკლებად არის გავრცელებული. გამოკვლევების ეს დეფიციტი შეეხება ეკოსისტემების სერვისების მიწოდება-მოთხოვნის თანაფარდობას და მის გამოყენებას ქალაქგეგმარებაში, ქალაქის სივრცეების განვითარებასა და სხვადასხვა დონეზე მათ მართვაში (Kremer, 2016). ურბანული ეკოსისტემების კვლევების უმეტესი ნაწილი დღეს თავმოყრილია აშშ-ში, დიდ ბრიტანეთში, ავსტრალიაში, გერმანიაში და ჩინეთში (Wang et al., 2021) და ძირითადად მოიცავს ჩრილოეთ ამერიკის, დასავლეთ და ცენტრალური ევროპისა ავსტრალიისა და ჩინეთის ქალაქებზე ჩატარებულ კვლევებს. ამავე დროს, კვლევები ურბანული ეკოსისტემების შესახებ იშვიათია სამხრეთ და აღმოსავლეთ ხმელთაშუაზღვისპირეთში (Ostoic et al., 2018), ყოფილ საბჭოთა ტერიტორიებზე, განსაკუთრებით კი სამხრეთ კავკასიის რეგიონის ქვეყნებში.

დედამიწის ყველა მსხვილი ქალაქი გადის ზრდის, განვითარების, გაფართოების, იმიგრაციის, ჭარბი მოსახლეობის რაოდენობის, გარემოს დაბინძურებისა და მრავალ სხვა ეკონომიკური, სოციალური, პოლიტიკური და გარემოსდაცვითი ტიპის პრობლემურ პერიოდებს (International Organization for Migration (IOM), 2015).

პრობლემების ის მასშტაბი, რომლებსაც ქალაქების დღევანდელი ადმინისტრაციები ეჯახებიან, შეუდარებელია მე-19, ან თუნდაც მე-20 საკუნის პრობლემებთან. ერთ-ერთი ყველაზე მთავარი რისკი და გამოწვევა, რომელთა გადაწყვეტაც 21-ე საუკუნის საქალაქო ადმინისტრაციებსა და პოლიტიკის შემქმნელებს უწევთ, ურბანულ ტერიტორიებზე ბუნებრივი გარემოსა და ეკოლოგიური წონასწორობის დარღვევა გახლავთ.

მსხვილი ქალაქების დიდ ნაწილში, მაღალი ტემპებით მიმდინარეობს ბუნებრივი გარემოს და მისი კომპონენტების შემცირება, გარდაქმნა და ზოგადად, სასიცოცხლო გარემოს მაჩვენებლების გაუარესება. ურბანული საკითხების ბევრი მკვლევარი თვლის, რომ დღევანდელი ურბანული ექსპანსია მნიშვნელოვან გავლენას იქონიებს ბუნებრივ რესურსებზე და საგრძნობლად დააზიანებს ეკოსისტემებსა და იმ ბუნებრივ სერვისებს, რომლებსაც ისინი გვაწვდიან. განსაკუთრებით საყურადღებო და მნიშვნელოვანია ამ პრობლემის ურბანული კონტექსტი: ურბანული სისტემები, რომლებშიც ყოველწლიურად სულ უფრო მეტი ადამიანი ცხოვრობს, ხშირად ხდებიან იმ მმართველობითი გადაწყვეტილებების მძევალნი, რომლებიც ურბანულ მიწას, ბუნებასა და რესურსებს ეხება (Kabisch et al., 2018). სწორედ ამიტომაც ვთვლით, რომ ჩვენი კვლევა გარკვეულწილად წაადგება ურბანული ბუნებრივი ეკოსისტემების შინაარსის სწორად აღქმას და ბუნებრივი სისტემების კომპლექსური დინამიკის შესწავლას დროსა და სივრცეში.

## 1.2. ლიტერატურის მიმოხილვა

ბოლო ათწლეულის განმავლობაში, გამოჩნდა კვლევების საკმაოდ დიდი რაოდენობა, რომლებიც ურბანულ ეკოსისტემების სერვისებს (უეს) შეეხება. ამან დიდად შეუწყო ხელი ჩვენი ცოდნის გაღრმავებას უეს-ის შესახებ, მათი ბიოფიზიკური, სივრცითი, ეკონომიკური და სოციო-კულტურული მიმართულებებით.

დაახლოებით ოცდაათი წლის წინ, სამეცნიერო ლიტერატურაში გამოჩნდა ეკოსისტემების სერვისებისა და მათი მნიშვნელობის შესახებ დაწერილი ორი საეტაპო პუბლიკაცია, რომლებმაც დასაბამი დაუდეს ეკოსისტემების სერვისების შესახებ კვლევებსა და ამ სამეცნიერო მიმართულების ჩამოყალიბებას. ეს პუბლიკაციები

გახლდათ გრეტხენ დეილის<sup>7</sup> რედაქტორობით, 1997 წელს გამოცემული წიგნი<sup>8</sup> „ბუნების სერვისები: საზოგადოების დამოკიდებულება ბუნებრივ ეკოსისტემებზე“, და რობერტ კოსტანზას<sup>9</sup> და თანაავტორების სტატია ჟურნალ Nature-ში (Costanza et al., 1997), „მსოფლიოს ეკოსისტემების სერვისების მთლიანი ღირებულება და ბუნებრივი კაპიტალი“. ამ პუბლიკაციებმა დასაბამი მისცეს სტატიების და კვლევების გამოქვეყნებას, პოლიტიკის შესწავლას და მრავალ სხვადასხვა სამუშაოს, მსოფლიო სხვადასხვა სამეცნიერო ცენტრში და ახალი ჟურნალის, Ecosystem Services -ის<sup>10</sup> შექმნას.

ტერმინი „ბუნებრივი კაპიტალი“ (*Natural capital*, ინგლ., *Capital naturel*, ფრანგ., *Naturkapital*, გერმ.) აკადემიურ ლიტერატურაში პირველად 1977 წელს გამოჩნდა, უოლტერ უესტმანის მიერ, ჟურნალ Science-ში გამოქვეყნებულ სტატიაში „რა ღირებულება აქვთ ბუნებრივ სერვისებს?“ (Westman, 1977). უესტმანის ტერმინის სინონიმი, „ეკოსისტემის სერვისები“, პირველად გამოიყენეს პოლ და ანნე ერლიხებმა, წიგნი „გადაშენება: სახეობათა გაქრობის მიზეზები და შედეგები“ (Ehrlich & Ehrlich, 1981).

მოგვიანებით, ტერმინი „ეკოსისტემების სერვისები“, უფრო სისტემატიზირებული ხდება იგივე პოლ ერლიხისა და ჰაროლდ მუნის (ორივე სტენფორდის უნივერსიტეტების პროფესორები, ეკოლოგები) სამეცნიერო სტატიებში (პოლ. რ. ერლიხი და ჰაროლდ ა. მუნი, „გადაშენება, ჩანაცვლება და ეკოსისტემების სერვისები“) (Ehrlich & Mooney, 1983). თუმცა აღსანიშნავია რომ მსგავსი იდეები, ბუნებრივი

<sup>7</sup> Gretchen C. Daily (გრეტხენ ს. დეილი, დაბ. 1964 წ.), ამერიკელი პროფესორი, სტენფორდის უნივერსიტეტის კონსერვაციული ბიოლოგიის ცენტრის დირექტორი, სტენფორდი, კალიფორნია, აშშ.

<sup>8</sup> Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems, 1997, Island Press.

<sup>9</sup> Robert Costanza (რობერტ კოსტანზა, დაბ. 1950), ავსტრალიელ-ამერიკელი პროფესორი, საჯარო პოლიტიკის პროფესორი ავსტრალიის ეროვნულ უნივერსიტეტში, ეკოლოგი-ეკონომისტი, რომის კლუბის სრული წევრი.

<sup>10</sup> Ecosystem Services - ECOSER (“ეკოსისტემების სერვისები”), საერთაშორისო, Elsevier-სისტემის დისციპლინათაშორისი სამეცნიერო ჟურნალი, რომელიც ემსახურება ეკოსისტემების სერვისების სამეცნიერო კვლევებს. განიხილავს ეკოსისტემების სერვისებთან დაკავშირებული პოლიტიკისა და პრაქტიკის საკითხებს. Impact Factor: 5.454, CiteScore: 11.2, წყარო:

<https://www.sciencedirect.com/journal/ecosystem-services>

სერვისების, ან ბუნების მიერ გაწეული სერვისების შესახებ, აკადემიურ ლიტერატურაში 1970-იან წლებამდეც არსებობდა, რადგან საუბარი ადამიანისა და ბუნების ურთიერთქმედების, ან ადამიანისთვის ბუნების სისტემების მნიშვნელობის შესახებ ისეთივე ძველია, როგორც თვითონ ადამიანი და კაცობრიობა.

ესპანელი მკვლევარი, გომეს-ბაგეტუნი (Gómez-Baggethun), კოლეგებთან ერთად, გვამღევეს ეკოსისტემების სერვისების კვლევის ისტორიის უფრო დეტალურ სურათს და ყურადღებას ამახვილებს კონცეფციის ეკონომიკურ საფუძვლებზე (Gómez-Baggethun et al., 2010).

ლ. ბრატი და რ. დე გროტი, ჟურნალ Ecosystem Services-ის 2012 წლის გამოცემაში, აჯამებენ ეკოსისტემების სერვისების კონცეფციის ისტორიას და იკვლევენ მის დისციპლინარულ საფუძვლებს როგორც ეკოლოგიური, ისე ეკონომიკური კუთხით. ამ პუბლიკაციაში, გარკვეულწილად მოხერხდა ამ ორი დისციპლინის (ეკონომიკისა და ეკოლოგიის) სინთეზი ეკოლოგიის ეკონომიკაში (Braat & de Groot, 2012). მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარში, კვლევების ამ კუთხით წარმართვის მიზეზი გახდა ეკოსისტემების დეგრადაციისა და ზოგჯერ, განადგურების აშკარა ფაქტები. ადამიანმა დაინახა რომ პლანეტის ბუნებრივი კაპიტალი სწრაფად იწურებოდა და ამის მთავარი მიზეზი პლანეტის რესურსების მზარდი ექსპლოატაცია და უკონტროლო მატერიალური ზრდა გახლდათ (Beddoe et al., 2009). ამ პრობლემებზე, ჯერ კიდევ 1876 წელს წერდა ფრიდრიხ ენგელსი, როდესაც თავის ერთ-ერთ ესსეში ამბობდა რომ “ყოველ გადადგმულ ნაბიჯზე [ბუნება] ჩვენ გვახსენებს რომ არცერთ შემთხვევაში არ ვართ ბუნების (როგორც რომელიღაც უცხო ტომის) დამყრობლები, როგორც ვინმე, რომელიც ბუნების გარეთ დგას - პირიქით, ჩვენ, ჩვენი სისხლით, ხორციითა და გონებით, ბუნებას ვეკუთვნით, მის შუაგულში ვარსებობთ და მთელი ჩვენი მბრძანებლობა (ან ოსტატობა) მასთან მიმართებაში, მდგომარეობს იმ ფაქტში რომ ჩვენ, სხვა არსებებისგან განსხვავებით, გვაქვს უპირატესობა ვისწავლოთ მისი კანონები და სწორად გამოვიყენოთ ისინი“ (Engels, 1950) *(ინგლისურიდან თარგმანი, ავტორისა)*.

ეკოლოგიასთან და ბუნებრივი რესურსების ექსპლუატაციისთან დაკავშირებული პრობლემის რეალური გააზრების შედეგად, მე-20 საუკუნის ბოლოს ჩამოყალიბდა

ბუნებრივი ეკოსისტემების, როგორც პლანეტარული მასშტაბის მნიშვნელობის სისტემების მზარდი აღქმა და საჭირო გახდა ბუნებრივი სიკეთეების არასაბაზრო ღირებულების გაცნობიერებაც (Brenner et al., 2010). ხშირად, ეს ორი მეცნიერება (ეკოლოგია და ეკონომიკა), დედამიწის ეკოსისტემების და გლობალური რესურსების ეკონომიკის კვლევას ერთმანეთის პარალელურად ახდენდნენ, თუმცა შეზღუდული ურთიერთკონტაქტებით. 1980 წელს, გამოჩნდა ახალი, დისციპლინათშორისი პლატფორმა, 'ეკოლოგიის ეკონომიკა' (ან „ეკოლოგიური ეკონომიკა“, ლ.ა.) (Costanza, 1989), რომლის მიზანი გახლდათ მეცნიერთა ამ ორი ჯგუფის კვლევების ინტეგრაცია და მათ შორის არსებული მანძილის შემცირება; გარდა ამ ორი დისციპლინისა, ახალმა სამეცნიერო პლატფორმამ მოიცვა ისეთი მეცნიერებები როგორებიცაა ფსიქოლოგია, პოლიტიკური მეცნიერება და დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები. რობერტ კოსტანზას მიხედვით, სიტყვათა შეთანხმება, 'ეკოლოგიის ეკონომიკა'/'ეკოლოგიური ეკონომიკა' (Ecological Economics, ინგლ.), ყველაზე მისაღებია ამ ახალი, ინტერ-დისციპლინური მეცნიერების შინაარსის გასაგებად.

რ. კოსტანზა (R. Costanza) თავის გახმაურებულ სტატიაში, “რა არის ეკოლოგიის ეკონომიკა?” (What is Ecological Economics, 1989), წერს: „ჩვენ სახელად შევარჩიეთ „ეკოლოგიის ეკონომიკა“, სწორედ იმ სფეროს საკვლევად, რომელიც გულისხმობს ფართო, ეკოლოგიურ და ინტერ-დისციპლინურ და ჰოლისტურ მიდგომას ჩვენი დედამიწის შესწავლისა და მართვის პრობლემისათვის. ჟურნალის თავფურცელზე განთავსებული ფოტოგრაფია - „დედამიწის სურათი კოსმოსიდან“, ასახავს გლობალურ, ჰოლისტურ პერსპექტივას. ჩვენ არ განგვიზრახავს, რომ სიტყვების ეს შეთანხმება და რიგი აღნიშნავდეს ჟურნალის ეკონომიკურ ხასიათს: იგი განზრახულია იმისთვის, რომ გაჩნდეს ახალი მიდგომა როგორც ეკოლოგიის, ისე - ეკონომიკისათვის. მიდგომა, რომელიც აღიარებს რომ ეკონომიკა კარგად გაიაზრებს ეკოლოგიურ შედეგებსა და დამოკიდებულებებს; მიდგომა, რომელიც აღიარებს გავხადოთ ეკოლოგია უფრო მგრძობიარე ეკონომიკური ძალების, სტიმულებისა და შეზღუდვებისადმი; ასევე, გამოვიყენოთ და აღვიქვათ ისინი, როგორც ინტეგრირებული ეკონომიკურ-



ეკოლოგიური სისტემები და მათი გაგებისთვის გამოვიყენოთ ერთიანი (თუმცა განსხვავებული) კონცეპტუალური და ანალიტიკური ინსტრუმენტები, (Costanza, 1989).

ეკოსისტემების სერვისების შესწავლისა და განვითარების ისტორიაში მთავარი მოვლენა 1995 წელს მოხდა, როდესაც ნიუ-ჰემპშირის შტატში (აშშ) შეიკრიბნენ გარემოსდაცვითი და ბუნების კონსერვაციის საკითხებზე მომუშავე, „პიუს საქველმოქმედო საზოგადოების“ პროგრამაში მონაწილე მეცნიერები (Pew Scholars). ჯგუფში შედიოდნენ ჯენ ლუბჩენკო, სტივენ კარპენტერი, პოლ ერლიხი, გრეტხენ დელი, ჰაროლდ მუნი, რობერტ კოსტანზა და სხვები (Costanza et al., 2017). მეცნიერთა ამ ჯგუფის შეხვედრის მიზანი გახლდათ ეკოსისტემების სერვისების შესახებ წიგნის შექმნა. მთავარ რედაქტორად აირჩიეს გრეტხენ დელი. 1997 წელს, გამოიცა წიგნი შემდეგი სათაურით: „ბუნების სერვისები: საზოგადოების დამოკიდებულება ბუნებრივ ეკოსისტემებზე“ (Daily, 1997). წიგნის თავები მოიცავდა ეკოსისტემებისა და მათ მიერ მოწოდებული სერვისების განსაზღვრებებს, ისტორიას, ეკონომიკურ შეფასებას, სხვადასხვა გლობალურ სერვისებს (როგორებიცაა კლიმატი და ბიომრავალფეროვნება), სპეციფიურ სერვისებს კონკრეტული ბიომებიდან (საზღვაო, მტკნარი წყლის, ტყეების, საძოვრების სერვისები) და შემთხვევათა ანალიზს, სხვადასხვა რეგიონებიდან. შეხვედრაზე, რობერტ კოსტანზამ წამოაყენა იდეა, მომხდარიყო ყველა ინფორმაციის სინთეზი გლობალური ეკოსისტემების სერვისების რაოდენობრივი შეფასების მიზნით. წინადადებას ინტერესით შეხვდნენ და მოგვიანებით ჩატარდა მეორე მნიშვნელოვანი შეხვედრა-სემინარი რომელზეც გადაწყდა გლობალური ანალიზის ჩატარება; კვლევის სახელად შეირჩა შემდეგი: „მსოფლიოს ეკოსისტემების სერვისებისა და ბუნებრივი კაპიტალის მთლიანი ღირებულება“ (Costanza et al., 1997). ამ ინიციატივის შედეგად, ჩატარდა დიდი მასშტაბის კვლევა, მეტა-ანალიზი, რომელიც მოიცავდა არსებული ლიტერატურის ანალიზს ჩვიდმეტი ეკოსისტემური სერვისის შესახებ თექვსმეტ ბიომაში, თითოეულისთვის ერთ ჰექტარზე განსაზღვრული ღირებულების ტექნიკის გამოყენებით. ამ დიდი კვლევის შედეგები გამოქვეყნდა ჟურნალ Nature-ში, 1997 წელს. გთავაზობთ ნაწილს ამ კვლევის აბსტრაქტიდან: „ მთლიანი ბიოსფეროს ღირებულება (რომლის კომპონენტების უმეტესობა არა-საბაზროა) განისაზღვრა წელიწადში 16-54

ტრილიონ დოლარის საზღვრებში (საშუალოდ, 33 ტრილიონი დოლარად წელიწადში). გაურკვევლობების ხასიათის გათვალისწინებით, ეს რიცხვი უნდა განხილულ იქნას როგორც მინიმალური შეფასება“ (Costanza et al., 1997). რ. კონსტანზას (და სხვა ავტორების) ამ პუბლიკაციის გამოსვლისას, გლობალური ეკონომიკის მთლიანი ეროვნული პროდუქტი, წელიწადში დახლოებით 40 ტრილიონ დოლარს შეადგენდა<sup>11</sup>.

სტატიაში მოყვანილი, გლობალური ეკოსისტემების სერვისების ღირებულება მნიშვნელოვნად აღემატებოდა იმ დროს არსებულ გლობალურ მთლიან ეროვნულ პროდუქტს (Global gross national product, ინგლ.). გამოკვლევის შედეგების მასშტაბმა სამეცნიერო წრეებში გაცემა გამოიწვია. ზოგს გაუკვირდა მიღებული ღირებულების სიმცირე („უსასრულობის არასათანადო შეფასება“), ხოლო სხვებისთვის, მიღებული ღირებულება ძალიან მაღალი იყო („როგორ შეიძლება იგი უფრო მეტი იყოს, ვიდრე მთელის მსოფლიოს მთლიანი ეროვნული პროდუქტი?“), ხოლო მესამენი თვლიდნენ, რომ ასეთი შეფასება პროფანაცია და ვულგარულობის გამოხატულება იყო („როგორ შეიძლება ფასი დაადო ბუნებას?“). თუმცა უმეტესობისთვის, კვლევის შედეგების წარდგენის შემდეგ, ნათელი გახდა, რომ ამ კვლევით მოხდა იმის დემონსტრირება, თუ რამდენად მნიშვნელოვანი იყო ეკოსისტემების სერვისები ადამიანის კეთილდღეობისთვის, არსებულ ეკონომიკურ აზრთან და მოდელებთან შედარებით.

განმარტებისთვის მოვიყვანთ მაგალითს: ჩვეულებრივი ეკონომიკური აღრიცხვის პირობებში, ეკოსისტემები შეფასებულ იქნებოდა მაშინ, როდესაც მათგან მიღებული პროდუქცია გამოყენებულ იქნებოდა და ბაზარზე გაიყიდებოდა. ხეები აღირიცხებოდა და შეფასდებოდა როგორც მოჭრილი ხე-ტყის მასალა, მაგრამ შეფასების მიღმა დარჩებოდა ამ ხეების როლი, საფასური თუ ღირებულება კლიმატის რეგულაციის, ნიღვრული და წყალდიდობის წყლების და ეროზიის კონტროლის, ან რეკრეაციული თუ ესთეტიკური სერვისების კუთხით. შედეგად, იგნორირებული იქნებოდა ამ სერვისების კრიტიკული მნიშვნელობა ადამიანის კეთილდღეობისათვის. ხსენებული კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენდა ის, რომ არსებული, მომუშავე,

<sup>11</sup> გლობალური მთლიანი ეროვნული პროდუქტი - Global GDP (Gross World Product) 1960-2017, ვებ გვერდი, წყარო: <https://www.worldometers.info/gdp/>

ჰარმონიულად განვითარებული ეკოსისტემები, აწარმოებენ და გვამღევენ უამრავ შეუფასებელ სერვისს, რომლებიც ბევრად უფრო მნიშვნელოვანნი არიან, ვიდრე რესურსების საწარმოო მოპოვებითა და ექსპლუატაციით მიღებული შედეგები. გარდა ამისა, მკვლევართა ჯგუფისთვის მნიშვნელოვანი იყო ყველასთვის ეჩვენებინა იმ ღირებულების მიახლოებითი რაოდენობა (მასშტაბი, შკალა) ადამიანებისთვის გასაგებ ერთეულებში, რასაც ადვილად აღვიქვამთ და დიდ მნიშვნელობას ვანიჭებთ (მაგ. მონეტარულ ერთეულებში).

ქვემოთ გთავაზობთ რობერტ კონტანზას შემოთავაზებულ ცხრილს, სადაც მოკლედ არის აღწერილი არსებული ეკოსისტემების სერვისები და ეკოსისტემების ფუნქციური თავისებურებები (იხ. ცხრილი 2).

**ცხრილი 2.** ეკოსისტემების სერვისებისა და ფუნქციების კლასიფიკაცია (Costanza et al., 1997).

#	ეკოსისტემების სერვისები*	ეკოსისტემების ფუნქციები	მაგალითები
1	გაზების (აირების) რეგულირება	ატმოსფერულ ჰაერში შემავალი ქიმიური კომპონენტების რეგულირება	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> თანაფარდობა, O <sub>3</sub> UVB (ულტრაიისფერი სხივებისგან) დაცვისათვის, და SO <sub>x</sub> დონის რეგულირება
2	კლიმატის რეგულირება	გლობალური ტემპერატურის, ატმოსფ. ნალექების და სხვა კლიმატური პროცესების რეგულირება ადგილობრივ და გლობალურ დონეზე	„სათბურის ეფექტის“ გაზების რეგულირება, DMS**-ის წარმოება ღრუბლების ფორმირებისთვის
3	პერტურბაციების რეგულირება	ეკოსისტემების ტევადობის, ჩახშობის უნარისა და მთლიანობის შენარჩუნება, გარემოს ფლუქტუაციებზე რეაგირებისას	ქარიშხლებისგან დაცვა, წყალდიდობების კონტროლი. გვალვის შემდეგ აღდგენა და ჰაბიტატის რეაქციის სხვა ასპექტები გარემოს ვარიაციებზე, ძირითადად, მცენარეული სტრუქტურების მიერ კონტროლით
4	წყლის რეგულირება	ჰიდროლოგიური ნაკადების კონტროლი/რეგულირება	სოფლის მეურნეობის წყლით უზრუნველყოფა (ირიგაცია),

			ინდუსტრიის და ტრანსპორტირების წყლით უზრუნველყოფა
5	წყლის მიწოდება, უზრუნველყოფა	წყლის დაგროვება და შენარჩუნება	წყლით უზრუნველყოფა წყლის აუზების, წყალსაცავების და წყალშემცველი ჰორიზონტების მიერ
6	ეროზიის კონტროლი და დაღეჟვა	ეკოსისტემაში ნიადაგის შენარჩუნება	ნიადაგის ქარისმიერი, ნიაღვრული ნაკადებისმიერი, ან სხვა პროცესების მიერ დანაკარგის პრევენცია, ტბებში და ჭაობებში შლამის შენარჩუნება
7	ნიადაგის ფორმირება	ნიადაგის ფორმირებასთან დაკავშირებული პროცესები	ქვის ფენის ეროზია და ორგანული მასალი დაგროვება
8	მკვებავი ელემენტების ბრუნვის ციკლი (Nutrient cycling)	საკვები ელემენტების (ნუტრიენტების) დაგროვება, შიდა ციკლოზობა, მიღება და წარმოება	აზოტის ფიქსაცია, აზოტის, ფოსფორის და სხვა ელემენტების ან ნუტრიენტების ბრუნვა (ციკლი)
9	ნარჩენების გაწმენდა-გადამუშავება	მობილური (მოდრავი) ნუტრიენტების აღდგენა და ზედმეტი ან ბაქტერიული ნუტრიენტების და ნაერთების დაშლა-მოცილება	ნარჩენების გაწმენდა, დაბინძურების კონტროლი და დეტოქსიფიკაცია
10	დამტვერვა	მცენარეული გამეტების (სასქესო უჯრედების) მოძრაობა-გადაადგილება	მცენარეების უზრუნველყოფა დამტვერვებით (პოლინატორები) მცენარეული პოპულაციის გამრავლებისთვის
11	ბიოლოგიური კონტროლი	პოპულაციების კვებითი ჯაჭვის (ტროფიული, Trophic-dynamic) დინამიკის რეგულირება	მთავარი მტაცებლების მიერ სანადირო (მსხვერპლის) სახეობების კონტროლი, ჰერბივორების (ბალახისმჭამელთა) რაოდენობის კონტროლი ძირითადი მტაცებლების მიერ

12	თავშესაფარი (Refugia)	ჰაბიტატი (საცხოვრებელი გარემო) მკვიდრი და ტრანზიტული პოპულაციებისათვის	ინკუბატორები, ჰაბიტატი მომთაბარე (მოგრაციული) სახეობებისათვის, რეგიონული ჰაბიტატები ადგილობრივი სახეობებისათვის, ან გამოსაზამთრებელი ადგილები
13	საკვების წარმოება	მთლიანი, პირველადი წარმოების ნაწილი, რომელიც საკვებს წარმოედგენს	თევზის, ნადირის, მოსავლის, თხილეულის, ხილის წარმოება, ნადირობით, შემგროვებლობით, ნატურალ. სოფლის მეურნეობით, ან თევზჭერით
14	ნედლეული	მთლიანი, პირველადი წარმოების ნაწილი, რომელიც ნედლეულად გამოდგება	ხე-ტყის მასალა, საწვავი, ან ცხოველის საკვები (თივა, ბალახეული)
15	გენეტიკური რესურსები	უნიკალური ბიოლოგიური მასალისა და პროდუქციის წყარო	წამლები, სამეცნიერო დანიშნულების ნედლეული, მცენარეული პათოგენების და მანებლების საწინააღმდეგო გენეტიკური მასალა, დეკორატიული სახეობები (ცხოველები და მცენარეების ჰორტიკულტურული სახეობები)
16	რეკრეაცია	შესაძლებლობები რეკრეაციული აქტივობებისათვის	ეკო-ტურიზმი, სპორტული თევზჭერა და სხვა სახლის გარე აქტივობები
17	კულტურული ტიპის	არა-კომერციული გამოყენების შესაძლებლობებით უზრუნველყოფა	ეკოსისტემების ესთეტიური, სახელოვნებო, საგანმანათლებლო, სულიერი და/ან

			სამეცნიერო დირებულებები
--	--	--	----------------------------

\* - ეკოსისტემების სერვისებთან ერთად, მოცემულია ეკოსისტემების სხვა ტიპის „სიკეთეებიც“ (ლ.ა)

\*\* - დიმეთილსულფიდი (DMS), ან მეთილთიომეთანი, ორგანული გოგირდი- (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S, რომელიც ოკეანის პლანქტონის ცხოველმოქმედების შედეგად წარმოიქმნება.

მიუხედავად ეკოსისტემების სერვისებზე სამეცნიერო ლიტერატურის რაოდენობის ზრდისა, აღნიშნული კონცეფციის გამოყენება ურბანულ სივრცეებთან მიმართებაში (ურბანული ეკოსისტემების სერვისები) განსაკუთრებით გააქტიურდა 21-ე საუკუნის პირველი დეკადიდან (Hubacek & Kronenberg, 2013). საინტერესოა რომ ჯ. კარნსისა და ს.ე. პალმერის პირველი მოკლე სამეცნიერო სტატია (Cairns & Palmer, 1995), რომელიც პირდაპირ საუბრობდა ურბანულ ეკოსისტემების სერვისებზე, 1995 წელს გამოქვეყნდა. სწორედ ამ სტატიაში, ავტორებმა პირველად განაცხადეს ხმამაღლა, რომ ეკოსისტემების სერვისების კონცეფცია დიდ შესაძლებლობებს იძლეოდა ქალაქების მდგრადი განვითარებისა და მართვის საკითხების ობიექტურად შესწავლისათვის.

მომდევნო სამეცნიერო კვლევებმა დაადასტურეს რომ საჭირო იყო ახალი საკვლევი მოდელების შექმნა და განვითარება, რათა შესწავლილ ყოფილიყო როგორც ურბანული ეკოსისტემების ფუნქციონირების, ისე - ადამიანის ქმედებების გავლენა ამ სისტემებზე. ასევე, ეკოსისტემების ფუნქციონირების ზღვრებისა და ლიმიტების დადგენა ადამიანის საქმიანობის სივრცეში (Hubacek & Kronenberg, 2013). აღსანიშნავია რომ ავტორიტეტულ (იმპაქტ-ფაქტორიან) სამეცნიერო ჟურნალებში, ურბანულ ეკოსისტემების სერვისების შესახებ გამოქვეყნებული სტატიები გადანაწილებულია სხვადასხვა სპეციალიზაციის ჟურნალებში, რაც ადასტურებს ეკოსისტემების სერვისების დარგის ინტერდისციპლინურ და ხშირად, ტრანს-დისციპლინურ ხასიათს და იმ საკითხების სიმრავლეს, რომელიც მეცნიერების დაინტერესებას იწვევენ. მაგალითად, 2013 წლამდე, ყველაზე მეტი სამეცნიერო სტატია ურბანულ ეკოსისტემებზე და მათ სერვისებზე გამოქვეყნდა შემდეგ ჟურნალებში (სტატიების რაოდენობის კლების შესაბამისად, იხ. ცხრილი 3):

**ცხრილი 3.** 2013 წლამდე. სამეცნიერო ჟურნალები, რომლებშიც 2013 წლამდე გამოქვეყნდა სამეცნიერო სტატიები ურბანულ ეკოსისტემებზე (Hubacek & Kronenberg, 2013).

#	ჟურნალის დასახელება	გამოქვეყნებულ სტატიათა რაოდენობა
1	<i>Landscape and Urban Planning</i>	29
2	<i>Acta Ecologica Sinica</i>	25
3	<i>Urban Ecosystems</i>	18
4	<i>Ecology and Society</i>	14
5	<i>Ecological Economics</i>	13
6	<i>Urban Forestry and Urban Greening</i>	11
7	<i>Ecological Applications</i>	11
8	<i>Journal of Environmental Management</i>	10
9	<i>Chinese Journal of Ecology</i>	10
10	<i>Environmental Management</i>	9
11	<i>Chinese Journal of Applied Ecology</i>	9
12	<i>PloS ONE</i>	8
13	<i>Applied Geography</i>	5
14	<i>Land Use Policy</i>	5
15	<i>Ecosystems</i>	5
16	<i>Ecological Indicators</i>	5
17	<i>Arboriculture and Urban Forestry</i>	5

თუმცა, მიუხედავად სტატიების და სხვადასხვა პროფილის მქონე სამეცნიერო ჟურნალების სიმრავლისა და თემატიკის მრავალფეროვნებისა, დღეს, სავარაუდოდ უცნობია, თუ რამდენად შეესაბამება სამეცნიერო რეცენზირებადი ლიტერატურა, ურბანული ეკოსისტემების სერვისების საკითხების სრულ და ამომწურავ განხილვას, ან რამდენად სრულია იმ საკვლევი საკითხების ჩამონათვალი, რომლებიც შეეხებიან და ახასიათებენ ურბანული ეკოსისტემების სერვისებისა და ურბანული დაგეგმარებისა და მართვის მრავალფეროვან საკითხებს (მოსახლეობა, ბიოლოგია, გეოგრაფია, ეკოლოგია, ჰაერის, წყლის, ნიადაგების ფიზიკა და ქიმია, გარემოს გავლენა ჯანმრთელობაზე და ბიომრავალფეროვნებაზე, ურბანული ლანდშაფტებისა და საცხოვრებელი გარემოს შესწავლა, ურბანული დაგეგმარება და გარემო და სხვა).

ასევე, ნაკლებად სტრუქტურირებულია ურბანული ეკოსისტემების კვლევის მიმართება საკვლევი ტერიტორიის (-ების) მრავალფეროვნებისა და ტაქსონომიებისადმი (რეგიონი, ქალაქის ზომა, პერი-ურბანული და ურბანული სივრცეები, სხვა), დაინტერესებულ მხარეთა გავლენა-ჩართულობისა და გარემოსდაცვითი სამართლიანობის საკითხებისადმი და აღნიშნული ეკოსისტემების სერვისების სამართლებრივი, რეგულატორული და ეთიკური ასპექტებისადმი.

ურბანულ გარემოში (ან ურბანიზირებულ ტერიტორიებზე), განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია ისეთი საკითხების კვლევა, რომლებიც მოიცავენ ადამიანის კეთილდღეობის მრავალფეროვან ასპექტებსა და ურბანული ეკოსისტემების სტრუქტურას და ფუნქციებს; ამ ორი სამყაროს (ადამიანი და მის მიერ შექმნილი გარემო და ურბანული სივრცის ბუნებრივი და/ან ნახევრად ხელოვნური კომპონენტები) ერთმანეთთან ურთიერთობები, ურთიერთგავლენები და ურთიერთქმედებები (რომლებიც უმეტესწილად ნაკლებად, ან არასრულად არიან შესწავლილნი) ძნელად პროგნოზირებადს ხდიან ადამიანთა მიერ შექმნილი (კონსტრუირებული) სისტემების ქცევას ამ გარემოში (Pataki, 2015). ურბანიზაციისა და ურბანული ეკოსისტემების კვლევების შესახებ არსებულ ლიტერატურაში ბევრია წინააღმდეგობრივი, ან განსხვავებული შეფასებები, ამ ორი სამყაროს ურთიერთობაზე. შესაბამისად, განსხვავებულია დასკვნებიც. მაგალითად, ზოგიერთი კვლევა ამტკიცებს რომ ურბანიზაცია უარყოფითად მოქმედებს ეკოსისტემების სერვისებზე და მათ მოცულობაზე, რადგან იგი იწვევს ბუნებრივი გრუნტისა და ნიადაგის საფარის გარდაქმნას არაგამჭოლ, წყალგაუმტარ ტერიტორიებად (Amundson et al., 2015; Garcia-Nieto et al., 2018), რაც პირდაპირ გავლენას ახდენს ეკოსისტემების სხვადასხვა სერვისზე (ნიაღვრული წყლების კონტროლი, აორთქლება-ტრანსპირაცია, ნიადაგში წყლის შეკავება, სხვა);

ამავე დროს, ბევრია კვლევები, რომლებიც საწინააღმდეგოს ამბობენ. მაგალითად, ერთ-ერთი კვლევაში, ჩინეთის ერთ-ერთ ცენტრალურ რეგიონზე, აღნიშნულია, რომ კორელაცია, მოსახლეობის სიმჭიდროვესა და სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობისთვის მნიშვნელოვან ეკოსისტემების სერვისებს შორის, დადებითია (Li & Zhou, 2016). სხვა, მსგავს სამეცნიერო კვლევებში, რამდენიმე შემთხვევაში აღმოჩნდა, რომ ე.წ. „ურბანული სივრცის კუნძულის ეფექტს“, დადებითი გავლენა აქვს ფოტოსინთეზის პროცესზე და ხელს უწყობს (კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით), მცენარეების ვეგეტაციური პერიოდის გახანგრძლივებას, შესაბამისად, მათი პროდუქტიულობის გაზრდას (Li et al., 2013).



საბოლოოდ, ურბანიზაციისა და ეკოსისტემების სერვისების ურთიერთქმედება, ურბანიზაციის მიერ შემოთავაზებული ანთროპოგენული ზეწოლების შედეგად, მიუხედავად პირველადი მეტ-ნაკლებად დადებითი შედეგებისა, მაინც დამოკიდებულია ურბანიზაციის პროცესის ინტენსივობასა და ხანგრძლივობაზე. როგორც ლ. ვანი და კოლეგები გვთავაზობენ, ქ. ჰუაიბეიში (ანჰუის პროვინცია, ჩინეთის სრ) ჩატარებულ კვლევის მიხედვით, ეკოსისტემების სერვისების მოცულობა და ღირებულება შეიძლება გაიზარდოს ურბანიზაციის დაწყებით ეტაპებზე და შემცირდეს მოგვიანებით (Wan et al., 2015). ეკოსისტემების სერვისების შემცირებისა და დეგრადაციის მთავარ მიზეზებად, მკვლევართა ეს ჯგუფი ასახელებს ეკოსისტემების სტრუქტურის, ეკოლოგიური ჰაბიტატისა და ეკოსისტემაში ნივთიერებების ცირკულაციის პროცესში მოხდარ ცვლილებებს, რომლებსაც ურბანიზაციის პროცესი და ანთროპოგენული ფაქტორების ინტენსიფიკაცია იწვევენ (Fang et al., 2019).

## თავი 2. ურბანიზაცია და ქალაქების ეკოლოგია

### 2.1. ქალაქის ეკოსისტემების მნიშვნელობა ურბანულ სივრცეში

ქალაქებში საცხოვრებელი გარემოს, ან სხვაგვარად, ურბანული ეკოლოგიის საკითხებმა, ბოლო ათწლეულების განმავლობაში, ძალიან დიდი ყურადღება მიიქცეის, როგორც მეცნიერების, ისე - საზოგადოების მხრიდან (Pataki, 2015). მსოფლიოში სწრაფად მიმდინარე ურბანიზაციის ფონზე, ადამიანთა ურბანული ტიპის, ან ურბანიზირებული დასახლებები, წარმოადგენენ იმ ეკოსისტემებს, რომელთა რაოდენობა და ფართობიც ყოველწლიურად მატულობს. იზრდება ქალაქების და სხვა ურბანიზირებული ტერიტორიების გავლენა მათ მიმდებარე, პერი-ურბანულ, ან საგარეუბნო სივრცეებზეც, რაც მათი ფორმის, შინაარსისა და ფუნქციონირების პირობების ცვლილებებს იწვევს.

გარკვეულწილად, ქალაქები, „ახლებური“ ტიპის ეკოსისტემებია, რომელთა ბუნებისმიერი ანალოგი ადრე არ არსებულა. ეს „ახლებური“, ქალაქური ეკოსისტემები, შედგებიან მრავალი სახის მიკროსივრცეებისგან, სპეციფიური გარემოსგან, სადაც

შეიძლება შეგვხვდეს მთლიანად ბუნებრივი, „ნარჩენი“, ან მთლიანად „ხელოვნური“ ლანდშაფტები, ანუ ადამიანის მიერ შექმნილი სივრცეები. ყველა ეს სივრცე, ქალაქის გარემოსა და ქალაქის ეკოსისტემის ნაწილს შეადგენს. ალბათ ამიტომაც, ბოლო ათწლეულებში გამოიკვეთა ინტერესი, რომელსაც სამეცნიერო საზოგადოება და სამოქალაქო და აქტივისტთა სხვადასხვა ჯგუფები ავლენენ ქალაქების ფუნქციონირებისა და მათი შინაარსისადმი, როგორც ადგილობრივ, ისე - რეგიონულ და გლობალურ დონეებზე. ამ კვლევებისა და დაინტერესების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზად შესაძლოა ჩავთვალოთ ის, რომ ქალაქები, ან სხვაგვარად, ურბანიზირებული ტერიტორიები და სისტემები, საფუძველშივე განსხვავდებიან ბუნებრივი სისტემებისგან.

ურბანულ სისტემებში, ადამიანის როლი, გავლენები და საპროექტო გადაწყვეტები ძალიან მნიშვნელოვანია (მიუხედავად ადამიანის მიზნებისა თუ გაზრახულობებისა). შესაბამისად, მოსალოდნელი შედეგებისა და ეფექტების გათვლა ან პროგნოზირება, დაკავშირებული საცხოვრებელ გარემოზე ან ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების საკითხებთან, ბევრად უფრო რთულ და კომპლექსურ ამოცანად გადაიქცევა.

ბუნებრივი ეკოსისტემებისგან განსხვავებით, ქალაქებსა და ქალაქური სივრცეების ეკოსისტემებს გააჩნიათ უამრავი, ადამიანის მიერ შექმნილი და მის მიერვე წარმოებული კომპონენტი, რომლებიც არ არიან პირდაპირ კავშირში ბუნებრივ პროცესებთან და განსხვავებულად რეაგირებენ ფიზიკურ გარემოში მიმდინარე ცვლილებებზე. ჯერ-ჯერობით ძალიან ცოტა ვიცით იმის შესახებ, თუ როგორი იქნება ურბანული ეკოსისტემების რეაქცია და მითუმეტეს, შედეგები, ისეთ გლობალურ პროცესებზე, როგორებიცაა კლიმატის ცვლილება, ჰაერის ტემპერატურის მატება, პოლარული ყინულებისა თუ მთების მყინვარების დნობა, ბიომრავალფეროვნების შემცირება და სხვა გლობალური მასშტაბის პროცესები, რომლებიც დღეს მიმდინარეობენ, მზარდი ურბანიზაციის ფონზე (Ahern, 2013; Breuste et al., 2013).

სწორედ ამ ინტერესმა და აუცილებლობამ განაპირობა ტერმინი „ურბანული ეკოლოგიის“ გაჩენა და დღეს, ურბანული ეკოლოგია, ქალაქების შესახებ მეცნიერების,

ურბანისტიკის, შედარებით ახალი, ინტერდისციპლინური დარგია. იგი მიმართულია იმ ეკოსისტემების შესწავლაზე, რომლებიც მოიცავენ ქალაქში მცხოვრებ ადამიანებსა და ურბანიზირებულ გარემოს (ან ლანდშაფტებს). ჰერბერტ სუკოპის მიხედვით (Sukopp, 1998), ტერმინი „ურბანული ეკოლოგია“ (გერმანულად *Stadtökologie*) შეიძლება ორგვარად იქნას განმარტებული:

- 1) ბუნების შემსწავლელ მეცნიერებებში, ურბანული ეკოლოგია შეისწავლის ურბანულ სივრცეებში მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებსა და მათ ბიოლოგიურ თავისებურებებს, როგორც ბიოლოგიის, ან ეკოლოგიის ქვედისციპლინა. ამ შინაარსის თანახმად, ურბანული ეკოლოგია ცდილობს გამოიკვლიოს მცენარეთა და ცხოველთა პოპულაციებში არსებული ურთიერთობები და მათში მიმდინარე ურთიერთქმედებები იმ გარემოში, სადაც დიდია ადამიანის ზემოქმედება და გავლენა. ამ შემთხვევაში, კვლევის ეს მიმართულებები არ არის შეზღუდული ანთროპოცენტრული შეფასებებით;
- 2) ურბანული ეკოლოგიის მეორე, სხვა პერსპექტივით დანახული განსაზღვრება კი უკვე მყარად ითვალისწინებს ანთროპოცენტრულ პერსპექტივას და ურბანული ეკოლოგია უკვე გაგებულია როგორც მულტი-დისციპლინური მიდგომა - იგი სწავლობს ადამიანის საცხოვრებელ გარემოს ქალაქებში, ამ გარემოს პირობებს, ადამიანის კეთილდღეობის კუთხით და იმ ეკოლოგიურ ფუნქციებს, რომელსაც ურბანული გარემო და ეკოსისტემები სთავაზობენ ურბანულ მოსახლეობას, რაც თავის მხრივ, გულისხმობს ურბანული ეკოლოგიაში სოციალური დაგეგმარების მეცნიერებების ასპექტებს (Endlicher et al., 2007).

ბუნებრივი ეკოსისტემებისგან განსხვავებით, ურბანულ ეკოსისტემებში მრავლად არის წარმოდგენილი ანთროპოგენური კომპონენტები, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ საკუთრივ ეკოსისტემაში მიმდინარე პროცესებზე და ალბათ სწორედ ეს გარემოება ხდის აუცილებელს ბუნებრივი და ხელოვნურად შექმნილი ელემენტების ურთიერთქმედების კვლევასა და შესწავლას. ადამიანის მიერ შექმნილ და დაპროექტებულ გარემოში მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესები, რომლებსაც ზოგადად

„ეკოსისტემების სერვისებსაც“ უწოდებენ-ხოლმე, უნდა აღქმულ და დანახულ იქნას ისე, რომ შესაძლებელი გახდეს ურბანულ გარემოში არსებული ნეგატიური პროცესების შერბილება (ჰაერისა და წყლის დაბინძურება, გაზრდილი ტემპერატურა, ბიომრავალფეროვნების შეზღუდვა, ჯანმრთელობისთვის სახიფათო გარემო) და ხშირად, ამ ზემოქმედებით გამოწვეული მოულოდნელი შედეგების სწორად შეფასება და მათი „გადათარგმნა“ ურბანული პროექტირებისა და გეგმარებისათვის საჭირო ენებზე. ეს, ვფიქრობთ აუცილებელია ეკოსისტემების კომპლექსური პროცესების სწორად გასაგებად, გარემოზე უარყოფითი გავლენების მინიმუმაციის მიზნით (Lovell & Johnston, 2009).

ერთის მხრივ, ქალაქები გაშენდა ადამიანის კეთილდღეობისათვის და მისი ცხოვრებისა და აქტივობებისათვის მრავალფეროვანი შესაძლებლობების მისაცემად (ვაჭრობა, ბიზნესი, ჯანდაცვა, საჯარო და კერძო ტრანსპორტი, განათლება, სამოქალაქო თავდაცვა, ადმინისტრაცია და მართვა, სხვა), თუმცა საკმაოდ განსხვავებულია ურბანიზაციის შედეგად მიღებული რეალობა. ურბანიზაციამ გამოიწვია ის, რომ ქალაქებში არსებულ საცხოვრებელ გარემოს, მის ნაშენ და არანაშენ (ბუნებრივად არსებულ) სივრცეებს, უამრავი ურთიერთკავშირი გააჩნიათ და ისინი პირდაპირ თუ ირიბად, უკავშირდებიან ადამიანის კეთილდღეობას. ურბანული ეკოსისტემების მიერ ადამიანისთვის შემოთავაზებული (ან ბუნებრივად არსებული) სერვისების კონცეფცია სწორად ამ საკითხებს განიხილავს და აღნიშნავს რომ „ეკოსისტემები მნიშვნელოვანია ადამიანის კეთილდღეობისთვის, მისთვის სხვადასხვა სახის უზრუნველყოფის, მარეგულირებელი, კულტურული და მხარდამჭერი სერვისების მიწოდების მეშვეობით“ (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

გაეროს 2005 წლის „ათასწლეულის ეკოსისტემების შეფასების“ (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) ანგარიშის თანახმად, ქალაქების სტიქიურმა ზრდამ და ახალმა მშენებლობებმა გამოიწვია ერთი მოულოდნელი შედეგი: ქალაქები ტერიტორიულად უფრო სწრაფად იზრდებიან, ვიდრე მათი მოსახლეობა. გაეროს გლობალური კვლევების შედეგად დადგინდა რომ 1990-2020 წწ. ეკონომიკურად

განვითარებულ ქვეყნებში, ურბანული მიწების ფართობი 1.8-ჯერ გაიზარდა, ხოლო ამ ქალაქების მოსახლეობა - მხოლოდ 1.2-ჯერ (UN-Habitat, 2020).

მზარდია იმ შემთხვევების რაოდენობაც, რომლებიც ადასტურებენ, რომ სტიქიურ, გაუზარებელ ცვლილებებსა და უკონტროლო ურბანიზაციას, რომლებიც მოიცავს აულაგმავ „ურბანულ ცოცვას“, მიწისა და ნიადაგების შეუქცევად დეგრადაციას, განსაკუთრებით კი ბიომრავალფეროვნების შემცირებას, შეუძლია მნიშვნელოვანი უარყოფითი შედეგები გამოიწვიოს ზოგადად განვითარებისა და ადამიანის კეთილდღეობისთვის (UN-Habitat, 2020; Simpson & Jewitt, 2019).

## 2.2. ურბანული ეკოსისტემების სერვისები და მწვანე ინფრასტრუქტურა

დღეს, განსაკუთრებულად აქტუალურია მსჯელობა იმის შესახებ, თუ როგორ შეიძლება „შევემნათ“ მდგრადი და ადამიანისთვის საცხოვრებლად კომფორტული ან ეკოლოგიურად გაწონასწორებული ქალაქები? ამ დისკუსიის დიდი ნაწილი მოიცავს მსჯელობას და პროექტებს არქიტექტურულ, გეგმარებით, სოციალურ-პოლიტიკურ, ეკონომიკურ, ტექნოლოგიურ ან ტექნიკურ საკითხებზე და შესაძლო ინვესტირებას მწვანე შენობებში, მწვანე სახურავებში ან მცირე-ნახშირბადოვანი ემისიების მქონე ენერგოსისტემებში. თუმცა, სანამ დაგეგმვასა და ინვესტირებაზე გადავალთ, ალბათ აუცილებელია იმის გაგება, თუ რა იგულისხმება „მდგრადობაში“ ან „ეკოლოგიურ წონასწორობაში“? ზოგადად, ტერმინი მდგრადობა (ინგლ. sustainability) საკმაოდ ფართო მნიშვნელობისაა და ძირითადად გულისხმობს სისტემის, ეკოსისტემის (ან უბრალოდ კომპანიის ან კორპორაციის) უნარს, დარჩეს ქმედითუნარიანი და/ან სიცოცხლისუნარიანი, განუსაზღვრელი დროით, სერიოზული დარღვევების ან ზიანის გარეშე, რომელიც შეიძლება გამოწვეულ იქნას მისი ფუნქციონირებისათვის საჭირო რესურსების ამოწურვის შედეგად (Castelbranco & Turchanina, 2017).

ბევრი მეცნიერი თანხმდება ეკოსისტემების სერვისების შესწავლის მნიშვნელობაზე, მაგრამ მიუხედავად კვლევების მრავალფეროვანი ხასიათისა, ეკოსისტემების კონცეფციის გამოყენება ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნების, სივრცითი დაგეგმარებისა და ბუნებრივი რესურსების მართვის საკითხებში, იშვიათია

(Stepniewska, 2016). თუ ქალაქგეგმარების მიზნად სოციალურად, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად მდგრად ურბანულ განვითარებას დავისახავთ, ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურას შეუძლია ხელი შეუწყოს მრავალგვარი საზოგადოებრივი ამოცანების გადაჭრას: ეს ამოცანები შეიძლება მოიცავდეს ჯანმრთელი ცხოვრების წესის გავრცელებას და ქალაქის მცხოვრებთა კეთილდღეობას, კლიმატის ცვლილებებთან საცხოვრებელი გარემოს ადაპტაციას და ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნება-კონსერვაციას (Hansen et al., 2018).

ქალაქებში, პარკების და მწვანე სივრცეების მნიშვნელობა განსაკუთრებით დიდია შემდეგი ძირითადი ეკოსისტემების სერვისების გამო (იხ. ნახატი “A”):

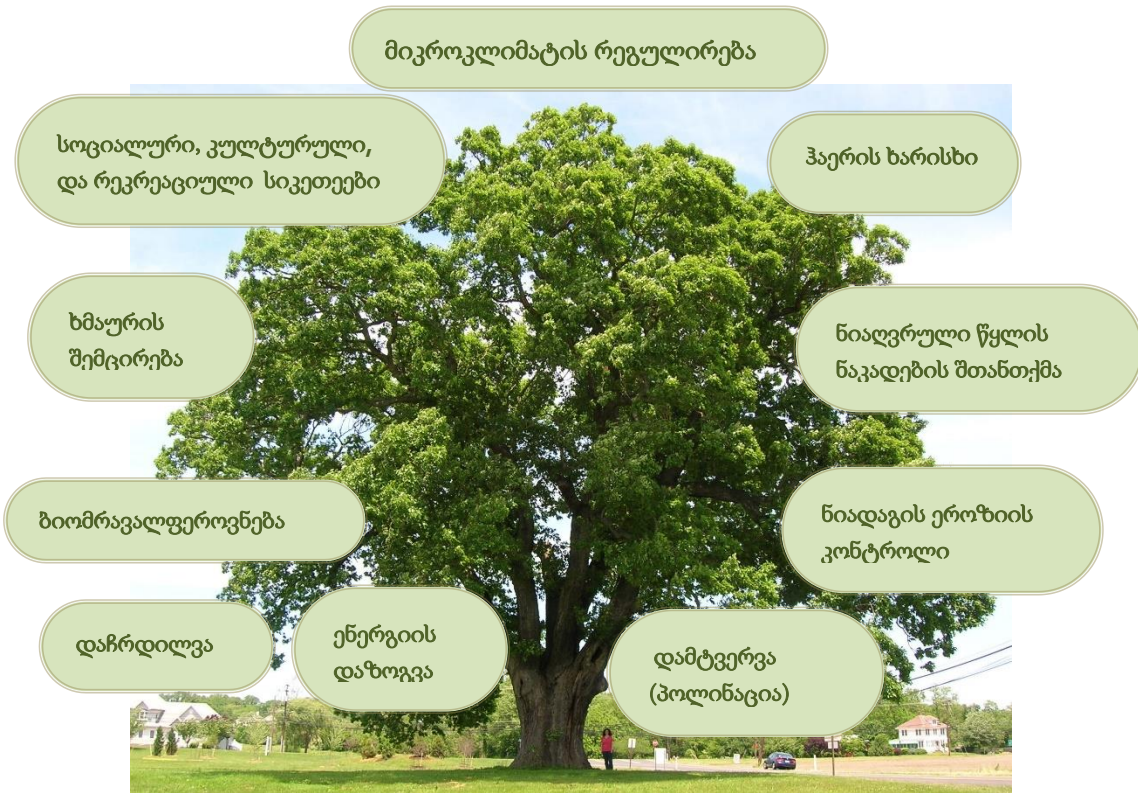
- 1) მწვანე მცენარეულობა, განსაკუთრებით კი ტყეები (პარკებში, სკვერებში, სხვა), ამცირებენ ურბანულ სივრცეში წარმოქმნილ მაღალ ტემპერატურებს, დაჩრდილვისა და ევაპოტრანსპირაციის მეშვეობით<sup>12</sup>;
- 2) ქალაქების პარკების ტყეები, ხელს უწყობენ ლოკალური ქარების, პარკების ბრიზული ნაკადების, წარმოშობას, (პარკის თავზე არსებული გრილი ჰაერი ქრის მიმდებარე ცხელი შემოგარენის მიმართულებით);
- 3) პარკები არბილებენ ლოკალური წვიმის და მაღალი ტემპერატურების ანომალიებს, რომლებსაც ხელს უწყობს ურბანული „სიცხის კუნძულების“ ეფექტი<sup>13</sup>;
- 4) პარკების ხე-მცენარეები შთანთქავენ ნახშირორჟანგს (ე.წ. Carbon sequestration, ინგლ.) და ატმოსფეროს სხვა დამაბინძურებლებს და „ინახავენ“ ატმოსფეროდან შთანთქმულ ნახშირბადს თავიანთ ბოჭკოვან სხეულში (ე.წ. Carbon storage, ინგლ.) ;
- 5) ხელს უწყობენ ნიადაგის ნაყოფიერი შრის შექმნას და აჩერებენ ნიადაგის ეროზიულ პროცესებს, ისრუტავენ წვიმის წყალსა და წყლის ზედაპირულ ნაკადებს; ამცირებენ ნიაღვრული წყლების ზემოქმედებას ქალაქებში (ე.წ. run-off water flow) და ამცირებენ დატვირთვას ქალაქის საკანალიზაციო და ნიაღვრულ სისტემებზე;

<sup>12</sup> ევაპოტრანსპირაცია (ინგლ. evapotranspiration) - წყლის სხვადასხვა ზედაპირებიდან (მიწიდან - „ევაპორიზაცია“, და მცენარეებიდან - „ტრანსპირაცია) აორთქლების ინტეგრირებული პროცესი, რომელიც ზედაპირის გაგრილებას იწვევს (<http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e04.htm>).

<sup>13</sup> ტერმინი „სიცხის კუნძული“ (ან „ურბანული თბური კუნძული“, ინგლ. “Urban heat island”) აღწერს მოვლენას, როდესაც ტემპერატურა ქალაქის განაშენიანებულ ადგილებში უფრო მაღალია, ვიდრე ახლო მდებარე სასოფლო ტერიტორიებზე.

- 6) ხელს უწყობენ მწერების მიერ დამტვერვის პროცესს (პოლინაცია) ურბანულ ეკოლოგიურ ნიშებში;
- 7) ასუფთავებენ და ფილტრავენ წვიმისა და სხვა ჩამდინარე/ნიაღვრულ წყლებს;
- 8) ეკოსისტემის ფარგლებში, ხელს უწყობენ სხვადასხვა სახეობების გამრავლებასა და პოპულაციებში რაოდენობის ბიოლოგიურ კონტროლს;
- 9) ქმნიან საცხოვრებელ გარემოს - ჰაბიტატს - ცოცხალი ორგანიზმებისათვის და სხვადასხვა სახის ბიოტური თუ აბიოტური ფაქტორების ჩამოსაყალიბებლად;
- 10) უზრუნველყოფენ ეკოლოგიური ნიშის და სისტემების გენეტიკურ მრავალფეროვნებას;
- 11) ამცირებენ და ფანტავენ ხმაურს, დამახასიათებელს ურბანული სივრცეებისათვის (Biocca et al. 2019);
- 12) ქმნიან უნიკალურ რეკრეაციულ და კულტურულ ღირებულებას და დადებით ემოციურ-ფსიქოლოგიურ გარემოს (Bolund & Hunhammar, 1999).

ზოგადად, ხეებისა და ტყეების გავლენა კლიმატზე მრავალმხრივია და იგი გულისხმობს ამ გავლენის განსხვავებულ მასშტაბს, ქუჩაში მდებარე ერთი ხიდან პარკებამდე, ან ურბანულ ტყეებამდე, რომლებიც შეიძლება უშუალოდ ქალაქში ან მის გარშემო იყვნენ გაშენებულნი. ხეების „აქტივობა“ შესაძლებელია დავინახოთ მათ მიერ წყლის აორთქლებით, ქარის სიჩქარისა და მიმართულების შეცვლით, ტერიტორიის და ზედაპირის დაჩრდილვით, სხვადასხვა ურბანული სტრუქტურების ზედაპირების ტეპერატურაზე გავლენით. ამის გათვალისწინებით, ნათელია რომ ხეებს უშუალო შეხება და ფუნქცია აქვთ როგორც გარემოს თერმულ რეჟიმთან და ჰაერის ხარისხთან, ისე - ურბანული ტერიტორიის მიკროკლიმატურ, ესთეტიურ თუ კულტურულ თავისებურებებთან (Heisler, 1986). მაგალითად, გ. ჰაისლერის გამოკვლევების თანახმად, ტერიტორიაზე, სადაც ხეები ფართობის 67%-ს ფარავდნენ, ქარის სიჩქარე, მიწიდან 2 მ-ის სიმაღლეზე, 60%-ით ნაკლებია, ვიდრე ხეების საფარის არმქონე სამეზობლოში (Heisler, 1990). მნიშვნელოვანია ხეების გავლენა მზის რადიაციაზეც. ზოგიერთ შემთხვევაში, ხეებს შეუძლიათ მზისგან მომავალი რადიაციის 90%-მდე შემცირება (Heisler, 1986).



ნახატი A. ეკოსისტემების სერვისები, მოწოდებული ურბანული ხე-მცენარეების მიერ.

თავის მხრივ, ხეები, რადიაციის შთანთქმისასმილებულ ენერჯიას იყენებენ აორთქლებისთვის (ევაპორიზაცია) და ფოთლებიდან წყლის ტრანსპირაციისთვის (ერთად ამ პროცესს ევაპოტრანსპირაცია ეწოდება), რაც ჯამში ფოთლების ზედაპირის და გარშემო არსებული ჰაერის გაგრილებას იწვევს. ტრანსპირაციულ გაგრილებასთან ერთად, ხეების ჩრდილი დაბლა სწევს ხეების ვარჯის ქვეშ მდებარე ხელოვნური ზედაპირის მქონე ობიექტების (შენობები, ასფალტი, ბეტონი, პლასტმასის ზედაპირები და სხვა ხელოვნური ობიექტები, რომლებიც ურბანულ გარემოს კომპონენტები არიან) ტემპერატურას. ხეების და სხვა სახის მწვანე ნარგავების გავლენა ქალაქში ჰაერის ტემპერატურაზე, კარგად არის ცნობილი. 2002 წელს, ქ. ნიუ-იორკის ტერიტორიის თერმული რეჟიმების შესწავლისას, სატელიტიდან ქალაქის ტერიტორიის თერმული ინფრაწითელი მონაცემების და მწვანე საფარის მონაცემების ერთდროული ანალიზის შედეგად (Landsat ETM+), გაირკვა, რომ სიცხის თერმული ტალღების ნაკადების (ინგლ. heat waves) დროს, ყველაზე გრილი არეალები, რომლებიც რუკების ანალიზის შემდეგ გამოჩნდა, მწვანე მცენარეულით დაფარულ ტერიტორიებს შეესაბამებოდა (McPhearson, 2011).



დღეს, ქალაქებში ხეების დარგვა, მწვანე სახურავების დამონტაჟება და ქუჩების ხეივნების შექმნა, უკვე ქალაქის „გაგრილების“ აღიარებული პროცედურებია და აშშ-ს, ევროპისა და აზიის ბევრი მსხვილი ქალაქში (ლოს-ანჯელესი, დენვერი, ოსტინი, ჩიკაგო, მიუნხენი, ბერლინი, ბარსელონა, პარიზი, პეკინი, ჰანოი, იოკოჰამა, სხვა) 2000-იანი წლებიდან ხორციელდება. ასეთია „მილიონი-ხე-ქალაქს“ ტიპის პროგრამები, რომლის ერთ-ერთი ინიციატორებიც, 2007 წელს ნიუ-იორკი და მისი იმდროინდელი მერი, მაიკლ ბლუმბერგი იყვნენ (გეგმა: PlaNYC City-Wide Sustainability Plan, New York City, 2007)<sup>14</sup>.

ასევე საინტერესოა ხეების გავლენა ქალაქში არსებულ შენობებზე და მათ მიერ ენერჯის გამოყენებაზე - ხეებს შეუძლიათ შეამცირონ ან გაზარდონ მცხოვრებთა მიერ გათბობისთვის ან გაგრილებისთვის დახარჯული ენერჯის რაოდენობა. შესაბამისად, გაზარდონ/შეამცირონ ემისიები. მაგალითად, ხეების განლაგება ენერჯის ეკონომიისთვის, გულისხმობს შენობის აღმოსავლეთ და დასავლეთ კედლების დაჩრდილვას და ზამთრის გაბატონებული (მაგ. დასავლეთური) ქარებისგან მათ დაცვას. იმ შენობებისთვის, რომლებიც განზრახულია მზის ენერჯის გამოყენებაზე (მზის ბატარეებით/პანელებით ელექტროენერჯის დაგროვება), მნიშვნელოვანია ხეები არ განლაგდეს მზის ბატარეების და შენობის სამხრეთ მხარეებზე. თუმცა აღსანიშნავია ისიც, რომ ჩვეულებრივი სახლები, ზამთრობით, სამხრეთის მხრიდან დღის განმავლობაში საკმაოდ დიდ ენერჯიას იღებენ და თბებიან, რაც თეორიულად და პრაქტიკულადაც, ქალაქის მასშტაბით, საგრძნობლად ამცირებს გათბობისთვის გაწეულ ხარჯებსა და სითბურ ემისიებს. ზოგადად, ჰეისლერის მიხედვით (Heisler, 1986), მაქსიმალური პოტენციური ეფექტი, რომელიც ხეებს შეიძლება გააჩნდეთ ენერჯის გამოყენებაზე, ჩვეულებრივი საქალაქო სახლებისათვის, გათბობისა და გაგრილებისთვის დახარჯული ენერჯიაზე, შეადგენს 20%-დან 25%-მდე ეკონომიას.

<sup>14</sup> სამაგალითო პრაქტიკები: PlaNYC: ნიუ-იორკის გრძელვადიანი მდგრადობის გეგმა ( Best Practice: PlaNYC: NYC's Long-Term Sustainability Plan), ვებ-გვერდი: [http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/NYC\\_Environment\\_PlaNYC.pdf](http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/NYC_Environment_PlaNYC.pdf)

### თავი 3. კვლევის მეთოდები და მონაცემები

#### 3.1. ძირითადი ცნებებისა და ტერმინების განმარტება

ქვემოთ გთავაზობთ დისერტაციაში გამოყენებული და მოყვანილი ტერმინებისა და ცნებების განმარტებებს. ჩავთვალეთ, რომ ამის აუცილებლობა გამოწვეულია თემის სიახლითა და იმ მიზეზით, რომ ამ ტერმინების უმრავლესობა, ჯერ კიდევ არ არის დანერგილი ქართულ ურბანისტულ და ურბანული პოლიტიკის შესახებ სამეცნიერო ლიტერატურაში. ვფიქრობთ, ეს წაადგება მკითხველის მიერ დისერტაციის ტექსტის ადეკვატურ აღქმას და მისი შინაარსის უკეთ გაგებასა და ინტერპრეტაციას.

**მწვანე ინფრასტრუქტურა** - მწვანე ინფრასტრუქტურა წარმოადგენს ბუნებრივი და ნახევრად ბუნებრივი სივრცეების ურთიერთდაკავშირებულ ქსელს, სხვა გარემოსდაცვით თავისებურებებთან ერთად, რომელიც შექმნილია და იმართება მრავალგვარი და მრავალფეროვანი ეკოსისტემების სერვისების მისაღებად, როგორებიცაა ჰაერის ხარისხის ოპტიმიზაცია, ჰაერიდან ნახშირბადის შთანთქმა, წყლის გაწმენდა, სარეკრეაციო სივრცის არსებობა, კლიმატის გავლენის შერბილება და ადაპტაცია. მწვანე (მიწაზე არსებული სისტემები) და ლურჯი (წყლის სივრცეების) სივრცეების ეს ქსელი ხელს უწყობს გარემოს პირობების გაუმჯობესებას და ოპტიმიზაციას, რაც აუცილებელია მოქალაქეთა ჯანმრთელობისა და ცხოვრების ოპტიმალური ხარისხის შესანარჩუნებლად. მწვანე ინფრასტრუქტურა ფუნქციონირებს სხვადასხვა მასშტაბით: სამეზობლოდან მეტროპოლიური (სრულიად საქალაქო) და რეგიონული ლანდშაფტების დონეებზე.

**ნაცრისფერი ინფრასტრუქტურა** - ჩვეულებრივ, ნაცრისფერი ინფრასტრუქტურა ეწოდება ადამიანის მიერ შექმნილ და აშენებულ აქტივებს, რომლებიც დამზადებულია ბეტონის, ქვის, მინის, ასფალტი-ბიტუმის, პლასტმასის ან სხვა სამშენებლო მასალებისგან, ხიდების, გზების, შენობების, სანიაღვრე, სარწყავი და საკანალიზაციო წყლების ნაკადების ტრანსპორტირებისთვის, რომლებიც როგორც წესი, ქმნიან ქალაქების წყალგაუმტარ ზედაპირებს. ნაცრისფერი ინფრასტრუქტურა, ჩვეულებრივ, გამორიცხავს მასზე რომელიმე ეკოსისტემის გაზრდასა და ჩამოყალიბებას.

**ეკოსისტემების სერვისები** - სერვისები ან მომსახურება, რომელსაც საზოგადოება იღებს ბუნებრივი ეკოსისტემებისგან. ეს სერვისები, ან სხვაგვარად, ბუნებისგან მიღებული სიკეთეები (ე.წ. „ბენეფიტები“), შესაძლებელს ხდიან ადამიანის არსებობას მოცემულ გარემოში და წარმოადგენენ სიცოცხლის შენარჩუნებისათვის აუცილებელ ფუნქციებს, რომლებსაც ბუნებრივი ეკოსისტემები აწვდიან გარემოსა და საზოგადოებას. ეს

სერვისები მოიცავენ უზრუნველყოფის (როგორებიცაა საკვები, ხე-ტყე, ბოჭკო და სასმელი წყალი), მარეგულირებელ (როგორებიცაა წყალდიდობების კონტროლი და კლიმატის რეგულირება) და კულტურულ სერვისებს (არამატერიალური სიკეთეები, როგორებიცაა რეკრეაცია და ბუნებისგან შთაგონება/ინსპირაცია). ეკოსისტემების სერვისების ეს განმარტება მოიცავს როგორც „ბუნებრივ“ ეკოსისტემების სერვისებს (ნახშირბადის დაგროვება ხე-მცენარეების სხეულში) და ვთქვათ, ბუნების ესთეტიკური სილამაზეს, ისევე, ინტენსიურად მართვად სერვისებს (საქალაქო პარკების გაშენება, სასოფლო-სამეურნეო წარმოება ან ტურისტულ-რეკრეაციული შესაძლებლობების გამოყენება).

**უზრუნველყოფის სერვისები** - სერვისები, რომლებიც ადამიანს აწვდიან საკვებს, სასმელ წყალს, საწვავს, ბოჭკოს, მერქანს, მცენარეულ რესურსებს და სხვა საქონელს;

**მარეგულირებელი სერვისები** - ბუნებრივი რეგულაციის სერვისები (და ფუნქციები) რომლებიც მოიცავენ ჰაერისა, ნიადაგის, ან წყლის ხარისხის კონტროლს, დაავადებათა რეგულაციას, დამტვერვას, ნიადაგის ფორმირებას, წყლის ფილტრაციას, ორგანიზმების პოპულაციების კონტროლს და სხვა ბუნებრივი პროცესებს და ფუნქციებს, რომლებიც მიმდინარეობენ სხვადასხვა ეკოსისტემებში.

**კულტურული სერვისები** - სერვისები, რომლებიც საჭიროა და გამოიყენება განათლებისთვის, ესთეტიკისთვის, კულტურული მემკვიდრეობის ღირებულებებისთვის, რეკრეაციისთვის და ტურიზმისათვის.

**მხარდამჭერის სერვისები** - სერვისები, რომლებიც უზრუნველყოფენ საცხოვრებელ გარემოს, სივრცესა და ჰაბიტატს მცენარეებისთვის, ცხოველებისა და ადამიანებისთვის და უზრუნველყოფენ მთელი ეკოსისტემების სიცოცხლისუნარიანობას, როგორებიცაა ნიადაგის ფორმირება, საკვები ნივთიერებებისა და წყლის ცირკულაცია, ჰაბიტატების ჩამოყალიბება სხვადასხვა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, ბიოგენეტიკური მრავალფეროვნება და მისი შენარჩუნება; სხვა აუცილებელი სერვისები, რომლებიც აუცილებელია სხვა ეკოსისტემების სერვისების წარმოებისათვის.

**ნახშირბადის სეკვესტრირება ატმოსფეროდან** - ფოტოსინთეზის საშუალებით, ატმოსფეროდან ნახშირბადის შთანთქმა მცენარეების მიერ, მისი სხეულში (ბოჭკოში) ბიომასის შენახვის მიზნით. ეს პროცესი, ნახშირბადის ციკლის ნაწილია.

**ნახშირბადის შენახვა** - ხეების მიერ ატმოსფეროდან ნახშირორჟანგის შთანთქმა და შემდეგ, ფოტოსინთეზის მეშვეობით (შუქისა და წყლის მოლეკულებით) მისი გარდაქმნა გლუკოზად ( $C_6H_{12}O_6$ ) და ჟანგბადად ( $6O_2$ ). მიღებული ბოჭკოვანი მასალა (ღერო,

ფოთლები, ტოტები), ატმოსფეროდან შთანთქმულ ნახშირბადს თავიანთ სხეულში ინახავენ, ხოლო მცენარის კვდომის, ლპობის ან დაწვის დროს, მას ისევ ატმოსფეროში აბრუნებენ.

**ურბანული ეკოლოგია** - მეცნიერების დარგი, რომელიც იკვლევს და სწავლობს ცოცხალი ორგანიზმების ურთიერთქმედებას ერთმანეთთან და გარემოსთან, ურბანული გარემოს პირობებში. ურბანული ეკოლოგია ასევე სწავლობს ადამიანის, ბუნებისა და ურბანული სისტემების ურთიერთქმედებას, ადამიანის საცხოვრებელ გარემოს და ურბანული ეკოსისტემების მდგომარეობას და იმ ეკოლოგიურ ფუნქციებს, რომლებიც აუცილებელია ადამიანთა საზოგადოების სიცოცხლისუნარიანობისათვის ამ გარემოში.

**ურბანული ეკოსისტემები** - ურბანული ეკოსისტემები მოიცავენ ქალაქებსა და მათ შემოგარენს და წარმოადგენენ სოციალურ-ეკოლოგიურ სისტემებს, რომლებშიც ადამიანები ცხოვრობენ. ისინი განსაკუთრებული თვისებების მქონე სისტემები არიან: ისინი მთლიანად ხელოვნურად არიან შექმნილნი, მაგრამ სხვადასხვა დოზით მოიცავენ თითქმის ყველა სხვა ეკოსისტემას (მაგალითად ტყეებს, მდინარეებს, წყალსაცავებს, ტბებს, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს), რომლებიც ქალაქის ან მისი გარეუბნების მიწებზე არსებობენ, სხვადასხვა ტიპის მიწათსარგებლობის ზონებში. ურბანული ეკოსისტემები, ზოგადად, ურბანული ლანდშაფტის ნაწილნი არიან, სადაც ადამიანთა საზოგადოება ურთიერთქმედებს ლანდშაფტის სხვადასხვა ელემენტთან.

**ურბანული ტყეები** - ურბანული, ან სხვაგვარად, ქალაქის ტყეები, წარმოდგენილია მისი მრავალი სახით. ეს შეიძლება იყოს ქალაქში არსებული პარკების, ქუჩების გასწვრივ ან მდინარისპირა არსებული ხეივნების, საქალაქო ბულვარების, სკვერების, სასაფლაოების, ქარსაცავი ან სხვა ტიპის დამცავი მწვანე ზოლების ხე-მცენარეული, რომლებიც სხვადასხვა ფორმითა და ზომით ქმნიან ქალაქის ტყის საფარს. ურბანული ტყეები, ქალაქის სხვა მცენარეულთან ერთად, ქმნიან ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურას, რომლის ფუნქციონირებასა და სერვისებზეა დამოკიდებული ქალაქის გარემო და მასში მცხოვრებ ადამიანთა საზოგადოების ცხოვრება.

**ჰაერის დამაბინძურებელი ნივთიერებები** - ატმოსფერულ ჰაერში არსებული სხვადასხვა აირები (ოზონი -  $O_3$ , გოგირდის ოქსიდები-  $SO_x$ , აზოტოვანი ოქსიდები -  $NO_x$ , ნახშირბადის მონოოქსიდი -CO, აქროლადი ორგანული ნაერთები -Volatile Organic Compounds, VOCs) და 10 მიკრონზე (მიკრონი, მიკრომეტრი,  $\mu m$  - 0.001 მმ) ნაკლები ზომის მქონე, ჰაერში არსებული მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები (‘მყარი ნაწილაკები’, Particulate Matter - $PM_{10}$ , და  $PM_{2.5}$ ), რომლებიც მოიცავენ მრავალგვარი შემადგენლობის (ნიტრატები, სულფატები, ორგანული ნივთიერებები, მეტალები, ნიადაგი, მტვერი, ალერგენები, სპორები, ჭვარტლი, სხვა ) მყარ და თხევად ნაწილაკებს.

**ურბანიზირებული სივრცე** (ტერიტორია) - შენობა-ნაგებობებით განაშენიანებული და სხვადასხვა სახის ინფრასტრუქტურის მქონე ტერიტორია (სატრანსპორტო, დენის ქსელები, ჰიდროტექნიკური, სხვა), მოსახლეობის მაღალი სიმჭიდროვით.

**პერი-ურბანული ტერიტორიები** - პერი-ურბანული ტერიტორიები წარმოადგენენ გარდამავალ ზონას ურბანულ და სასოფლო ტერიტორიებს შორის. ჩვეულებრივ, ისინი ურბანული საზღვრების შემდეგ იწყებიან და ბუნებრივ ან სასოფლო-სამეურნეო ლანდაშაფტებს წარმოადგენენ. ქალაქების ზრდის გამო, პერი-ურბანული ზონები პოროვანია, მათ გარდამავალი ფუნქციები აქვთ და ბევრგან, მათ საზღვრებში ურბანიზირებული ტერიტორიები შემოდინან. ბევრ ქალაქს, თავიანთი გარეუბნების საზღვრებზე, პერი-ურბანული პარკები აკრავთ, რომლებსაც ხშირად დამცავი ფუნქციები აკისრიათ. როგორც წესი, პერი-ურბანული პარკების, ტყეების, ველების ან სხვა ლანდაშაფტების ბუნება უფრო ველურია, ბევრად აღემატება ქალაქების ურბანულ პარკებს ტერიტორიით და ხასიათდება ბევრად მაღალი ბიომრავალფეროვნებით.

**ურბანული ცოცვა** - უკონტროლო და ქაოტური ურბანული განვითარება, განაშენიანებული ტერიტორიის გარეთ; ქალაქური განაშენიანების არაგეგმიური განშლა-განვითარება, ახალი, გაუნაშენიანებელი ტერიტორიების ათვისებით, რომელიც იწვევს გარემოს დეგრადაციასა და ურბანული სტრუქტურების და ინფრასტრუქტურის არახელსაყრელ განაწილებას.

წარმოდგენილი კვლევა, თავისი შინაარსით, ანალიტიკური, სოციალურ-ეკონომიკური და სოციალურ-ეკოლოგიური ხასიათისაა და შეისწავლის ურბანული ეკოსისტემებისა და ადამიანი-ბუნების ურთიერთქმედებას ურბანულ გარემოში. ეკოსისტემების შეფასება აუცილებელია ეკოსისტემებსა და ადამიანს შორის ურთიერთქმედების იმ შინაარსის გაცნობიერებისა და კომუნიკაციისთვის, რომლებსაც ჩვენ, ეკოლოგიური სისტემებიდან ვიღებთ. ეკოსისტემების მიერ გაწეული სერვისების შესაფასებლად და მათი მნიშვნელობის დასადგენად, აუცილებელია ამ სერვისების სწორად გაგება, მათი შესწავლა და შემდეგ მათი შეფასება. თბილისის პარკების ეკოსისტემების სერვისების აღსაწერად და შესაფასებლად კვლევისთვის გამოყენებულ იქნა აშშ-ს სოფლის მეურნეობის დეპარტამენტის სატყეო ფედერალური სამსახურის

მიერ შემუშავებული მეთოდი i-Tree Eco V6 (ვერსია 6)<sup>15</sup> (*i-Tree*, 2022) - მსოფლიოს მასშტაბით ხელმისაწვდომი სოფტი/პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც იყენებს და გადაამუშავებს, სხვადასხვა სახის კლიმატურ, გეოგრაფიულ და ბიოგეოგრაფიულ მონაცემებს ეკოსისტემების სერვისების პარამეტრების გამოსათვლელად და ურბანული თუ სხვა ტყეების სტრუქტურული და ფუნქციური მახასიათებლების ანალიზისა და მოდელირებისთვის.

მეთოდის ოპერაციონალიზაციისთვის აუცილებელი იყო ადგილობრივი მეტეოროლოგიური (ნალექების საათობრივი მონაცემები/რაოდენობა, ჰაერის ტემპერატურა, ქარების ქროლის მონაცემები) და ჰაერის დაბინძურების საათობრივი და სხვა ზოგადგეოგრაფიული, ბიოლოგიური და კლიმატური მონაცემების სისტემაში შეყვანა, რომლის მეშვეობით სისტემის ალგორითმი დაიანგარიშებს ტყეების სტრუქტურას, გარემოსდაცვით ეფექტებსა და ღირებულებებს, მოცემულ ადგილას. აღსანიშნავია, რომ კვლევის შედეგად, პირველად სამხრეთ კავკასიის ქალაქებს შორის, შესაძლებელი გახდა, ურბანული ეკოსისტემების სერვისების კვლევისათვის, i-Tree Eco-ს პლატფორმაში ჩატვირთულიყო სისტემისათვის აუცილებელი ყველა მონაცემი, სამომავლო კვლევებისათვის. მონაცემების მოპოვებაში აღსანიშნავია საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოსა და თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დროული და გულწრფელი თანადგომა.

ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შესწავლისათვის განსაზღვრული პროგრამა-სოფტი, i-Tree Eco V6, ისეა შექმნილი რომ იგი გამოიყენებს სავსე მონაცემებს როგორც სრული ინვენტარიზაციის, ისე - შემთხვევითი შერჩევის კვლევებისთვის, სხვადასხვა ზომის და მასშტაბის საკვლევ ფართობებზე. i-Tree Eco-ს საშუალებით, სავსე და კლიმატური მონაცემების დამუშავების შედეგად, შესაძლებელია შერჩეული ურბანული პარკების ხეების სივრცული და სახეობითი

<sup>15</sup> რა არის i-Tree? (What is i-Tree?) (2020) - i-Tree, წარმოადგენს აშშ-ს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს (USDA) აშშ-ს ტყის ფედერალური სერვისის (US Forest Service), დეივის ტყის საექსპერტო კომპანიის (Davey Tree Expert Company), „არბორ დეი ფონდის“ (The Arbor Day Foundation), მუნიციპალური არბორისტების ასოციაციის (Society of Municipal Arborists), დეკორატიული მეტყევეობის საერთაშორისო ასოციაციის (International Society of Arboriculture), „კეისი ტრიიზ“ (Casey Trees), და ნიუ-იორკის შტატის უნივერსიტეტის SUNY გარემოსდაცვითი მეცნიერებისა და მეტყევეობის კოლეჯის (SUNY College of Environmental Science and Forestry) ერთობლივად შემუშავებულ კვლევით პლატფორმას. ვებ-გვერდი: <https://www.itreetools.org/about>.

განაწილებისა და გარემოსთვის მათ მიერ გაწეული „მომსახურების“ (სერვისების) მონაცემების მიღება. კერძოდ, კვლევის არსებული (და სამომავლო) შედეგების ჩამონათვალი, დღეს უკვე ხელმისაწვდომია ყველა მკვლევარისათვის (იხ. i-Tree Eco, itreetools.org) (*i-Tree, 2022*)<sup>16</sup>. საკვლევი საკითხების (და მიღებული შედეგების) ჩამონათვალი შემდეგნაირად გამოიყურება:

ა) ურბანული პარკების ხეების სახეობების მდგომარეობა და განაწილება, ფოთლოვანი საფარის ფართობი და ბიომასა;

ბ) არსებული ხე-მცენარეების სახეობების მნიშვნელობა (ღირებულება) ეკოსისტემების სერვისებისათვის;

გ) ჰაერიდან სხვადასხვა დამაბინძურებლების (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> და მყარი ნაწილაკებისგან - PM<sub>10</sub> PM<sub>2.5</sub>) შთანთქმული რაოდენობა და ღირებულება (კგ/წელიწადში, დოლარში ან ლარში);

დ) ნახშირბადის ატმოსფეროდან შთანთქმული რაოდენობა და ღირებულება (Carbon sequestration) და დაგროვებული ნახშირბადის /carbon storage (კგ/წელიწადში, დოლარში ან ლარში);

ე) ზედაპირული/ნიაღვრული წყლების თავიდან აცილებული ჩადინების (avoided runoff, ინგლ.) რაოდენობა (მ<sup>3</sup>-ში) და მათი ღირებულება.

ვ) გამოკვლეული პარკების ეკოსისტემების სავარაუდო მონეტარული შეფასება და შეფასების გასაშუალოებული შედეგების განზოგადება (ექსტრაპოლაცია) თბილისის სხვა, ცხრამეტ საქალაქო პარკზე; პარკების კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემების შედარება თბილისის ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეული საფარის ეკოსისტემების სერვისებთან, i-Tree Eco-ს მონათესავე პროგრამის, i-Tree Canopy-ს გამოყენებით, რომელიც google map-ზე დაყრდნობით, ქალაქში არსებული მცენარეულის მწვანე საფარველის, ღია გრუნტის, მყარი, არაგამჭოლი ზედაპირებისა და შენობების ფართობების გათვალისწინებით, შერჩეულ პოლიგონზე გამოითვლის ეკოსისტემების

<sup>16</sup> i-Tree Eco-ს პლატფორმის შეტყობინებით, ჩვენი კვლევის შედეგები უკვე ხელმისაწვდომია 2021 წლიდან. სისტემაში საბოლოოდ მოხდა თბილისის 2018 წლის კლიმატისა და ჰაერის დაბინძურების საათობრივი მონაცემების ვალიდაცია და ინტეგრაცია i-Tree Eco-ს მონაცემთა გლობალურ ბაზაში იხ. ბმული: <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-international/reports-nation> (Georgia, Sakartvelo).

რიგ სერვისებს. კვლევის სრულყოფილად ჩატარებისთვის და i-Tree Eco-ს სოფტ-პროგრამის მოდელის (*i-Tree, 2022*) ოპერაციონალიზაციისთვის მოხდა აუცილებელი სავსე მონაცემების შეგროვება. ორივე პარკში, თითოეული ხისათვის, აღებულ იქნება შემდეგი მონაცემები:

ა) ხის უნიკალური იდენტიფიკატორი/ნომერი, ბ) სახეობის (ლათ. genus) დასახელება (ქართულად და ლათინურად), გ) თითოეული ხისა და საკვლევი ნაკვეთის ცენტრის GPS კოორდინატები, ხის სტატუსი (ბუნებრივად აღმოცენებული თუ დარგული), დ) მდებარეობა (ქუჩა თუ არა-ქუჩა), ე) სიმაღლე (მთლიანი და ცოცხალი ფოთლოვან საფარამდე), ვ) სიმაღლე ფოთლოვან საფარამდე (ძირიდან), ზ) ხის ღეროს დიამეტრი მკერდის სიმაღლეზე, DBH, (1.38 მ სიმაღლეზე, 5 სმ > სისქის ვარჯისთვის), თ) ფოთლოვანი საფარის (გვირგვინის) სიგანე (N - S და E - W მიმართულებები), ი) ხის ფოთლოვანი საფარის დანაკლისი (პროცენტი), კ) გამხმარი (მკვდარი) ტოტების პროცენტი ხის ვარჯზე (გვირგვინზე).

ზემოთ აღნიშნული სავსე კვლევის შედეგად შეგროვილი მონაცემები შეყვანილ იქნა i-Tree Eco V6-ის სისტემაში, თითოეული პარკისათვის ცალკე პროექტის სახით.

სავსე მონაცემების შეყვანისთვის და მონაცემების დამუშავებისთვის, i-Tree Eco-ს სისტემა ითხოვს მათ შესაბამისობაში მოყვანას სოფტ-პროგრამის ფორმატთან (ხე-მცენარეების სამეცნიერო დასახელებების გასწორება და შესაბამისობაში მოყვანა სახეობათა გლობალურ ბაზასთან, სავსე მონაცემების პროგრამის შესაბამის ფორმატში განაწილებას. ამ პროცედურების დასრულების შემდეგ, მოხდა პროექტის დამუშავება, სავსე მონაცემების ოპერაციონალიზაცია, ასევე ჩვენს მიერ გაგზავნილ გეოგრაფიული, კლიმატური და ჰაერის დაბინძურების საათობრივი მონაცემების ინტეგრაცია სისტემაში და საბოლოოდ, პროექტის ანალიტიკური დამუშავება (მოდელირება) i-Tree Eco v6 -ის ანალიტიკური ალგორითმით (შექმნილი აშშ-ს სატყეო ფედერალური სამსახურისა და რამდენიმე სამეცნიერო-კვლევითი ორგანიზაციის კვლევით ლაბორატორიებში).

კვლევის მეთოდოლოგია, გარდა აღნიშნული მეთოდის გამოყენებისა და სავსე კვლევითი სამუშაოებისა, მოიცავდა შემდეგ მიმართულებებს:



1. თბილისის პარკების მოკლე ისტორიულ-გეოგრაფიული ანალიზი, ქალაქების ეკოსისტემების სერვისების თანამედროვე „საუკეთესო პრაქტიკის“ ანალიზი და გამოყენება;
2. თბილისის ისტორიული და თანამედროვე რუკების, ქ. თბილისზე არსებული სივრცული ინფორმაციის მოძიება;
3. თბილისის პარკებში არსებული ხეების სახეობების იდენტიფიკაცია, ლათინური სახელწოდებების ჩაწერა, ელექტრონული ინფორმაციის მომზადება i-Tree Eco-ს ბაზისთვის ;
4. თბილისის 2018 წლის ძირითადი კლიმატური (გარემოს ეროვნული სააგენტოდან) და ჰაერის დაბინძურების საათობრივი მონაცემების (ჰაერის მონიტორინგის ავტომატური სადგურებიდან) მოძიება და კომპიუტერულ პროგრამაში (i-Tree Eco) ინტეგრირება;
5. საექსპერტო შეხვედრებსა და ინტერვიუებს ქართველ და უცხოელ ურბანისტებთან, არქიტექტორებთან და გეოგრაფებთან;
6. I-tree Eco v6-ს მეთოდის პრაქტიკულ შესწავლა (განხორციელდა ქ. მიუნხენის ტექნოლოგიურ უნივერსიტეტში, TUM-ში) გერმანიაში - სტარტეგიული ლანდშაფტური დაგეგმარებისა და მენეჯმენტის სკოლაში, პროფესორ შტეფან პაულაიტთან (Stephan Pauleit) და ქ. გარმიშ-პარტენკირხენში (გერმანია) მდებარე, კარლსრუეს ტექნოლოგიური ინსტიტუტის (KIT) ალპურ კამპუსში, დოქტორ როკო პაჩესთან (Rocco Pace);
7. ანალიტიკური მასალების შესწავლა ქართულ, ინგლისურ, გერმანულ და რუსულ ენებზე; ლიტერატურისა და სხვადასხვა მედია პლატფორმების ანალიზი.
8. კვლევის შედეგების საბოლოო დამუშავება, პროგრამაში ჩატვირთვა და ანალიზი (განხორციელდა აშშ-ს სატყეო სერვისის ფედერალური სააგენტოს, USDA Forest Service-ის i-Tree Eco პლატფორმის დახმარებით);
9. კვლევით მიღებული შედეგების ექსტრაპოლაცია (ნახშირორჟანგის შთანთქმისა და დაგროვების და საკვლევი ფართობების გასაშუალოებელი მაჩვენებლები) თბილისის სხვა ცხრამეტი (19), მსგავსი სტრუქტურის მქონე საქალაქო პარკებზე;
10. თბილისში არსებული პარკების გარდა, თბილისის სასაფლაოებზე არსებული ხე-მცენარეული ეკოსისტემების სერვისების პოტენციალის შეფასებას i-Tree Canopy-ის მეთოდით (ვაკის სასაფლაოს მწვანე საფარველის ეკოსისტემების შეფასება, პოლიგონის რუკის ანალიზის მეშვეობით), თბილისის მსხვილი სასაფლაოებისთვის, ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის ეკოსისტემების შეფასების და მისი ექსტრაპოლაციის მეშვეობით.

11. სტატიის მომზადება და გამოქვეყნება იმპაქტ ფაქტორის მქონე საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალში (უკვე გამოქვეყნდა ჟურნალ Climate-ში, 2021, 9, 157) (Alpaidze & Pace, 2021);

12. მონაწილეობის მიღება ეკოსისტემებისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში, Urban Forum (ქ. თბილისი, 2018) და საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში, SURE 2020-2021, ქ. პოზნანში (პოლონეთი)<sup>17</sup> (ავტორმა, მომხსენებლის რანგში მიიღო მონაწილეობა აღნიშნულ კონფერენციაში 2021 წლის 7-9 ივლისს).

### 3.2. კვლევის შედეგების სამეცნიერო ღირებულება და პრაქტიკული გამოყენება

ჩვენი კვლევის მოსალოდნელი შედეგების სამეცნიერო ღირებულების შესაფასებლად კარგი იქნება იმ მდგომარეობისა და არსებული გამოცდილების გააზრება, რომელიც საქართველოში გვაქვს ურბანულ ეკოლოგიაში და ურბანულ დაგეგმარებაში.

ბოლო ათწლეულების ურბანულმა და სამშენებლო “ბუმმა”, თბილისში, ბათუმში და საქართველოს სხვა ქალაქებში, თვალნათლივ დაგვანახა რომ სტიქიურმა განვითარებამ, მშენებლობამ და ქალაქების ტერიტორიულმა ზრდამ, შესაძლოა ახალი, მოულოდნელი და სავალალო შედეგების მქონე პრობლემებამდე მიგვიყვანოს.

ურბანული ეკოსისტემების და მათ მიერ მოწოდებული სერვისების შესწავლა და მათ მიერ მოწოდებული მომსახურებისა თუ სარგებელის აღქმა, საჭიროა ქალაქების სწორი განვითარებისთვის. ქალაქების განვითარება და კეთილმოწყობა, ქალაქის მცხოვრებთა საცხოვრებელი პირობების გაუმჯობესება, ადამიანური, თანასწორი და სამართლიანი საცხოვრებელი გარემოს შექმნა კი ყველა ურბანული გეგმის ნაწილია. შესაბამისად, საქართველოს ქალაქებისა და ურბანიზებული ზონების სამომავლო დაგეგმვისათვის, აუცილებელია კვლევა არსებული გარემოს შესწავლით დავიწყოთ. თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურისა და კერძოდ, საჯარო ურბანული პარკების

<sup>17</sup> ქალაქები, როგორც ეკოლოგიური სისტემები - ურბანული ეკოლოგიის საზოგადოების მე-3 მსოფლიო კონფერენცია (Cities As Social Ecological Systems - The 3rd World Conference of the Society for Urban Ecology), ქ. პოზნანი, პოლონეთი, 2020/21; ვებ-ბმული: <https://sure2020.org/>

შესწავლა, საშუალებას მოგვცემს გავიაზროთ და ნაწილობრივ ვუპასუხოთ რამდენიმე მნიშვნელოვან საკვლევ საკითხს:

- რას აძლევენ ურბანული პარკები ქალაქსა და მის მცხოვრებლებს?
- რას ნიშნავს და როგორ შეიძლება შეფასდეს ის სერვისები, რომლებითაც ქალაქის პარკებში არსებული ხე-მცენარეები უზრუნველყოფენ თბილისს?
- რატომ არის მნიშვნელოვანი პარკების შენარჩუნება, გაფართოება და კეთილმოწყობა?
- როგორ უნდა დაიგეგმოს ადამიანისთვის სასარგებლო და ოპტიმალური გარემო, რომელიც ბუნებრივი მეთოდებითა და სერვისებით გაუმკლავდება სიცხეს, ჰაერის დაბინძურებას, ნიაღვრულ წყლებს, გაგრილებასა და სიცივეს?

დღეს, ამ მნიშვნელოვან კითხვებზე პასუხები არ ვიცით და ქალაქის დაგეგმარების, ქალაქის მცხოვრებთა საცხოვრებელი და საარსებო პირობების გაუმჯობესების, ურბანული ეკოლოგიის, ქალაქების განვითარების, მდგრადობისა და ელასტიურობის (გამძლეობა, resilience) საკითხების გადაჭრა, ხშირად არასწორი მეთოდებითა და დაუსაბუთებელი გაწყვეტილებების საფუძველზე ხდება.

ევროკავშირში, განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა და დიდი როლი ენიჭება ე.წ. „ბუნებაზე დამყარებულ გადაწყვეტებს“ (Nature-Based-Solutions, NBS). ასეთი მიდგომა ფართოდ გამოიყენება გარემოს დაცვის სფეროში და ზოგადად, გარემოსდაცვით სფეროში. ურბანული საცხოვრებელი გარემოს მრავალფეროვანმა სამეცნიერო კვლევებმა და საკითხისადმი ასეთმა დამოკიდებულებამ ევროპა ჩამოაყალიბა მსოფლიო ლიდერად როგორც სამეცნიერო კვლევაში, ისე - იმ ინოვაციებში, რომლებიც პრობლემების ბუნებრივი გზებით გადაწყვეტაზეა დაფუძნებული (European Commission, Directorate-General for Environment, 2015). სწორედ ასეთი გადაწყვეტის ეფექტურ გზად შეიძლება გადაიქცეს მწვანე ურბანული ეკოსისტემების სერვისების სამეცნიერო შესწავლა და ურბანული პარკების ხე-მცენარეების მიერ შექმნილი ბუნებრივი ეკოსისტემების გამოყენება ქალაქის ეკოლოგიური ბალანსის გაუმჯობესებისათვის, ბუნებრივი მეთოდებით.

ამ კონცეფციის თანახმად, თუ ურბანული გარემოს მდგრადი მართვის საკითხებს შევხებით, ურბანული ტყეები და მათი აქტიური გაშენება ქალაქის უწყვეტი განაშენების მქონე ტერიტორიებზე, წარმოადგენენ ქალაქების მდგრადი განვითარების უზრუნველყოფის ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტიან გზას.

ტყე, ბევრ სხვა ბუნებრივ სისტემებთან შედარებით, უფრო მალე აღდგენადი ბიოფიზიკური კომპლექსია. ტყე, დედამიწის ეკოლოგიურ სისტემის გლობალური მასშტაბის სასიცოცხლო ფაქტორია. იგი ცოცხალი ნივთიერების ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მასშტაბის აკუმულატორია, რომელიც ბიოსფეროში არსებულ მთელ რიგ ქიმიურ ელემენტებს და წყალს აკავებს, აქტიურად ურთიერთქმედებს ტროპოსფეროსთან და განსაზღვრავს ჟანგბადისა და ნახშირბადის ბალანსის დონეს.

ბიოსფეროში, ჟანგბადის დაახლოებით 40-50%-ს ხმელეთის მცენარეულობა და მისი მთავარი კომპონენტი, ტყე, გამოჰყოფს (დღეს არსებული მონაცემებით, დედამიწაზე ჟანგბადის მთავარი მწარმოებელი, მსოფლიო ოკეანის პლანქტონი და მცენარეები არიან)<sup>18</sup>. ერთი ჰექტარი შერეული ტყე, წელიწადის განმავლობაში, შთანთქმავს 13-17 ტონა ნახშირორჟანგს და გამოყოფს 10-15 ტონა ჟანგბადს (გარემოსდაცვითი ინფორმაციისა და განათლების ცენტრი, 2021). ტყე ჩვენი პლანეტის ყველაზე უფრო პროდუქტიული ფორმაციაა და ბიოლოგიური წრებრუნვის ყველაზე მაღალი ინტენსივობით ხასიათდება. ტყეში დაგროვილი ბიომასა მნიშვნელოვნად აღემატება ბალახეულ და სხვა მცენარეულ თანასაზოგადოებების ბიომასას. ერთი ჰექტარი ტყის ფიტომასის წლიური ნამატი საშუალოდ 10-30 ტონას შეადგენს, ბალახეული მცენარეულობისა – 9 ტონას, ტუნდრის მცენარეულობისა კი – 2 ტონას (*Natural Resources of Georgia and Environmental Protection 2017, 2018*). ტყის როლი დიდია ატმოსფერული ჰაერიდან მტვრის და მიკროსკოპული მცირე ნაწილაკების შთანთქმაში, მცენარის ფოთლებისა და წიწვების ზედაპირზე არსებული ბაგეების - სტომატების (stomata, ლათ.)

<sup>18</sup> რამდენ ჟანგბადს ვიღებთ ოკეანეებიდან? ოკეანების კვლევის ეროვნული სამსახური, აშშ-ს კომერციის დეპარტამენტი - (How much oxygen comes from the ocean? National Ocean Service) – National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA), US Department of Commerce, ვებ-გვერდი: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-oxygen.html>

მეშვეობით<sup>19</sup>. საქსტატის ანგარიშის თანახმად, ერთი ჰექტარი ტყე, წლის განმავლობაში, 50-70 ტონა მტვერს ფილტრავს, ხოლო ამის შესაბამისად, საქართველოს ტყეები მთლიანად - 135-190 მლნ. ტონამდე“ (საქსტატი, საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოს დაცვა, სტატისტიკური კრებული, 2019).

გაეროს საკვებისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაციამ (UN-FAO) განსაკუთრებით გამოყო ურბანული ტყეების როლი, გაეროს მდგრადი განვითარების მიზნებში (UN Sustainable Development Goals, 2015), რომლის მიხედვითაც ტყეებს შეუძლიათ გაეროს ჩვიდმეტი გლობალური მიზნიდან, ხელი შეუწყონ ცხრა ძირითადი მიზანის შესრულებას (Endreny, 2018) და სიღარიბის, შიმშილის, ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობის, სუფთა წყლისა და სანიტარიის, მწვანე და ხელმისაწვდომი ენერჯის ეკონომიკური ზრდისა და დედამიწაზე სიცოცხლის შენარჩუნების, მდგრადი ქალაქებისა და საზოგადოებების ჩამოყალიბების მიზნების მიღწევას.

მაგალითად, ქ. ლონდონის ურბანული ტყეების ეკოსისტემების შესწავლით მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა რომ ლონდონის 8.4 მილიონი ერთეული, ურბანული ხე-მცენარე, ყოველწლიურად ქალაქს 132 მილიონი გირვანქა სტერლინგის ღირებულების სარგებელს აძლევს (სერვისების არასრული შეფასებით) (Endreny et al., 2017). ლონდონის ურბანული ტყეების კვლევის შედეგების ექსტრაპოლაციით მსოფლიოს რამდენიმე მეგა-ქალაქზე (პეკინი, ბუენოს-აირესი, კაირო, სტამბოლი, ლოს-ანჯელესი, მუმბაი, ტოკიო, მეხიკო და მოსკოვი), გამოვლინდა რომ ურბანული ეკოსისტემებიდან მიღებულმა საშუალო წლიურმა სარგებელმა, დასახელებულ ქალაქებიდან თითოეულში, საშუალოდ 505 მილიონ აშშ დოლარი, ხოლო ნახშირორჟანგის მთლიანი შთანთქმული რაოდენობის (ე.წ. carbon storage, ინგლ.) მთლიანმა ღირებულებამ დაახლოებით 7.9 მილიარდი აშშ დოლარი შეადგინა (Endreny et al., 2018).

<sup>19</sup> სტომატა (stoma - პირი, ბერძნ., stomata, მრავლ.) - სტომატა წარმედგენს ფოთლის ეპიდერმისის მიკროსკოპულ ღიობებს, რომელობიც შედგება ფოთლის ეპიდერმული უჯრედების წყვილისგან (უწოდებენ „მცველ უჯრედებსაც“). სტომატა იხსნება და იკეტება (ცხელ, მშრალ ან ქარიან დღეებში) და არეგულირებს აირების ურთიერთგაცვლას მცენარესა და გარემოს შორის. ისინი აკონტროლებენ წყლის დანაკარგსაც, სტომატური პორების ზომის ცვლილებით.

ურბანულ პოლიტიკაში, ე.წ. ბუნებრივ მეთოდებზე დამყარებული გადაწყვეტების (Nature Based Solutions, NBS) (Ascenso et. al., 2021) პრაქტიკაში განსახორციელებლად და ქალაქური გარემოს მართვის გარემოსდაცვითი შინაარსის გასააქტიურებლად, ურბანულ მართვაში ბუნებრივი მეთოდების გამოყენება წარმოადგენს იმ ახალ „იარაღს“, რომელიც გამიზნულია გლობალური მასშტაბის კლიმატურ ცვლილებების, სხვადასხვა სახის ჰიდროგეოლოგიური რისკების, წყლისა და ჰაერის დაბინძურებისა და კაცობრიობისა და საკვების უსაფრთხოების საკითხების გადასაწყვეტად. ბუნებრივ მეთოდებზე დამყარებული გადაწყვეტების კონცეფცია მკაფიოდ განისაზღვრავს მის განხორციელებას ევროკომისია შეუდგა, რაც აისახა ევროკავშირის ბიომრავალფეროვნების სტრატეგიაში (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2015) და სრულად შეესაბამება გაეროს „მდგრადი განვითარების მიზნების“ (*Sustainable Development Goals, SDG*<sup>20</sup>) სტრატეგიას; ზემოთ აღნიშნული გარემოსდაცვითი საკითხები აქცენტირებულია და წარმოადგენენ მრავალი საერთაშორისო კონვენციის ცენტრალურ თემებს (მაგ. „ახალი ურბანული დღის წესრიგი“ (United Nations, 2017). მათში ხაზგასმულია გარემოსდაცვითი მოქმედების სხვადასხვა სახის ბუნებრივი მეთოდები, მსოფლიოს ქალაქებში უკეთესი ხარისხის საცხოვრებელი პირობების შესაქმნელად.

### 3.3. კვლევითი მოდელი

კვლევითი სამუშაო და მოდელის სიმულაცია ჩატარდა 2018 წლის მონაცემების საფუძველზე (უახლესი წელი i-Tree Eco-ს მეთოდოლოგიისათვის, რომელშიც შესულია საათობრივი მეტეოროლოგიური მონაცემები თბილისისათვის - ჰაერის ტემპერატურა, რადიაცია, ქარის სიჩქარე - რეგისტრირებული თბილისის აეროპორტის მეტეოროლოგიურ სადგურზე (თბილისი, ლოჭინის აეროპორტი). მოდელში ჩაიტვირთა ჩვენს მიერ მიწოდებული ნალექების განაწილების საათობრივი მონაცემები

<sup>20</sup> გაეროს მდგრადი განვითარების მიზნები (UN Sustainable Development Goals, SDG), წყარო: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> .

2018 წლისათვის (საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები, <https://nea.gov.ge>), ჰაერის დამაბინძურებლების კონცენტრაციის საათობრივი მონაცემები (2018 წელი), მიღებული გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის მოქმედი, ავტომატური სადგურიდან. სადგური მდებარეობს ალექსანდრე ყაზბეგის გამზირზე, „წითელი ბაღის“ შესასვლელში, რაც უზრუნველყოფდა ჰაერის დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციის მონაცემების სიზუსტეს. ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ავტომატური სადგურიდან მიღებული, ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებლების კონცენტრაციის მონაცემები მოიცავდა საათობრივ მონაცემებს შემდეგ დაბინძურებელ ნივთიერებებზე:  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{10}$  და  $PM_{2.5}$  (ჰაერში არსებული მტვრის მყარი ნაწილაკები, რომელთა ზომა/დიამეტრი 10 და 2.5 მიკრონი ან ნაკლებია)<sup>21</sup>.

### 3.4. საველე სამუშაო და კვლევის მოდელის თავისებურებები

ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურისა და პარკების კვლევისას, მნიშვნელოვანია სწორად აიზომოს ხეების მონაცემები და აღიწეროს ურბანული ტყის სტრუქტურა (ფოტოლოვანი ზედაპირის ფართობი, ბიომასა, ღეროს ფართობი), რომლებიც პირდაპირ არიან კავშირში, ხეების მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების შეფასებასთან (დამაბინძურებლების შთანთქმა, ნახშირბადის შენახვა სხეულში და სეკვესტრირება, ნალექების დაბრკოლება) (Pace et al., 2021).

ამ მიზნით, i-Tree Eco-ს მოდელი ითვალისწინებს ინდივიდუალური ხის რამდენიმე პარამეტრის შეგროვებას - ეს პარამეტრებია: ხის სიმაღლე და ღეროს დიამეტრი, ფოტოლოვანი ვარჯის მდგომარეობა, ხის სახეობის იდენტიფიკაცია. აღნიშნული მონაცემები, როგორ წინამდებარე კვლევაში, შესაძლებელია შეგროვდეს ხეების სრული პოპულაციისთვის (სრული ინვენტარიზაცია), ან საკვლევი ტერიტორიის ნაკვეთების შემთხვევითი შერჩევით, რომლის დროსაც იზომება მთლიანი პოპულაციის ქვეჯგუფები, მთლიანი ტყის შესწავლის მიზნით. ურბანული პარკების შესწავლისთვის

<sup>21</sup> ჰაერში არსებული მცირე ნაწილაკები (ინგლ. fine particulate matter ან PM), მტვერი ან სხვა მყარი ნაწილაკები, უმცირესი ზომის წვეთების ჩათვლით. მყარი ნაწილაკები ჩვეულებრივ ორ ჯგუფად იყოფიან,  $PM_{10}$  და  $PM_{2.5}$  მიკრონის ზომის მცირე ნაწილაკებად.

მიღებულია ხეების სრული პოპულაციის აზომვა და იგი გამოიყენება შედარებით მცირე ზომის ურბანული ტყეების კვლევისათვის. შემთხვევით შერჩეული ნაკვეთების აზომვა კი გამოიყენება ქალაქის მასშტაბის ურბანული ტყიანი მასივების კვლევებისათვის.

პირველ შემთხვევაში (სრული ინვენტარიზაცია) არ გამოითვლება საშუალო კვადრატული გადახრა (სტატისტიკაში, ე.წ. variance), ან სრული პოპულაციის შერჩევის შეცდომა (sampling error), რადგან იზომება ყველა ხე; მეორე შემთხვევაში (შემთხვევითი შერჩევისას), მოდელი ანგარიშობს სტანდარტულ გადახრას (Nowak, 2020). ნაკვეთების რაოდენობა და ზომა გავლენას ახდენენ შერჩევის სიზუსტეზე და ამავე დროს, ზრდიან შერჩევის კვლევისთვის საჭირო დროსა და ხარჯებს. პროცედურის შეფასების მიხედვით, ორი ადამიანის მიერ 200 ერთეული, 0.04 ჰა მიწის ნაკვეთის გაზომვის სამუშაოებს დაახლ. 14 საველე კვირა ჭირდება და ასეთი შერჩევა, ხეების მთლიანი პოპულაციისთვის 12% -იან ცდომილებას იძლევა (Nowak et al., 2008).

ხეების გაზომვის მონაცემების სიზუსტეზე ბევრი რამ არის დამოკიდებული და ის ძალიან მნიშვნელოვანი ინფორმაციაა, გარემოს დამაბინძურებლების მონაცემებთან ერთად. ეს ელემენტები გავლენას ახდენენ მოდელის მიერ გამოთვლილ შედეგებზე. მაგალითად, აქროლადი ორგანული ნაერთების (VOC) ემისიები მჭიდროდ უკავშირდება ხის სახეობას და გვარს და ეს ფაქტი დადასტურდა კვლევის შედეგებითაც, როდესაც პარკებში არსებული ხეების დომინანტური სახეობები, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ სხვადასხვა ეკოსისტემების სერვისების საბოლოო მონაცემებზე (Lin et al., 2020). ხის დიამეტრი მკერდის სიმაღლეზე, დიდ გავლენას ახდენს ნახშირბადის შთანთქმის (სეკვესტრირების) და ღეროში მისი დაგროვების მონაცემებზე; ასევე მნიშვნელოვანია ხის ზოგადი და მისი ფოთლოვანი ვარჯის მდგომარეობა და *ფოთლოვანი ვარჯის განათების ინდექსი* (Crown light exposure - CLE), რომლებიც ხის ზრდაში დიდ როლს თამაშობენ (Pace et al., 2018; Moser et al., 2016; Grantz et al., 2006).

i-Tree Eco-ს მოდელის მეშვეობით, აშშ-ს 15 ქალაქის კვლევის შედეგებზე და მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით, საველე გაზომვის მონაცემების, შერჩევის და მოდელის თავისებურებების გათვალისწინებით, 12.3%-იანი ცდომილება გამოვლინდა ფოთლოვანი საფარველის ფართობების გამოთვლისას, 13.4%-იანი ცდომილება ახლდა



ნახშირბადის შენახვის (დაგროვების) მონაცემებს; ჰაერიდან ნახშირბადის სეკვესტრირების მონაცემების დაზუსტებისას, მოდელის ცდომილება 11.1% იყო; იზოპრენის და მონოტერპენის (VOC) ემისიების მოცულობის დაანგარიშებისას კი ცდომილების მონაცემები 40.7 და 25.0%-ს აღწევდნენ, შესაბამისად (Lin et al. 2021).

უნდა აღინიშნოს რომ ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შესახებ არსებულ ლიტერატურაში მხოლოდ რამდენიმე პუბლიკაცია არსებობს, სადაც შედარებულია მოდელის მიერ დაანგარიშებული დალექვის ნაკადები აიროვანი (გაზისებრი) და მყარი ნაწილაკებისათვის. ასე მაგალითად, მორანი და სხვები (Morani et al., 2014), ოზონის დალექვის ნაკადის შედარებისას, ედდის კოვარიანტულ გაზომვებთან<sup>22</sup>, აღმოჩნდა რომ ზაფხულში ცდომილებები მეტია ხმელთაშუაზღვიური ტყეებისათვის და ეს დაკავშირებულია ცხელ პერიოდში ფოთლების სტომატურ დახურვასთან და შესაბამისად, ოზონის ნაკლები რაოდენობის შთანთქმასთან.

რაც შეეხება, ხეების მიერ ჰაერიდან მყარი ნაწილაკების შთანთქმას, ხმელთაშუაზღვიურ მარადმწვანე მუხაზე (*Quercus ilex*) ჩატარებულმა კვლევებმა, რომელთა მიზანი იყო i-Tree Eco მოდელის შედეგების შედარება ექსპერიმენტულ მონაცემებთან (ვაკუუმური ფილტრაცია და ელექტრონულ მიკროსკოპში სკანირება), აჩვენა რომ აუცილებელია არსებული მოდელის დახვეწვა და შემდგომი პარამეტრიზაცია, ხოლო ნაწილაკების დალექვის მოცულობების დაანგარიშებისას, ფოთლის ზედაპირების თავისებურებების, ნალექების მიერ ნაწილაკების მასის ჩამორეცხვის, ფოთოლთან ერთად ნიადაგში მოხვედრისა და ნაწილაკების უკან ატმოსფეროში „დაბრუნების“ გათვალისწინება (Pace et al. 2021).

კვლევისა და შედეგების ანალიზისათვის გამოყენებულ იქნა მონაცემთა ეს ორი ჯგუფი (ნაკრები) - კლიმატური და ჰაერის დაბინძურების საათობრივი მონაცემები, რამაც საშუალება მოგვცა შეგვესწავლა პარკების ხეების ეფექტები შემდეგი

<sup>22</sup> ედდის კოვარიანტული გაზომვები (Eddy covariance) - ედდის კოვარიანტი გახლავთ მიკრომეტეოროლოგიული მეთოდი, რომელიც დღეს ინტენსიურად გამოიყენება ეკოსისტემებისა და ატმოსფეროს ურთიერთქმედებებზე დაკვირვებისათვის, გაზების, ენერჯის და ინერციული ნაკადების გავლენის გასაზომად. ეს მეთოდი პოპულარულია მიკრომეტეოროლოგიაში ნივთიერებისა და ენერჯის ნაკადების შესწავლისათვის.

მიმართულებებით: ნახშირბადის ჰაერიდან სეკვესტრაცია და შენახვა (დაგროვება ხის სხეულში), ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესება (დამაბინძურებლების შთანთქმა ატმოსფერული ჰაერიდან) და ნიაღვრული წყლების ზემოქმედების შემცირება-შერბილება<sup>23</sup>.

### 3.5. კვლევის ინტერდისციპლინური ხასიათი და მისი სამეცნიერო სივრცე

თავისი შინაარსით, ეკოსისტემების სერვისების კვლევა ინტერდისციპლინური ხასიათისა გახლავთ (Tobi & Kampen, 2018). ეკოსისტემების სერვისების/მომსახურების კონცეფცია აგებულია ეკოსისტემების (ეკოლოგია) და სერვისების (ადამიანის საჭიროებების დაკმაყოფილების, რაც ეკონომიკის სფეროს ეხება) სინთეზზე და ურთიერთქმედებაზე, რაც თავისთავად უკვე წარმოადგენს ე.წ. „ზღვრულ“ კონცეფციას. საზოგადოდ, ზღვრული, ან მომიჯნავე, კონცეფციები ის ინტელექტუალური კატეგორიებია, რომლებიც მოქმედებენ განსხვავებულ დისციპლინებში, თუმცა შეისწავლიან ერთსა და იგივე ობიექტს (და მის თვისებებს).

მომიჯნავე კონცეფციების მიზანია ინტერდისციპლინური კვლევის ხელშეწყობა. ჩვენ შემთხვევაში, ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შესწავლა საშუალებას აძლევს სხვადასხვა დისციპლინების წარმომადგენლებსა და მკვლევარებს, ეკოლოგებს, ეკონომისტებს, გეოგრაფებსა და ურბანისტებს, სოციოლოგებს, ქალაქგეგმარებლებს, ურბანული პოლიტიკის ანალიტიკოსებს და კლიმატოლოგებს, ისაუბრონ ერთ ენაზე და შეისწავლონ ადამიანის სიცოცხლისა და საცხოვრებელი პირობების დამოკიდებულება ეკოსისტემებზე; გაიაზრონ ქალაქგეგმარებისა და ურბანული ეკოსისტემების ურთიერთდამოკიდებულება და მათი ურთიერთქმედება. ვფიქრობთ, ასეთი ტიპისა და შინაარსის კვლევა გვეხმარება უფრო ღრმად შევისწავლოთ ეკოლოგია-საზოგადოების

<sup>23</sup> ინგლისურენოვან სამეცნიერო ლიტერატურაში გამოიყენება ტერმინები: “Avoided rainwater runoff”, “Reduced stormwater flow” და “Surface runoff”. ყველა ეს ტერმინი აღნიშნავს წყლის იმ მოცულობას, რომელიც სხვადასხვა მიზეზის გამო ზედაპირულ ნიაღვრულ ნაკადად იქცა და არ მოხდა მისი ნიადაგში ინფლტრაცია ან შეწოვა ხე-მცენარეების მიერ და რომელიც ჩაედინება ქალაქის სანიაღვრე ინფრასტრუქტურაში (ლ.ა.). წყაროს ბმული: <https://www.fondriest.com/news/photosyntheticradiation.htm> .

დამაკავშირებელი ხაზები და სწორად ვიმოქმედოთ 'ადამიანი-გარემოს' მრავალფაქტორიან, კომპლექსურ სივრცეში.

ჩვენი კვლევა ქალაქის საზღვრებში მიმდინარეობდა და მისი შედეგები საშუალებას მოგვცემს განვაზოგადოთ ისინი მილიონიანი მოსახლეობის მქონე, თანამედროვე და დინამიურად განვითარებადი ქალაქის ურბანული მწვანე სივრცეების შესწავლისათვის. მიუხედავად კვლევის მრავალშრიანი და მრავალპროფილიანი (რომელიც მოიცავს კლიმატურ, მეტეოროლოგიურ, გეოგრაფიულ, ეკონომიკასთან და ეკოლოგიასთან დაკავშირებულ და სოციოლოგიური და პოლიტიკის შინაარსის მქონე საკითხებს) ხასიათისა, მოსალოდნელია რომ კვლევის შინაარსის აღქმა არაერთგავაროვანი იყოს ზღვრული, ან მომიჯნავე სამეცნიერო დისციპლინების წარმომადგენლების მიერ.

ზოგადად, მომიჯნავე ხასიათის კვლევები და კონცეფციები ყოველთვის შეიცავენ იმ საშიშროებას, რომელიც უკავშირდება სხვადასხვა სამეცნიერო დისციპლინების მიერ საკვლევი საკითხების სხვადასხვაგვარ გაგება-აღქმას. ხშირად, მეცნიერები, პოლიტიკის დამგეგმავები, პრაქტიკოსები, პოლიტიკოსები და სამოქალაქო აქტივისტები, განსხვავებულად იგებენ რიგ საკითხებს. მათ სხვადასხვა მიდგომები აქვთ მათი ინტერესების სფეროში მყოფი საკითხისადმი თუ პრობლემისადმი, რაც ართულებს საკითხის სწორ გაგებასა და კომუნიკაციას (Saarikoski et al., 2018).

ასევე მოსალოდნელია, რომ ბევრ საკითხს, რომლებიც წარმოდგენილია ჩვენს კვლევაში და უკავშირდება ურბანული ეკოსისტემების სერვისების შესახებ ცოდნას, ჯერ-ჯერობით არ ექნება დიდი გავლენა ურბანული პოლიტიკის ფორმირებასა და ქალაქგეგმარებით გადაწყვეტილებებზე, რადგან სუსტია კავშირები მკვლევარებს, პრაქტიკოსებსა და დაინტერესებულ მხარეებს შორის. ეს კი ართულებს კონცეპტუალურ სწავლას. დაინტერესებულ მხარეთა კონკურენტული ინტერესები თუ პოლიტიკური გეგმები, სამეცნიერო კამათთან ერთად, ხშირად ხელს უშლიან ეკოსისტემების სერვისების შესახებ ცოდნის ათვისებას.

## თავი 4. საკვლევი ტერიტორია

### 4.1. ქ. თბილისის მწვანე სივრცეები

დღეს, თბილისის შემოგარენი და მუნიციპალიტეტის საზღვრებში მოქცეული მწვანე, პერი-ურბანული სივრცეები, ბევრგან ბუნებრივ ტყეებს უკავიათ. აღსანიშნავია რომ თბილისის გარშემო მდებარე ბუნებრივი ტყიანი მასივები არათანაბრად არიან გადანაწილებული: ზოგიერთი მათგანი საცხოვრებელ ზონიდან 10-15 კილომეტრის მოშორებით მდებარეობს, ზოგი კი - უფრო შორს. ასე მაგალითად, კოჯორის, კიკეთის და ბეთანიის რაიონები დასავლეთით და საგურამოს ნაკრძალის ტყეები ჩრდილოეთით, ყველაზე ახლოს არიან თბილისთან და წარმოადგენენ მის მწვანე, დამცავ ზოლს. ამ ტყეპარკების სატყელს შეიძლება ვუწოდოთ დამცავი (ან შიდა) მწვანეზონა, რადგან ისინი მჭიდროდ არიან დაკავშირებული დედაქალაქის მჭიდრო განაშენიანების მქონე რაიონებთან (ვაკე, საბურთალო, დიღომი და გლდანის).

თბილისის გარშემო მდებარე პერი-ურბანული და ბუნებრივი მიდამოები, ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ტერიტორიებს მოიცავენ, ძირითადად, სოფელი *ძეგვი* - *ფონიჭალას* ხაზზე, მდინარე მტკვრის ხეობის გასწვრივ. თბილისის მიდამოებში შემოდის რამდენიმე მსხვილი გეოგრაფიული ერთეულის შემადგენელი ნაწილი. კერძოდ, ჩრდილოეთით, თბილისის ნაწილია კავკასიონის ქედის უკიდურესი სამხრეთული მდებარეობის, საგურამო-იალნოს ქედი და სხალტბის სერი; აღმოსავლეთით, თბილისს ესაზღვრება მდ. იორის უკიდურესი ჩრდილო-დასავლეთის ნაწილი (ვაზიანი, სამგორის წყალსაცავი); დასავლეთით, თბილისის ნაწილებია თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთი კიდე (არმაზის, მსხალდიდის, მთაწმინდის, ნარიყალის, თაბორის და თელეთი-საყარაულოს ქედები); თბილისის სამხრეთი და სამხრეთ-აღმოსავლეთი ნაწილები მტკვარი-არაქსის დაბლობის ყველაზე ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილს შეადგენენ (ფონიჭალის, კუმისისა და წალასყურის მიდამოები). ბუნებისა და გეოგრაფიული ერთეულების ამ მრავალფეროვნებით განპირობებულია თბილისის საგარეუბნო და მიმდებარე ლანდშაფტების მრავალფეროვნებაც. შესაბამისად, მრავალფეროვანი და განსხვავებულია თბილისის შემოგარენის მცენარეული საფარიც. თბილისის მუნიციპალიტეტის გარე პერიმეტრზე და არაუბანიზებულ ზონებში, მისი რთული ტოპოგრაფიისა და განსხვავებული კლიმატურ-გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით (სიმაღლე, ნალექები, ტემპერატურა, ექსპოზიცია) ყველაზე დიდი ფართობები ფართოფოთლოვან ტყეებს (ძირითადად, მუხნარები, წიფლნარები და რცხილნარები, იფანი, თელა, მაღალი მთის მუხა, ვერხვი, ნაძვი) ბუჩქნარებსა და სტეპებს უკავიათ. სამწუხაროდ, თითქმის განადგურებულია ჭალის ტყეები, რომლებიც ფრანგმენტულად გვხვდება მდ. მტკვრის

ჭალის ტერასებზე და ძირითადად ოფითა (ლათ. *Populus nigra*, რუს. Тополь чёрный) და ტირიფით (*Salix alba*) არიან წარმოდგენილნი.

თბილისის ჩრდილოეთით, სამხრეთით და სახრეთ-აღმოსავლეთის პერიმეტრზე, შედარებით დაბალი დატენიანების ზონაში, გვხვდება არიდული მეჩხერი ტყეები, სადაც გაბატონებული სახეობებიდან გამოირჩევა ღვიანები (გვარი: ღვია, ლათ. *Juniperus*) არმაზის ქედი, მცხეთა-შიომღვიმის მიდამოები, სხალტბის სერი, კუმისისა და ფონიჭალის მიდამოები).

აღსანიშნავია რომ თბილისის გარეუბნების მცენარეული საფარში, ბუნებრივ ცენოზებთან ერთად, მნიშვნელოვნად არის წარმოდგენილი ხელოვნურად გაშენებული ნარგაობაც. თბილისის ტურბულენტური და დრამატული ისტორიის, მომხვედური მტრის შემოსევებისა და არასწორი ეკოლოგიური პოლიტიკის გამო (ტყეების ჩეხვა და გადაწვა სამშენებლოდ, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მისაღებად, სხვა), თბილისის ბუნებრივი ტყეები მრავალჯერ გადაიწვა, განადგურდა და გაიჩეხა. შესაბამისად, ტყეების საფარის შენარჩუნების მიზნით მრავალჯერ მოხდა ხელოვნური ტყეების გაშენება. ფართობის მიხედვით ყველაზე მეტია შავი, ელდარის და კავკასიური ფიჭვის კორომები (ლათ. *Pinus nigra*, *P. eldarica*, *P. sosnowskyi*, შესაბამისად) ამ ტყეების როლი ძალიან მნიშვნელოვანია თბილისის და მისი გარე პერიმეტრის ოპტიმალური ეკოლოგიური მაჩვენებლების (ტენიანობა, ტემპერატურა, ნიადაგის საფარი ეროზირებად კლდოვან ფერდობებზე, სხვა) შესანარჩუნებლად.

„მწვანე ქალაქის“ და ზოგადად, ურბანული გამწვანების პრობლემატიკას ეხება ქართველი ურბანისტის, ვლადიმერ ვარდოსანიძის ლექციების ციკლი, (ურბანისტული ლექციები ბიოლის ფონდში). ბ-ნი ვარდოსანიძის წიგნში, „ქალაქის კონტურებში“ (ვარდოსანიძე, ვ. 2015), ავტორი მოიხმობს ილია ჭავჭავაძის ციტატას, რომელიც თბილისის ეკოლოგიურ პრობლემებს ეხმიანება: „უწინ ჩვენი ქალაქი უფრო სასიამოვნო საცხოვრებელი ყოფილა, ვიდრე დღეს. დღეს იგი უფრო მდიდარია, მაგრამ ეგ სიმდიდრე მოპოვებულია მით, რომ უფრო ჯანმრთელობის სახსარნი მოსპობილან. უწინ ტფილისი აყვავებული და ამწვანებული იყო ხშირის ხეხილითა და ბაღებითა. ამის გამო ზამთარი ქალაქში არ იყო ისე სუსხიანი, როგორც ეხლა, და ზაფხულიც უფრო გრილი იყო და ნესტიანი. დროთა მიმავლობაში ეგ ბაღები გადიკაფნენ, მათ ადგილას აღიმართნენ უზარმაზარნი სასახლენი, შენობები შეჯგუფდნენ, ჰაერის თავისუფალი ტრიალი

მოიშალა, დაიხშო ჰაერი და ეხლა ზაფხულობით ადამიანს სული ვედარ მოუტრიალებია“<sup>24</sup>.

თანამედროვე საქართველოს რეალობაში, ურბანული გეგმარების უახლეს ისტორიაში, მწვანე ურბანული ინფრასტრუქტურა სამწუხაროდ არ განიხილებოდა ქალაქის კომპლექსური და მრავალფეროვანი ქსოვილის მნიშვნელოვან ნაწილად. მაგრამ ისიც აღსანიშნავია რომ ეს ყოველთვის ასე არ იყო - საინტერესოა რომ საბჭოთა საქართველოს გარიჟრაჟზე, მე-20 საუკუნის 20-30-იან წლებში, „ქალაქი ბაღის“ ურბანულ კონცეფციას, როგორ ჩანს დღევანდელზე მეტი მნიშვნელობა ენიჭებოდა. მნიშვნელოვანი ყურადღება ექცეოდა როგორც „ნაცრისფერი ინფრასტრუქტურის“, გზებისა და ხიდების მშენებლობას და ტრამვაის ხაზების ქსელის განვითარებას, ისე - ქალაქისთვის მწვანე საფარის შექმნას, რომელიც ქალაქის რაიონების (როგორც მისი ტაქსონომიური ერთეულების) დაგეგმარების პარალელურად მიმდინარეობდა და გულისხმობდა მთელი ქალაქის მასშტაბით კულტურისა და დასვენების პარკების ფართო ქსელის ორგანიზებას. ეს პროგრამები ითვალისწინებდა ასეთი პარკების მშენებლობას ქალაქის ყველა რაიონში (საბურთალო, დიდუბე, მადათოვის კუნძული, ნავთლული, ავლაბარი და სხვ.) (შავდია, 1995). ამის მაგალითებია ნაძალადევის 1923 წლის და ვაკე - „ქალაქი-ბაღის“ (არქიტექტორი ა. ქურდიანი) 1926 წლის დაგეგმარება (ხოსიტაშვილი, 2018). თბილისში, ებენეზერდ ჰოვარდისეული „ქალაქი-ბაღის“ მშენებლობის ერთ-ერთი პირველი მაგალითი იყო ვაკეში ახალი ტიპის „მწვანე“ კვარტლის დაგეგმის ჩანაფიქრი (ჭავჭავაძის გამზირი, ე.წ. სტუდქალაქის ტერიტორია): თსუ-ს ყოფილი სტადიონი, ბაგა-ბაღები და მწვანე ბაღებში განთავსებული კოტეჯები. მსგავსი განაშენიანების მაგალითია XX საუკუნის 20-იანი წლების ბოლოს აშენებული ე.წ. „ტრამვაელთა კვარტალი“ (არქიტექტორი დ. ჩისლიევი) პლენხანოვისა (ახლანდ. დავით აღმაშენებლის) და ე. ტელმანის (ახლანდ. გ. ცაბაძის) ქუჩების გადაკვეთაზე (ხოსიტაშვილი, 2018).

<sup>24</sup> ილია ჭავჭავაძე, „ქალაქში ჯანმრთელობისათვის დიდი მზრუნველობა და საქმიანობა“. კრ.-ში: „ი. ჭავჭავაძე, თხზულებანი, ტ. VI. პუბლიცისტური წერილები. 1862-1882“. თბ., „მეცნიერება“, 1997, გვ. 196.

სამწუხაროდ, დღეს, ეს ადრეული „მწვანე“ წამოწყებები, მთელი თბილისის მასშტაბით, ბოლო ათწლეულებში გაჩაღებულმა მზარდმა „განვითარებამ“ შეიწირა. თბილისის 1934 წლის გენერალური გეგმის პროექტში (ჯგუფის ხელმძღვანელი ზ. ქურდიანი) ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებისათვის დიდი ყურადღება დაეთმო ქალაქის გამწვანებას. აღსანიშნავია რომ იმ დროს თბილისში მწირად იყო წარმოდგენილი საჯარო ტიპის მწვანე ტერიტორიები და პარკების ნარგავები. გამწვანების ღონისძიებებში განზრახული იყო ახალი ტერიტორიების გამწვანება და ნარგავების თანაბრად გაშენება და გადანაწილება ქალაქის ტერიტორიაზე. 1934 წლის თბილისის გენგეგმაში საყურადღებოა ის, რომ ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის განვითარებისას, გათვალისწინებული იყო ურბანული მწვანე ტერიტორიების კავშირი ქალაქგარეთა ლანდშაფტთან (ე.წ. „მწვანე გასვლები“) (ხოსიტაშვილი, 2018). ქალაქში პარკებისა და ხე-მცენარეულით დაფარული ტერიტორიების განვითარება მიზნად ისახავდა მათ დაკავშირებას საგარეუბნო ტყეებთან და ქალაქის განაპირას გაშენებული პარკების თანდათანობით შეერთებას ქალაქის ირგვლივ განთავსებულ ბუნებრივ ტყე-პარკებთან (მაგალითი: ვაკის პარკიდან გამავალი მწვანე ზონა, რომელიც უერთდება ბაგები-წყნეთის ტყეების მწვანე ზოლს). საინტერესოა რომ 30-იანი წლების საქართველოს ურბანისტთა გეგმები, პირდაპირ ეხმიანება ევროკავშირის მიერ 2013 წელს მიღებულ სტრატეგიას („promoting investments in green infrastructure“ – „მწვანე ინფრასტრუქტურაში ინვესტირების წახალისება“)<sup>25</sup>, რომლის ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტია ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის დაკავშირებულობა საგარეუბნო ბუნებრივ გარემოსთან. ზოგადად, ევროკავშირის „მწვანე“ სტრატეგიის ძირითადი მიზნებია: ეკოსისტემების ჯანმრთელობის აღდგენა; ბუნებრივი ტერიტორიების ერთმანეთთან კავშირი, რაც საშუალებას მისცემს სხვადასხვა ბიოლოგიურ სახეობებს განვითარდნენ მათ ბუნებრივ საცხოვრებელ გარემოში (ჰაბიტატებში), რაც თავის მხრივ

<sup>25</sup> გარემო, ევროკომისია, ეკოსისტემების სერვისები და მწვანე ინფრასტრუქტურა (Environment, European Commission, Ecosystem services and Green Infrastructure), ვებ-გვერდი, URL: [https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm) ,

უზრუნველყოფს ბუნების მიერ ადამიანისთვის მრავალი ბუნებრივი სერვისისა და სიკეთის გადმოცემას.

ევროკავშირის „ბიომრავალფეროვნების სტრატეგია 2030“ ( Biodiversity Strategy 2030)<sup>26</sup>, ითვალისწინებს მწვანე ინფრასტრუქტურის განვითარებას როგორც მთელ ევროპაში, ისე მწვანე ინფრასტრუქტურის ტრანს-ევროპული ქსელის შექმნას, ე.წ. TEN-G -ს<sup>27</sup>, რომელიც არსებული სატრანსპორტო და ენერჯის ქსელების, TENs<sup>28</sup> -ს ექვივალენტი იქნება.

უნდა ითქვას რომ ქ.თბილისში, მწვანე ინფრასტრუქტურა, მე-20 საუკუნის 90-იანი წლებიდან დაწყებული დღემდე, არ გახლდათ აღქმული როგორც ურბანული და სივრცითი გეგმარების, პროექტირებისა და ქალაქის მდგრადი და ელასტიური განვითარების ელემენტი.

მდგომარეობის გამოსწორების პერსპექტივა გაჩნდა 2017-2018 წლებში, თბილისის მიწათსარგებლობის ახალი გენერალური გეგმის შემუშავებით და მისი საბოლოო დამტკიცებით (დედაქალაქის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის დამტკიცების შესახებ, 2019). შეიძლება ითქვას, რომ გენგეგმის ავტორებმა შექმნეს სასიამოვნო პრეცედენტი და თბილისის მწვანე სივრცეების განვითარება და სამომავლო განსაზღვრა მკაფიოდ აისახა თბილისის აწ უკვე დამტკიცებულ გენერალურ გეგმაში. გეგმის ერთ-ერთი ნაწილია „მწვანე ქალაქის“ კონცეფცია, რომელიც თბილისის გარემოსდაცვითი და სარეკრეაციო პირობების გაუმჯობესების ერთიანი ხედვას წარმოადგენს. მის ფარგლებში, თბილისის ბუნებრივი და ხელქმნილი გარემო განიხილება ერთიან სისტემად, რაც წარმოადგენს ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურის

<sup>26</sup> გარემო, ევროკომისია, ბიომრავალფეროვნების სტრატეგია 2030 წლისათვის (Environment, European Commission, Biodiversity strategy for 2030), ვებ-გვერდი, URL: [https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en).

<sup>27</sup> Trans-European Network for Green Infrastructure in Europe - ევროპის მწვანე ინფრასტრუქტურის ტრანს-ევროპული ქსელი (ასევე ეძახიან TEN-G-ს), ონლაინ წყარო: [https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index_en.htm)

<sup>28</sup> TRANS-EUROPEAN NETWORKS (TENS) - ტრანს-ევროპული ქსელები (TENS). ევროკავშირის სტრატეგია რომელიც გააერთიანებს ევექტურ ინფრასტრუქტურას ევროპის რეგიონებისა და ეროვნული ქსელების გაერთიანებისთვის. ონლაინ წყარო: <https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/ten.html>



ინტეგრაციის ქმედით მექანიზმს ქალაქის ურბანული სივრცის ჰარმონიული განვითარებისათვის.

თბილისის მიწათსარგებლობის კონცეფცია მიზნად ისახავს ბუნებრივი და ხელოვნური ლანდშაფტების დაცვას, მათი აღდგენითი და დაცვითი ფუნქციების მხარდაჭერის მეშვეობით, იმ ღონისძიებების გაძლიერებას, რომლებიც ხელს შეუწყობენ ბიომრავალფეროვნებას და ბუნებრივი და ტექნოგენური რისკების მინიმიზაციას, ახალი, მწვანე რეკრეაციული დანიშნულების სივრცეების განვითარებას მდინარე მტკვრის გასწვრივ და დედაქალაქის მჭიდროდ დასახლებულ საცხოვრებელ ზონებში.

დოკუმენტი ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის გენერალური გეგმის დამტკიცების შესახებ („მუნიციპალიტეტის საკრებულოს დადგენილება“ 39-18, 20/03/2019) ითვალისწინებს რიგ ღონისძიებებს, რომლებიც პირდაპირ კავშირშია ურბანული ეკოსისტემების და მათი სერვისების დაცვასა და განვითარებასთან. კერძოდ, დოკუმენტი ითვალისწინებს რამდენიმე ფუნდამენტურ დებულებას (პრიორიტეტებს), რომლებიც მოიცავს შემდეგს:

- სარეკონსტრუქციო არელების განახლება და ყოფილი სამრეწველო /კომერციული ტერიტორიების ("ბრაუნფილდების") კონვერსია - აქ აღსანიშნავია თბილისური „ბრაუნფილდების“ საკმაოდ შთამბეჭდავი ფართობი, რომელიც სავარაუდოდ 800 ჰა-მდე მიწებს მოიცავს (ლ.ა).
- ბუნებრივ და ტექნოგენურ ზემოქმედებას დაქვემდებარებული ტერიტორიების საინჟინრო დაცვა, ეკოლოგიური და სანიტარიულ-ჰიგიენური უსაფრთხოება;
- განაშენიანებული და გამწვანებული ტერიტორიების ფარდობითი მაჩვენებლის რეგულირება, გამწვანებულ ზონებში მშენებლობის თავიდან აცილება (აკრძალვა). საქალაქო და საგარეუბნო გამწვანების სისტემის აღდგენა-განვითარება;
- სარეკრეაციო და საზოგადოებრივი სივრცეების განვითარებისა და გამოყენების ხელშეწყობა; ბალ-პარკების აღდგენა და რეკონსტრუირებად ტერიტორიებზე ახალი საბაღე-საპარკო მშენებლობა;
- "დეგრადირებული ტერიტორიების", მწვანე ნარგავებისა და ლანდშაფტური სივრცეების აღდგენა, ქალაქის ირგვლივ ბუფერული ლანდშაფტური ზონის შექმნა;

- "ქალაქისა და მდინარის კავშირის" აღდგენა; თბილისში არსებული ცამეტამდე მცირე მდინარის ხეობების ეკოსისტემების რეაბილიტაცია და შედეგად, უწყვეტი, მტკვრის ხეობიდან განშტოებული ერთიანი მწვანე სისტემის აღდგენა.

#### 4.2. თბილისის ურბანული მწვანე დაგეგმარება: ისტორია და გამოცდილება

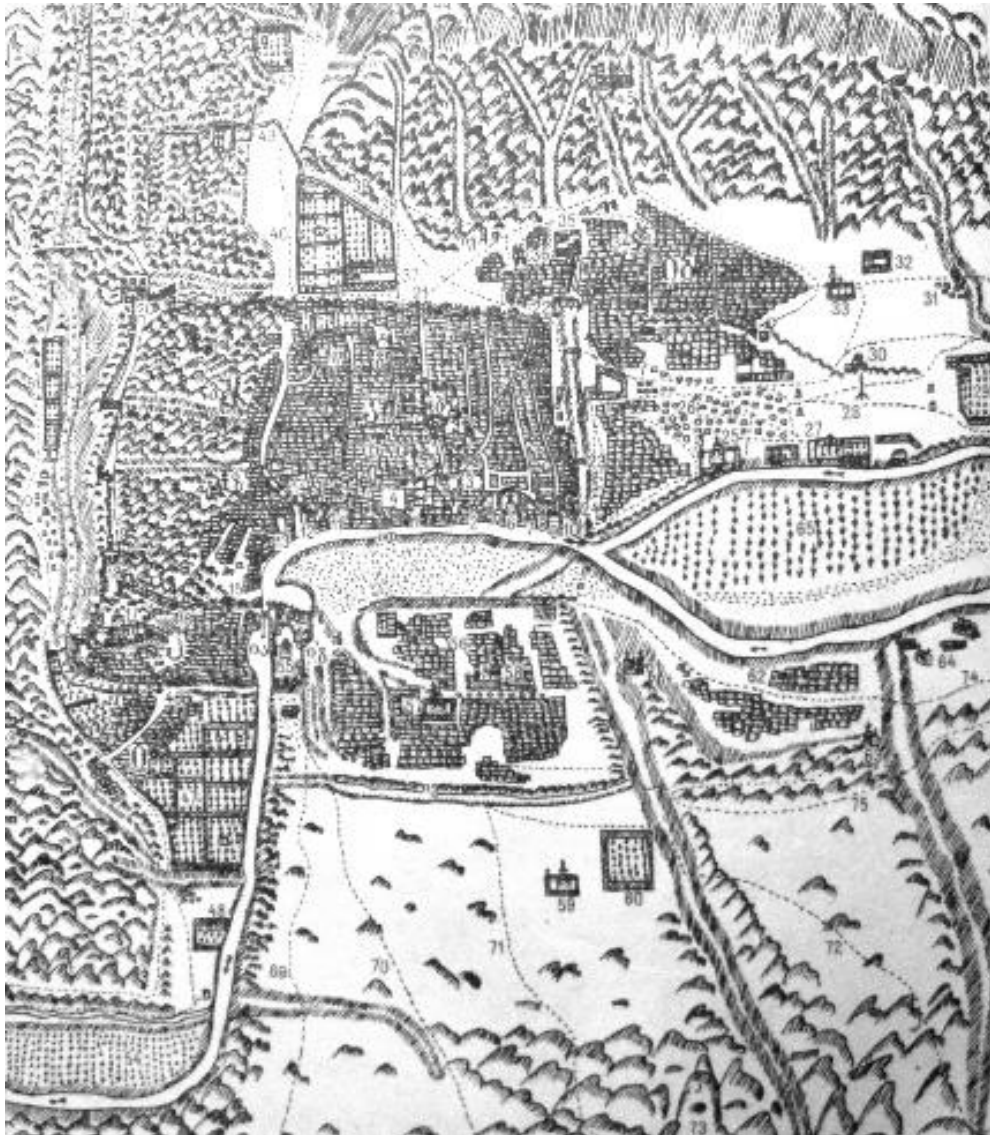
თბილისის, როგორც ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურას და ზოგადად, „ბაღებს“ თბილისში (როგორც ადრე გამწვანებულ ადგილებს უწოდებდნენ), დიდი ხნის ისტორია აქვთ. მე-18 საუკუნით დათარიღებულ, ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ დატოვებულ თბილისის, 1735 წლის გეგმის ლეგენდაში (იხ. ნახატი 1) ფიგურირებს თბილისში იმ დროს არსებული 11 ბაღი (ყაიბულას ბაღი, მამასახლისის ბაღი, დედოფლის ბაღი, მეფის დიდი ბაღი, თბილელის ბაღი, ბაღი სეიდაბადისა, ციხის ბაღი, კრწანისის ბაღი, ბებუთის ბაღი, ახალი ბაღი მეიდნისა და ბეჟანას ბაღი) (ლალიძე, 2015).

აშკარაა რომ იმ დროს, თბილისში, სხვადასხვა ისტორიული ტრადიციითა და ლანდშაფტურ-კლიმატური მოსაზრებებით, უკვე გავრცელებული იყო საქალაქო მწვანე სივრცეების განვითარება-გაშენება. კანადელი ანთროპოლოგი და მკვლევარი პოლ მენინგი (Paul Manning), თავის საჯარო ლექციაში, „ბაღების ქალაქი: ბაღების სამი ჰეტეროტოპია ძველ თბილისში“ (The City of Gardens: Three Garden Heterotopias of Old Tbilisi) (Manning, 2019) აღნიშნავს ძველ, მე-18 საუკუნის, სეფევიდების შემდგომი ირანული პერიოდის თბილისის ბაღების კულტურულ და ჰეტეროტოპიულ<sup>29</sup> მნიშვნელობას ქალაქისათვის. მენინგი აღნიშნავს ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ ნახსენებ „ტფილისის ბაღებს: “გარემო ქალაქისა წალკოტნი და სავარდენი მრავალნი, ყოვლის ხილითა და ყვავილითა სავსე” (ბატონიშვილი ვახუშტი, საქართველოს გეოგრაფია, 1892). იგივეს წერს თბილისზე და მის შემოგარენზე ფრანგი მოგზაური ჟან შარდენიც: „ტფილისის მიდამო შემკულია რამდენიმე სალხინო სახლით და მშვენიერი

<sup>29</sup> ჰეტეროტოპია - ფრანგი ფილოსოფოსის, მიშელ ფუკოს მიერ შემოტანილი კონცეფცია, ზოგიერთი კულტურული, ინსტიტუციონალური და დისკურსული სივრცეების აღსაწერად. ფუკოს წარმოდგენით, ჰეტეროტოპიები წარმოადგენენ „სამყაროებს სამყაროში“, ისინი არიან არსებული გარემოსგან განსხვავებული, ხშირად იზოლირებული, კონცენტრირებული და შეუთავსებელი იმ გარემოსთან, რომელშიც ისინი არსებობენ.

ბაღებით. ყველაზე დიდი მეფის ბაღია. ხეხილი ცოტაა, მაგრამ იმისთანა ხეებით არის სავსე, რომლებიც ამშვენებ ბაღს და ჩრდილსა და სიგრილეს ავრცელებენ“ (შარდენი, 1935). ვახუშტის რუკის ქართულ და რუსულ ვერსიაში (ნახატები 1 და 2), იხილეთ რიცხვებით აღნიშნული წერტილები, რომლებიც იმდროინდელი თბილისის ბაღებს მიგვინიშნებენ:

29 (ყაიბულას ბაღი, კომუნარების ბაღის ქვემოთ), 33 (ქაშუეთი), 38 (მამასახლისის ბაღი, ყოფ. კიროვის ქუჩა), 39 (დედოფლის ბაღი), 40 (მეფის დიდი ბაღი, ლერმონტოვის ქ. ორივე მხარეს), 42 (თბილელის ბაღი, ლეონიძის და ქიქოძის ქუჩების გადაკვეთაზე), 47 (ტფილისის სეიდაბადის ბაღი), 48 (ბაღი ხალანგარი), 51 (ციხის ბაღი, ე.წ. „კრეპასნოი“ - დღეს, „ბოტანიკური“), 54 (კრწანისის ბაღი), 59 (ბებუთას ბაღი, ავლაბარი, ყოფ. ხოჯევანქთან), 64 (ახალი ბაღი მეიდნისა, ორბელიანების კუნძული), 68 (ბეჟანას ბაღი, კალა-უბანი); იხ. რუკაზე (ნახატი 1):

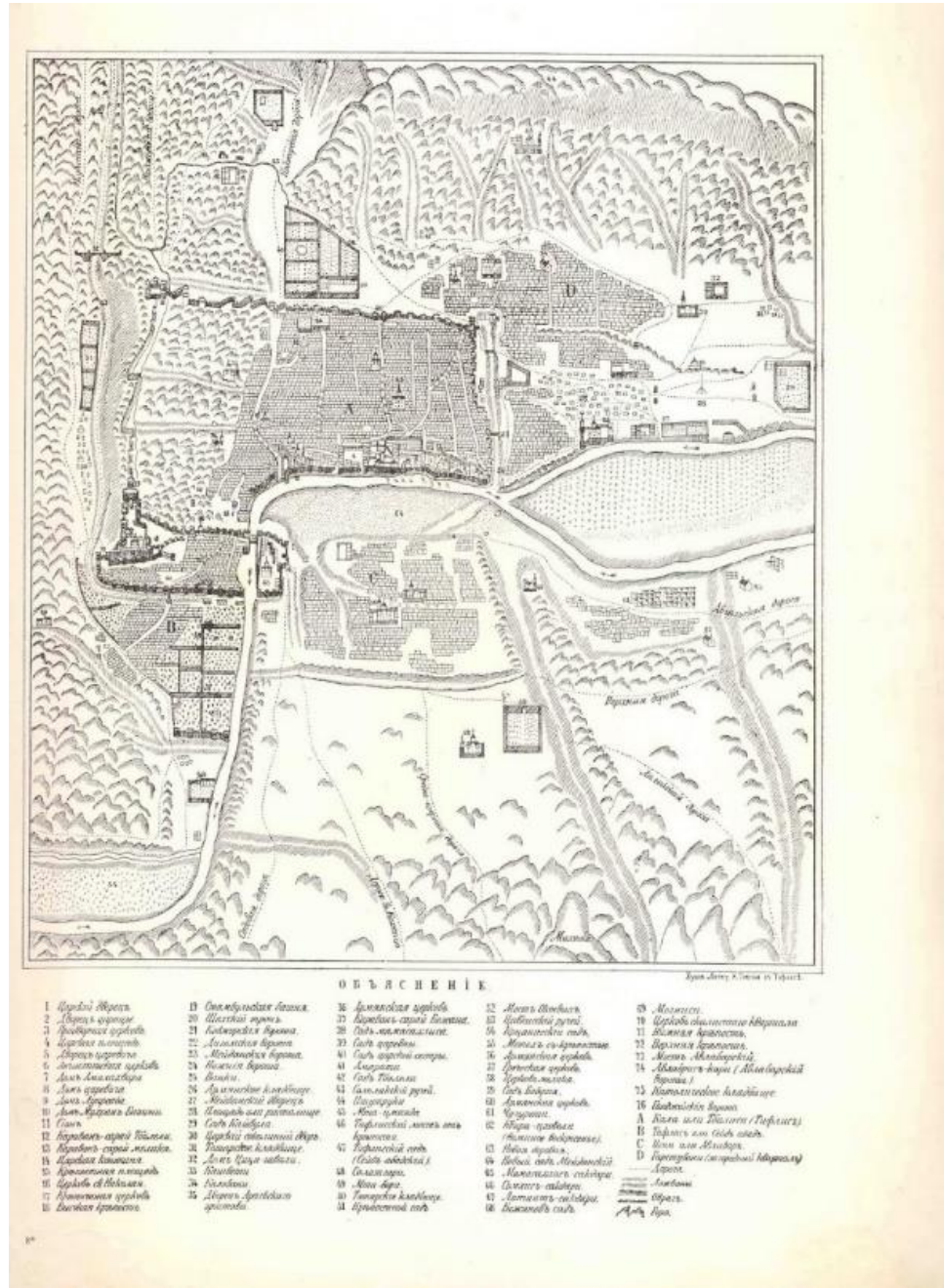


*ნახატი 1. ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ შედგენილი თბილისის გეგმა (რედაქტირებული, დატანილია არაბული რიცხვები, შავ-თეთრი რუკა), XVIII საუკუნის 30-იანი წლები. წყარო: თბილისი, საქართველოს ეროვნული ბოტანიკური ბაღის ვებსაიტი:*

<https://www.gegma.ge/#>



ნახატი 2. ვახუშტი ბატონიშვილის მიერ შედგენილი თბილისის გეგმა (რუსულად, რედაქტირებული, დატანილია არაბული რიცხვები, ყვითელ ფურცელზე, რუკა), XVIII საუკუნის 30-იანი წლები. წყარო: <https://www.nbgg.ge/ge/page15.html>



ბველი რუკებიდან იკვეთება, რომ ფეოდალურ ეპოქაში, თბილისის გარემოს გამწვანების კონტურისა და ლანდშაფტების ფორმირება უკვე თბილისის იმდროინდელი მმართველების ყურადღების საგანს შეადგენდა. ვახუშტი ბატონიშვილის (ბაგრატიონის) მიერ შედგენილ თბილისის 1735 წლის გეგმაზე

სოლოლაკში აღნიშნულია „ბაღები“, რომელთა უმეტესობა ქალაქის დასახლებული კონტურის გარეთ მდებარეობენ. პოლ მენინგს, თავის ლექციაში მოხმობილი აქვს ძველი, 1867 წლის თბილისის ერთი რუკა (ავტორი არ არის მითითებული, **ნახატი 3**),

*ნახატი 3. სოლოლაკის უბნის (რუკაზე იხ. Sololaki 1) მწვანე საფარი მე-19 საუკუნის 60-იან წლებში. თბილისი. „სამი ბაღი-ჰეტეროტოპია - სოლოლაკის ბაღები, ორთაჭალის ბაღები და ალექსანდრეს ბაღი გოლოვინის გამზირზე. 1867 წლის რუკა. თბილისი (Three Garden Heterotopias) (1867 Tbilisi Map)“ (რუკა ამოღებულია პოლ მენინგის, 2019 წლის ლექციის მასალებიდან), ბაღები მონიშნულია მწვანე ხაზებით.*



რომელზეც ჯერ კიდევ ჩანს, რომ დღევანდელი მთაწმინდის უბანი (ამაღლების, ჭონქაძის, ლეონიძის, ჩაიკოვსკის, ასათიანისა და ლერმონტოვის ქუჩები), მთლიანად ბაღებითა და ხე-მცენარეებით იყო დაფარული და იქ საცხოვრებელი უბანი ჯერ კიდევ არ იყო აშენებული. ეს სავარაუდოდ, სოლოლაკის ამ მწვანე ზოლის დამცავ, მთაწმინდიდან ჩამომდინარე მოკლე და ნიაღვრული ხეების საგაზაფხულო წყალმოვარდნებისგან დაცვის ფუნქციაზე მეტყველებს (იხ. ნახატი 5). მთაწმინდის უბნის რთული ტოპოგრაფიიდან გამომდინარე, რუკაზე აღნიშნული მწვანე სივრცეები

(„ბაღები“) თბილისის ეკოსისტემების სერვისების ერთ-ერთი დამცავი ფუნქციის - ნიაღვრული წყლების მოცულობის შემცირების და გაზაფხულ-ზაფხულის თავსხმური წვიმებისას, ნიაღვრული ნაკადებისა და სელების შეკავების დადასტურებად შეიძლება მივიჩნიოთ. 1847-1851 წლებში (უკვე რუსეთის იმპერიის პერიოდში) გადაიხურა სოლოლაკის ხევის ერთი მონაკვეთი (ახლანდელი ლეონიძის ქუჩა და თავისუფლების მოედნის მონაკვეთები), რის შემდეგაც სოლოლაკში ინტენსიური მშენებლობა დაიწყო. ამ დროს მთაწმინდის ფერდობიდან მომავალი ნიაღვრული ნაკადების წყლები, რომლებიც გაზაფხულის წყალდიდობების დროს მუდმივ საფრთხეს წარმოადგენდნენ ქალაქისათვის, თავისუფლების მოედნის ქვეშ მდებარე წყალშემკრებ სანიაღვრე კოლექტორში მოაქციეს და მდ. მტკვრისკენ მიმართეს.

თბილისის ისტორიაში, მისი კლიმატური თავისებურებების, რთული ტოპოგრაფიისა და მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე მდინარეებისა და ხეების უხვი ქსელის გამო, ხშირად ყოფილა თავსხმური წვიმების შემთხვევები, რომლებსაც რიგ წლებში კატასტროფული ხასიათი ჰქონდათ და წყალდიდობები გამოუწვევიათ (1902, 1924, 1940, 1955, 1963, 1969 წწ.) (Климат Тбилиси, 1992). ასე მაგალითად, 1969 წლის 6 ივნისს, თბილისს თავს დაატყდა ძლიერი თავსხმური წვიმა, რომლის დროსაც, სამი საათის განმავლობაში 330 მმ ნალექი მოვიდა (მთლიანი წლიური ნალექების ნახევარზე მეტი!), რამაც კატასტროფული ხასიათი წყალმოვარდნა გამოიწვია მდ. მტკვრის თბილისის ტერიტორიაზე არსებულ შენაკადებზე (Gaprindashvili et al., 2016). 2015 წლის 13 ივნისის თავსხმურმა წვიმამ, რომელსაც მდ. ვერეზე დამანგრეველი წყალმოვარდნა მოჰყვა, მთლიანად გაანადგურა ვერეს ხეობაში მდებარე ზოოლოგიური პარკი და წყალდიდობას, ადამიანთა და ზოოპარკის ცხოველების მსხვერპლი მოჰყვა. ეს ტრაგიკული მაგალითები წარმოადგენენ იმის დადასტურებას, რომ მცენარეული საფარის უკონტროლო ექსპლოატაციას, ჭრას, სხვადასხვა მიზნებით მის უგულვებელყოფას, სავალალო შედეგები მოჰყვება-ხოლმე. სწორედ ეს შემთხვევაა მდ. ვერის ხეობაში 2009 წელს გაყვანილი ახალი მაგისტრალი (ჭ. ამირეჯიბის გზატკეცილი), რომლის მშენებლობამ იქ არსებული 700-ზე მეტი ხე შეიწირა. სამწუხაროდ, სხვა

მიზეზებთან ერთად, მაგისტრალის გაყვანას კატასტროფული შედეგი მოჰყვა (როგორც ეს უკვე 2015 წლის წყალმოვარდნამ აჩვენა). მაგისტრალის მშენებლობამ და იქ არსებული ბუნებრივი ეკოსისტემაში უხეშად ჩარევამ, მნიშვნელოვნად გააუარესა ხეობის მთელი რიგი ეკოსისტემური მაჩვენებლები: ხეობის ჰიდროლოგიური რეჟიმები, მდინარის ხეობის ბუნებრივი ჭალის მიერ წყლის დონის კონტროლი და მცენარეების მიერ ნიაღვრული წყლების შთანთქმის შესაძლებლობები (მელქაძე, 2012). გასული ორი საუკუნის განმავლობაში, თბილისმა განიცადა ურბანული განვითარებისა და გაფართოების რამდენიმე ფაზა. თბილისი, ერთ დროს სავაჭრო გზებზე მდებარე სავაჭრო ქალაქიდან, ამიერკავკასიის ერთ-ერთ მსხვილ, მილიონიან ქალაქად ამოყალიბდა თავისი განსაკუთრებული კულტურითა და მნიშვნელოვანი სოციალურ-ეკონომიკური როლით, სამხრეთი კავკასიის რეგიონში. ეკონომიკური დაცემის, ნაციონალიზმის და სოციალური ქსოვილის დრამატული ცვლილებების ფონზე, რომელიც დამახასიათებელი იყო ყველა პოსტ-საბჭოური ქვეყნისათვის, დღეს, თბილისი, თანამედროვე, გლობალიზირებული მეტროპოლიაა, მიმდინარე ეპოქისთვის დამახასიათებელი პრობლემებითა და ამოცანებით. აღსანიშნავია რომ საბჭოთა პერიოდში (1921-1991) თბილისის მუნიციპალური ტერიტორია, ურბანიზაციის შედეგად ათჯერ, ხოლო მოსახლეობის რაოდენობა, ექვსჯერ გაიზარდა (Salukvadze & Golubchikov, 2016).

კანადელი მკვლევარი-ანთროპოლოგი, პოლ მენინგი თავის საჯარო ლექციაში აღნიშნავს რომ თბილისი, „მისი დაარსების დროს მწვანე [ადგილი] იყო, თუმცა ისტორიის უკუღმართობით, ის ტყეები, რომლებიც ერთ დროს თბილისის ტერიტორიას ფარავდნენ, ან გადაწვეს ან მოჭრეს“. მკვლევარი განსაკუთრებით უსვამს ხაზს მე-18 საუკუნეში, დამპყრობელთა მიერ, საქართველოს მეფეების და დიდებულების მიერ თბილისში გაშენებული ბაღების განადგურებას.

საბჭოთა პერიოდში, 1930-1960-იან წლებში თბილისში და მის შემოგარენში, მიუხედავად მეტ-ნაკლებად აღდგენილი მწვანე საფარისა, პარკებისა და ხეივნებისა, დღეს მათი უმეტესობა, ახალ ურბანულ განვითარებას და მრავალსართულიანი

კორპუსების მშენებლობას ეწირება. ქალაქის მოსახლეობის ზრდასთან ერთად, სულ უფრო აშკარა ხდება თბილისში მწვანე და რეკრეაციისთვის გამოყოფილი სივრცეების დეფიციტი.

როგორც ნახსენები ძველი წყაროები გვიდასტურებენ, ძველი ქალაქის გარე კონტური (გალავნის გარეთ) ბაღებითა და ტყეებით იყო დაფარული, რაც ხელს უწყობდა თბილისში კლიმატური ექსტრემუმების (ზაფხულის სიციხეები და ყინვა ზამთარში) შერბილებას და განზრახული გახლდათ ამ სერვისებისათვის.

დღეს, სამწუხაროდ, ასეთი დაყოფა, დაცვა ან ზღვარი (ხელოვნურად ნაშენ კონტურსა და ბუნებრივ ცენოზებს შორის) აღარ არსებობს. ეს მსოფლიოს, ყოველ შემთხვევაში, ევროპისა და აზიის კონტინენტებზე საყოველთაო პრაქტიკა იყო და ამ თვალსაზრისით არც ფეოდალური თბილისი იყო გამონაკლისი. ამ პერიოდის თბილისში, ბაღები გაშენებული იყო ქალაქის გალავანს გარეთ და ისინი, ხშირად, სავარაუდოდ ირანული ბაღების მსგავსად, ქვის გალავნებით იყო გამოყოფილი დაბნარჩენ ტერიტორიას, რასაც ვახუშტისეული რუკაც თვალნათლივ მოწმობს (ნახატები 3 და 4, თბილისის 1735 წლის რუკა).

#### 4.3. საკვლევი ტერიტორიის აღწერა

ქალაქი თბილისი მტკვრის ხეობაში მდებარეობს და ე.წ. „თბილისის ქვაბულშია“ განფენილი. ქალაქის განაშენიანებული ნაწილი, მდინარე მტკვრის ხეობის ორივე ნაპირზეა გაშლილი, ზღვის დონიდან 380-600 მეტრ სიმაღლეზე. თბილისს ჩრდილოეთით საგურამოს ქედის სამხრეთი მთისწინეთი ესაზღვრება, აღმოსავლეთით კი - ივრის ზეგანის ჩრდილო-დასავლეთი მონაკვეთი, ხოლო დასავლეთით და სამხრეთით - თრიალეთის ქედის განშტოებები. დღევანდელი თბილისის ურბანული ფორმა დიდწილად განპირობებულია დედაქალაქის გეოგრაფიითა და აღმოსავლეთ საქართველოში მიმდინარე ათასხუთასწლოვანი ისტორიული, პოლიტიკური და სოციალურ-ეკონომიკური პროცესებით.



2019 წელს, თბილისი მუნიციპალიტეტის მოსახლეობა 1.171 მილიონ ადამიანს შეადგენდა (იმავე წელს, საქართველოს მთლიანი მოსახლეობის რაოდენობა იყო 3.723 მილიონი ადამიანი) (*Population - National Statistics Office of Georgia, 2021*), რაც საქართველოს მთლიანი მოსახლეობის დაახლ. 31.45% -ია. აღსანიშნავია რომ 2007 წელს, თბილისის ადმინისტრაციული საზღვრების შეცვლის შემდეგ (შეცვლამდე თბილისის მუნიციპალიტეტის მთლიანი ფართობი გახლდათ 365 კვ. კმ <sup>30</sup>), თბილისის მუნიციპალიტეტის ნაწილი გახდნენ შემდეგი სოფლები: ტაბახმელა, კოჯორი, შინდისი, წავკისი, კიკეთი, ბეთანია, ახალდაბა, წყნეთი და სხვა. ამ ცვლილებით, თბილისის მუნიციპალიტეტის მთლიანი ფართობი 502 კვ. კმ გახდა, ხოლო ახალი ტერიტორიების შემოერთებამ გამოიწვია ახალი სამშენებლო აქტივობების გააქტიურება, ახლა უკვე ყოფილ სასოფლო-სამეურნეო და რეკრეაციული დანიშნულების მიწებზე. 2016 წლისათვის, განაშენიანების მქონე ტერიტორიის წილი თბილისში 23%-დან (1987 წელს) 37.53 %-მდე გაიზარდა (Gadrani et al., 2018).

თბილისის მწვანე სივრცეები, ძირითადად ხელოვნურ და ბუნებრივ მწვანე ფართობებს მოიცავენ, რომლებშიც შედიან ურბანული პარკები, საჯარო სკვერები და ბაღები, ქუჩების ხეივნები და სასაფლაოების ხე-მცენარეული, კერძო საკარმიდამო ნაკვეთების მწვანე ფართობები, თბილისის პერიმეტრში და მის გარშემო არსებული ბუნებრივი მცენარეული ცენოზები. თბილისის მწვანე სივრცეები (მწვანე საფარი) დაახლოებით 145 კვ. კმ-ზე ვრცელდება, რაც თბილისის მუნიციპალიტეტის მთლიანი ფართობის (502 კმ<sup>2</sup>) დაახლოებით 28.9%-ია და ჩამორჩება არაგამჭოლი ზედაპირით დაფარულ, ან სხვაგვარად, ურბანიზირებულ, უწყვეტი განაშენიანებით და „ნაცრისფერი“ ინფრასტრუქტურით დაფარულ ფართობს (158 კმ<sup>2</sup>, ანუ მთლიანი ფართობის 31.47%) (Tbilisi City Hall, 2018). თბილისის მიწათსარგებლობის სხვა ფართობები ასეა განაწილებული: წყლიანი ფართობები (მდინარეები, ტბები) - მთელი

<sup>30</sup> “ქალაქ თბილისის, გარდაბნის მუნიციპალიტეტისა და მცხეთის მუნიციპალიტეტის ადმინისტრაციული საზღვრების შეცვლის შესახებ”, საქართველოს პარლამენტი, საქართველოს პარლამენტის დადგენილება, დოკუმენტის ნომერი 4173, მიღების თარიღი: 27/12/2006, ვებ-გვერდი : <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/44278?publication=0> .

ფართობის 2.86%, სასოფლო-სამეურნეო მიწები (3.29 %) სხვა ტერიტორიები (32.88%, რომლებიც მოიცავენ შიშველ მიწებს, კლდოვან ზედაპირებს, მდელოებს და სხვას) (Gadrani et al., 2018).

მეტეც, თბილისის მნიშვნელოვანი და დიდი ზომის პარკები (მთაწმინდის პარკი - 100 ჰექტარი, ლისის ტბის პარკი - 140 ჰა და თბილისის დენდროლოგიური პარკი - 178 ჰა) და დიდი ფართობის მქონე სხვა მწვანე სივრცეები (ტყეები, მდელოები, სხვა), ძირითადად ქალაქის გარეუბნებში, ან რთული ტოპოგრაფიის მქონე ადგილებშია განლაგებული, რაც ზღუდავს თბილისელებისთვის მათ ყოველდღიურად ხელმისაწვდომობას.

თბილისის გეომორფოლოგიური თავისებურებებიდან აღსანიშნავია ის, რომ ქალაქის ძირითადი ნაწილი, მდინარე მტკვრის, 425-370 მ-ის სიმაღლეზე მდებარე ტერასებზეა გაშენებული. მდინარე მტკვარი, თბილისს ორ, ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ნაწილად ჰყოფს - მდინარის ხეობის მარჯვენა და მარცხენა ნაპირებად, რომლებიც ორივე მხარეს, ახლომდებარე მთიანი ქედებით არიან შემოსაზღვრულნი. მარჯვენა ნაპირზე, თრიალეთის ქედი (თბილისის ფარგლებში 719-770 მ მთაწმინდის პარკის ტერიტორიაზე, მცირე კავკასიონის შემადგენლობაში შემავალი, თრიალეთის ქედის ნაწილი) მკვეთრად წყდება და მთაწმინდისა და სოლოლაკის უბნებში, მტკვრის ხეობისკენ ეშვება; მთაწმინდისა და ლისის ქედებს შორის ვაკე უკავია ვაკე-საბურთალოს უბანს. მდ. მტკვრის მარჯვენა ნაპირი, ქალაქის უფრო მაღალი ნაწილია, ხოლო მარცხენა, უფრო გაშლილია და ჩრდილოეთით შემოსაზღვრულია მახათას მთით (630 მ).

კიოპენის კლიმატური კლასიფიკაციით (*Köppen climate classification*)<sup>31</sup>, თბილისში ნოტიო სუბტროპიკული ჰავაა (Cfa), მნიშვნელოვანი კონტინენტური და ნახევრად არიდული გავლენებით. საშუალო წლიური ტემპერატურა 12,7 °C<sup>32</sup>, იანვარის საშუალო ტემპერატურა 0,9 °C, ხოლო ივლისისა - 24,4 °C-ია; აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა - 23 °C, აბსოლუტური მაქსიმალური კი +40 °C. ნალექების რაოდენობა

<sup>31</sup> ბრიტანიკა: ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატი (Britannica, 2018)..

<https://www.britannica.com/science/humid-subtropical-climate>

<sup>32</sup> ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის მერია, თბილისის კლიმატი, ვებგვერდი:

<https://tbilisi.gov.ge/page/8>

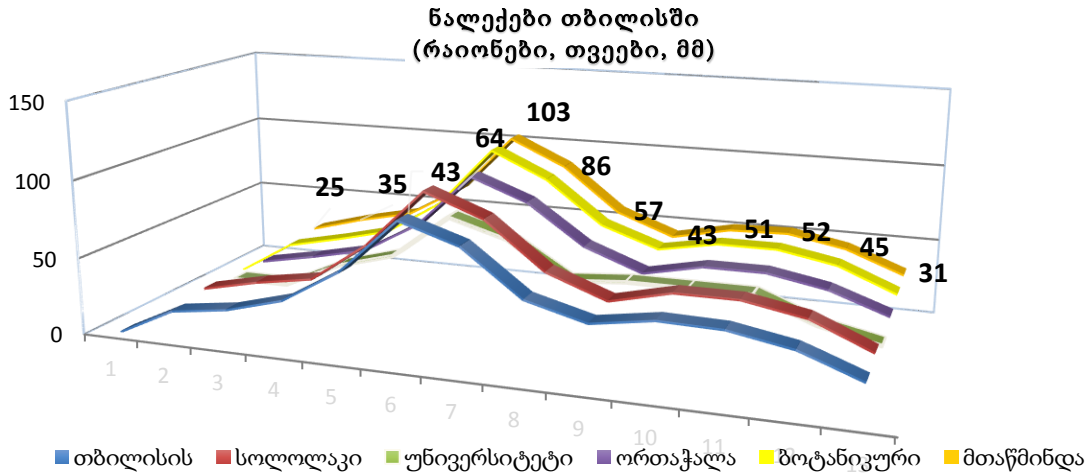
მერყეობს 400-560 მმ -ს შორის წელიწადში. აღსანიშნავია რომ თბილისის რთული და მრავალფეროვანი რელიეფის, განაშენიანების ინტენსივობის განსხვავებებისა და მწვანე ნარგავების არათანაბარი განაწილების გამო, თბილისის სხვადასხვა ნაწილებში შეინიშნება რიგი მიკროკლიმატური განსხვავებებისა (მაგ. ნალექების უდიდესი რაოდენობა, 600 მმ-ზე მეტი, მთაწმინდა-კრწანისის რაიონებში მოდის, ყველაზე მცირე ნალექი კი სამგორის რაიონში, მდინარე ლოჭინის მახლობლად არის აღრიცხული - 370 მმ) (ელიზბარაშვილი, 2007). საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის 1995 წლის კვლევის მონაცემების თანახმად, თბილისში ატმოსფერული ნალექების განაწილებაში არსებული განსხვავებები, ბუნებრივია, დიდ გავლენას ახდენენ ქალაქში ბუნებრივი და ხელოვნური ცენოზების განვითარებაზე და ეკოსისტემების სერვისების მოცულობაზე, მიკრორაიონების მიხედვით (იხ. ცხრილი 4 -ატმოსფერული ნალექები თბილისში) ამ ცხრილიდან კარგად ჩანს მიკროკლიმატური განსხვავებები ნალექების განაწილებაში (**ნახატი 4**).

უხვნალექიანია მაისი (90-100 მმ), მცირენალექიანი — იანვარი (18-25 მმ). თოვლის სახით ნალექი შეიძლება მოვიდეს საშუალოდ 15-25 დღე წელიწადში. გაბატონებულია ჩრდილოეთი და ჩრდილო -დასავლეთის ქარი, ხშირია აგრეთვე სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარი (ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის მერია, თბილისის კლიმატი).

**ცხრილი 4.** ატმოსფერული ნალექები თბილისში. ნალექების რაოდენობა თბილისში თვეების მიხედვით, მმ (ცხრილი შედგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრო-მეტეოროლოგიური ინსტიტუტის 1995 წლის კვლევის მონაცემების თანახმად), წყარო: მუნიციპალიტეტის საკრებულოს დადგენილება „დედაქალაქის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის დამტკიცების შესახებ“.

თვე/ მდებარ ეობა	თბილი სის ცენტრი	სოლო ლაკი	უნივერ სიტეტი	ორთაჭა ლა	ბოტანი კური ბაღი	მთაწმი ნდა	აერო- პორტი	სამგორი, „თბილისის ზღვა“
I	18	22	18	20	22	25	-	-
II	23	30	18	27	30	35	-	-
III	33	36	35	35	39	43	36	-
IV	55	62	45	56	62	64	53	64
V	90	99	74	92	102	103	85	102
VI	78	85	63	78	85	86	72	86
VII	50	56	40	52	57	57	48	57
VIII	40	42	43	38	44	43	36	42
IX	46	51	43	46	51	51	42	51

X	45	51	43	46	51	52	43	52
XI	38	44	28	39	44	45	38	48
XII	24	28	20	26	29	31	27	35
წელი	540	608	466	555	616	635	-	-



**ნახატი 4.** ნალექების რაოდენობა თბილისის სხვადასხვა უბანში, წელიწადის თვეების მიხედვით (შედგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრო-მეტეოროლოგიური ინსტიტუტის 1995 წლის კვლევის მონაცემების მიხედვით).

ზოგადად, დიდი კავკასიონის ქედის სიახლოვე (თბილისი ჩრდილოეთით), ხელს უშლის რუსეთის ველებიდან ცივი ჰაერის მასების შემოსვლას საქართველოში, რაც განაპირობებს თბილისში რბილი და სასიამოვნო კლიმატის ჩამოყალიბებას. კლიმატის ცვლილების გავლენა საქართველოზე და თბილისზე, განხილულ იქნა გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო-კონვენციის ფარგლებში (UNFCCC Georgia, 2019), სადაც აღინიშნა საქართველოში და თბილისში ჰაერის საშუალო ტემპერატურის ( $12.7^{\circ}\text{C}$ ) ზრდა  $1.3^{\circ}\text{C}$  -ით და წლიური ნალექების მატება დაახლოებით 60 მმ-ით (საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობა თბილისში: 500 მმ-ის ფარგლებში), ბოლო 25 წლის განმავლობაში (1990-2015).

საქართველოში სათბურის გაზების ემისიის ყველაზე მნიშვნელოვანი წყაროებიდან აღინიშნა ტრანსპორტი (ემისიების 38%), ნავთობი და ბუნებრივი გაზი (17%), ენერჯის გენერაციის საწარმოები (15%), მშენებლობა და მრეწველობის საწარმოები (10%) და სხვა სექტორები (18%) (UNFCCC, 2019). თბილისში, რომელიც საქართველოს მთავარი ეკონომიკური და სოციალური აქტივობების ცენტრია

(საქართველოს მთლიანი შიდა პროდუქტის 51.2% იქმნება თბილისში) (*Gross Domestic Product (GDP) - National Statistics Office of Georgia, 2021*), ჰაერის მთავარი დამაბინძურებელი სატრანსპორტო სექტორია. 2000 წლამდე გამოშვებული, მეორადი მსუბუქი ავტომობილების მზარდი რაოდენობა (ქვეყანაში რეგისტრირებული 1.4 მილიონი ავტომობილის დაახლოებით 48%) კიდევ უფრო აუარესებს ჰაერის ხარისხს საქართველოში. ჰაერის დაბინძურების 2017 წლის მონაცემების მიხედვით, ჰაერში არსებული მცირე ნაწილაკების წლიური კონცენტრაცია, საქართველოს მსხვილ ქალაქებში, მოცემულ დროს, აჭარბებდა ევროკავშირის სატანდარტულ ნორმას PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> ნაწილაკებისთვის (0.025 მკგ/მ<sup>3</sup> და 0.04 მკგ/მ<sup>3</sup>, შესაბამისად) (Minister of environmental protection and agriculture of Georgia, *National Report on the State of the Environment of Georgia 2014-2017*, 2019).

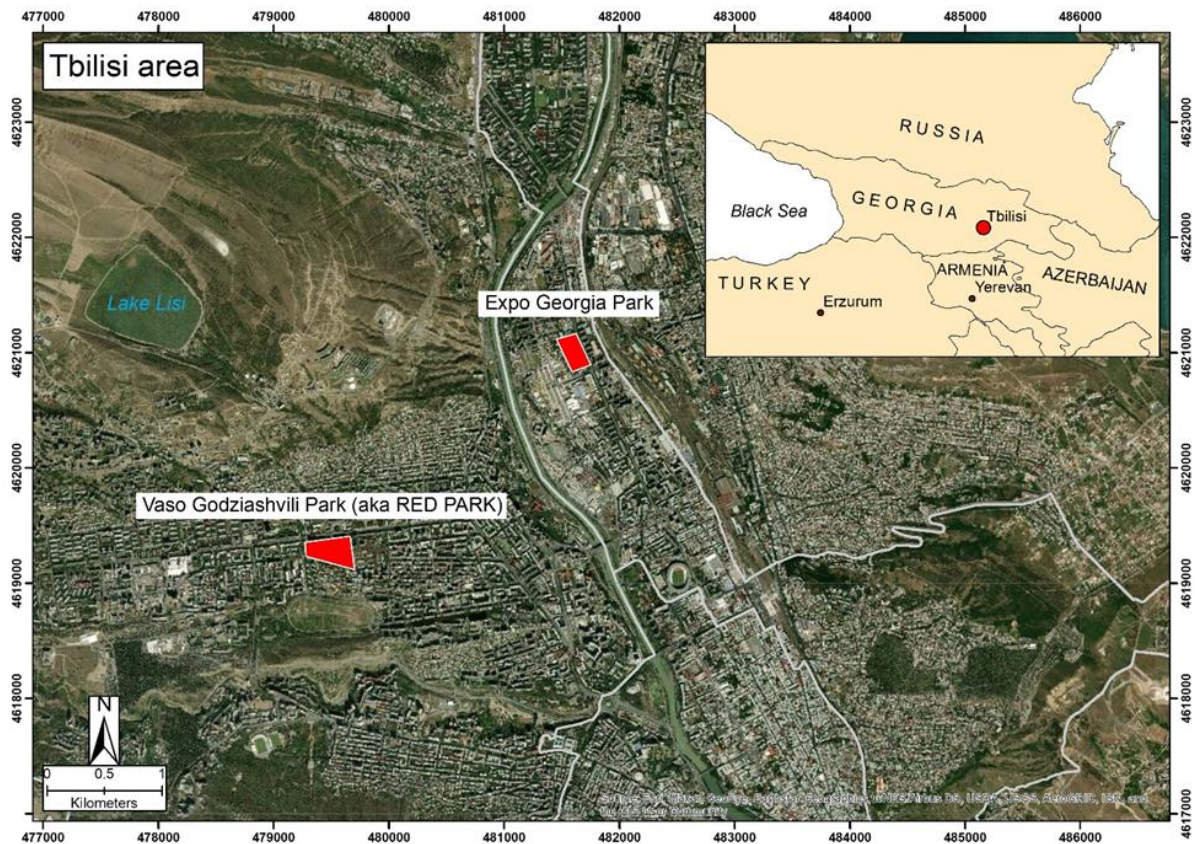
საყურადღებოა თბილისის მდგომარეობა ურბანული ეკოსისტემების არსებობისა და მათი ხელმისწავდომობის მხრივ. თბილისი, საქართველოს უდიდესი ქალაქია, 1,100, 000 მეტი მცხოვრებით (საქართველოს მთელი მოსახლეობის 30%-ზე მეტი), თუმცა ერთ სულ მოსახლეზე დაანგარიშებული ყველა ტიპის მწვანე სივრცის ფართობით (სავარაუდოდ, 5-6 მ<sup>2</sup>/ერთ სულზე, ქალაქის უწყვეტი განაშენიანების კონტურში, ლ.ა.), თბილისი საგრძნობლად ჩამორჩება ევროპის ქალაქების უმატესობას, სადაც ეს მაჩვენებელი გაცილებით მაღალია, განსაკუთრებით ჩრდილოეთ ევროპის ქალაქებში (Kabisch et al., 2016). მწვანე სივრცის ფართობი (კვ. მ /ერთ მცხოვრებზე) ევროკავშირის ქალაქებში საშუალოდ - 18.2 კვ. მ შეადგენს . ევროკავშირის რამდენიმე ქალაქის მწვანე სივრცის საშუალო მაჩვენებელი ასე გამოიყურება: ლიუბლიანა - 560 კვ.მ/მცხოვრებზე), ლაიფციგი - 254, ვენა - 120, სტოკჰოლმი - 70.06, ნანტი - 57, კოპენჰაგენი - 42, ლისაბონი - 37.33, პრაღა - 35.72, პარიზი - 11.5) (Taubenböck et al., 2021; Maes et al., 2019; Cömertler, 2017). თბილისი, მწვანე სივრცეების ფართობით ჩამორჩება მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის (WHO) ბევრად უფრო მოკრძალებულ (ვიდრე ევროკავშირში) მოთხოვნას ურბანული მწვანე სივრცისადმი (მინიმუმ 9 მ<sup>2</sup>/სულზე და 50 მ<sup>2</sup>/სულზე, როგორც იდეალური მწვანე ფართობის რაოდენობა ქალაქისათვის) (Badiu et al., 2016).



#### 4.4. საკვლევი ტერიტორიები: თბილისის ორი ურბანული პარკი

ჩვენი კვლევის სივრცე მოიცავდა თბილისის ორ ურბანულ პარკს (იხ. ნახატი 5) - „ვასო გოძიაშვილის სახელობის პარკს“ (ასევე ცნობილი „წითელი ბაღის“ სახელით), მთლიანი ფართობით 3.3 ჰექტარი (საბურთალო, მდინარე მტკვრის ხეობის მარჯვენა ნაპირი, ზღვის დონიდან 455 მ) და „ექსპო-ჯორჯიას პარკს“ (მთლიანი ფართობი 3.2 ჰექტარი), მდებარე მდ. მტკვრის ხეობის მარცხენა ნაპირზე, დიდუბეში, ზღვის დონიდან 418 მ, დაარსებულია 1958 წელს). ეს პარკები ქალაქის უწყვეტი განაშენიანების ზოლში მდებარეობენ და მათ შორის მანძილი დაახლოებით 2.7 კმ-ია.

**ნახატი 5.** ვასო გოძიაშვილის („წითელი ბაღი“) და ექსპო-ჯორჯიას პარკები, თბილისი, აეროფოტოს საფუძველზე (ავტორები: გიორგი კირკიტაძე და ლევან ალფაიძე, 2020)



ეს პარკები თბილისში გასული საუკუნის 50-60-იან წლებში გაშენდა. „წითელი ბაღი“ ტიპიური საჯარო პარკია, რომელიც საბურთალოს რაიონის მჭიდროდ დასახლებულ უბანშია გაშენებული ალექსანდრე ყაზბეგის გამზირზე და ძირითადად

სასპორტო-გამაჯანსაღებელი და სარეკრეაციო საჭიროებებისთვის გამოიყენება. პარკი „ექსპო ჯორჯია“ მდებარეობს საქართველოში ერთადერთ, სამეცნიერო-ტექნიკური და კომერციული გამოფენების ცენტრის ტერიტორიაზე, სადაც გარდა საგამოფენო ინფრასტრუქტურისა, გაშენებულია დასასვენებელი პარკიც. „ექსპო-ჯორჯიას“ პარკი მდებარეობს დიდუბეში, ქალაქის მჭიდროდ დასახლებულ უბანში. დღეს, პარკი და მთლიანი საგამოფენო ტერიტორია (15.3 ჰექტარი) ეკუთვნის კერძო სააქციო საზოგადოებას, „ექსპო-ჯორჯიას“ და პარკის ტერიტორია დღის საათებში ღია და ხელმისაწვდომია თბილისის მცხოვრებლებისთვის<sup>33</sup>.

#### 4.5. საკვლევი ხეები პარკების ტერიტორიებზე

საველე სამუშაოები ჩატარდა 2019 წლის აგვისტო-სექტემბერში და მათი ჩატარების პროექტი შედგენილ იქნა აშშ-ს სოფლის მეურნეობის დეპარტამენტის ფედერალური სატყეო სააგენტოს მიერ შემუშავებული მეთოდოლოგიის, i-Tree Eco v6-ის საველე სახელმძღვანელოს შესაბამისად<sup>34</sup>.

ინფორმაცია, რომელიც შეგროვილ იქნა საველე სამუშაოების დროს, სხვა მასალებთან ერთად, მოიცავდა შემდეგს: ა) ხის უნიკალური იდენტიფიკატორი/ნომერი, ბ) სახეობის (ლათ. genus) დასახელება (ქართულად და ლათინურად), გ) თითოეული ხისა და საკვლევი ნაკვეთის ცენტრის GPS; დ) სიმაღლე (მთლიანი და ცოცხალი ფოთლოვან საფარამდე), ე) სიმაღლე ფოთლოვან საფარამდე (ძირიდან), ვ) ხის ღეროს დიამეტრი მკერდის სიმაღლეზე, DBH<sup>35</sup>, (1.38 მ სიმაღლეზე, 5 სმ > სისქის ვარჯისთვის), ზ) ფოთლოვანი საფარის (გვირგვინის) სიგანე (N - S და E - W მიმართულებები), ი) ხის ფოთლოვანი საფარის დანაკლისი (პროცენტი), კ) მკვდარი ტოტების პროცენტი ხის გვირგვინზე და ფოთლოვანი საფარველის განათება (1-დან 5-მდე შკალაზე, სადაც „5“ ნიშნავს ხუთი მხრიდან მზის სხივებით განათებას: აღმოსავლეთი, დასავლეთი,

<sup>33</sup> ექსპო-ჯორჯია, ჩვენს შესახებ - Expo Georgia, About Us, წყარო: <https://www.expogeorgia.ge/about-us/>

<sup>34</sup> i-Tree Eco, საველე სახელმძღვანელო (field guide v6.0), 2020, USDA Forest Service, ვებ-გვერდი: <https://www.itreetools.org/documents/274/EcoV6.FieldManual.2020.07.23.pdf> .

<sup>35</sup> დიამეტრი მკერდის სიმაღლეზე - ინგლ. Diameter at Breast Height (DBH).

სამხრეთი, ჩრდილოეთი და ზემოდან განათება). ჩამოთვლილი მონაცემები აღებულ იქნა იმ ხეებისათვის, რომელთა მთავარი ღეროს (ზროს) დიამეტრი 5 სმ-ზე მეტი იყო.

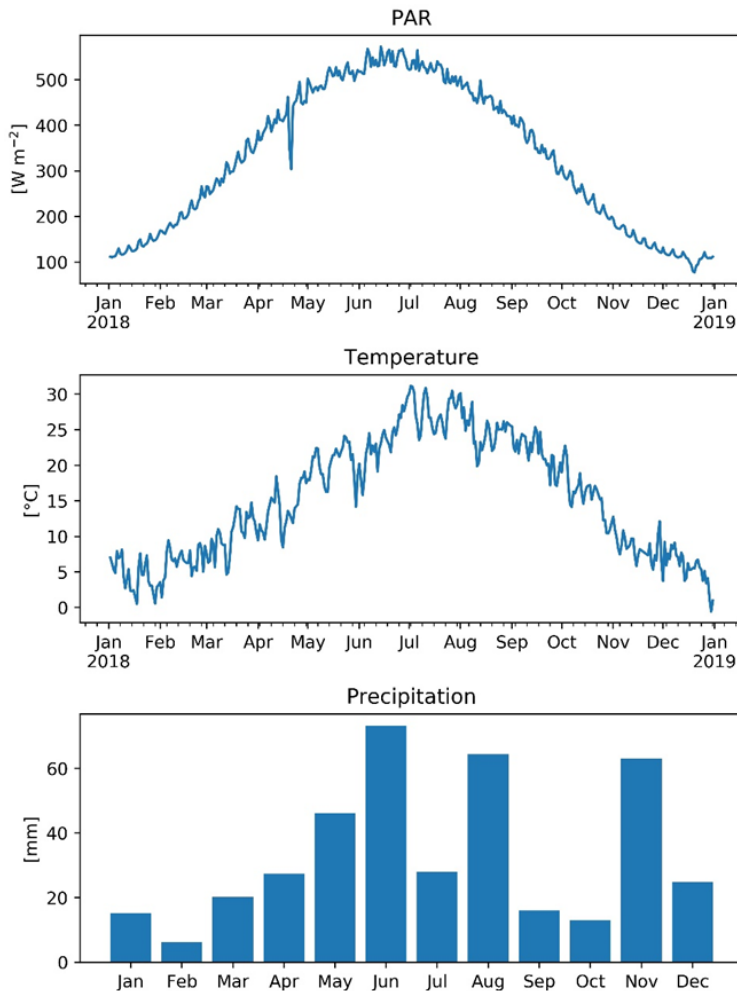
## თავი 5. კვლევის შედეგები

### 5.1. კლიმატური და ჰაერის დაბინძურების მონაცემები

2018 წელს, თბილისში ჰაერის საშუალო დღიური ტემპერატურა 15.3 °C იყო, მინიმალური ტემპერატურით დეკემბრის ბოლოს (-0.6 °C) და მაქსიმალურით - ივლისში (31.2 °C). ფოტოსინთეზური აქტიური რადიაციის (ფარ-ის)<sup>36</sup> საშუალო მონაცემი გახლდათ 330.1 W m<sup>-2</sup> (ვატი კვ. მ-ზე), ყველაზე დაბალი მაჩვენებლით დეკემბერში (77.5 W m<sup>-2</sup>) და მაქსიმალური მონაცემით ივნისში (572.5 W m<sup>-2</sup>). ნალექების რაოდენობა 2018 წელს მეტ-ნაკლებად თანაბრად იყო განაწილებული წლის განმავლობაში (საშუალოდ თვეში დაახლ. 33 მმ), თუმცა გამოკვეთილი სეზონური თავისებურებებით: მაქსიმალური რაოდენობა ივნისში, აგვისტოში და ნოემბერში (73.2, 64.4, 63 მმ, შესაბამისად) და ყველაზე დაბალი ნალექიანობით თებერვალში (6.2 მმ) (იხ. ნახატი 6).

<sup>36</sup> ფოტოსინთეზური აქტიური რადიაცია (ფარ) - მცენარეთა ფოთლები შთანთქავენ ფოტოსინთეზურად აქტიური სხივების 80-85%-ს. ფარ-ი გახლავთ სინათლის ის რაოდენობა რომელიც გამოიყენება მცენარეების მიერ ფოტოსინთეზისათვის და ეს გახლავთ შუქი, რომელის ტალღების სიგრძე 400-710 ნმ სიგრძის ტალღებს მოიცავს. მზის სპექტრის ამ ნაწილს ეწოდება ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია (ფარ); ფარ-ი იცვლება სეზონურად და განსხვავებულია დღის განმავლობაში და გეოგრაფიული განედის მიხედვით. ინგლისურად - Photosynthetically Active Radiation (PAR).





**ნახატი 6.** კლიმატის მონაცემები, გამოყენებული მოდელის სიმულაციისთვის, თბილისი 2018 წელი. ზემოდან ქვემოთ: დღიური საშუალო ფოტოსინთეზური აქტიური რადიაცია (ფარ-ი - *Photosynthetically Active Radiation (PAR)* - ფოტოსინთეზისათვის საჭირო სხივების რაოდენობა 80-710 ნანომეტრი (ნმ) სიგრძის ტალღების დიაპაზონში), დღიური საშუალო ტემპერატურა, და საშუალო ნალექების რაოდენობა თვეების მიხედვით.

თბილისის ატმოსფერულ ჰაერში **ნახშირბადის მონოოქსიდის** ( $CO$ )<sup>37</sup> საშუალო კონცენტრაცია 2018 წელს, გახლდათ **0.388  $mg m^{-3}$**  ანუ **388  $\mu g m^{-3}$**  (მიკროგრამი კუბურ მეტრში - გრამის ერთი მემილიონედი);  $CO$ -ს შედარებით მაღალი კონცენტრაცია აღინიშნებოდა ზამთრის თვეებში (მაქსიმალური კონცენტრაცია = **1.7125  $mg m^{-3}$**  ანუ **1,712.5  $\mu g m^{-3}$** ). (იხ. **ნახატი 7**) საქართველოში, ჰაერში **ნახშირბადის მონოოქსიდის** კონცენტრაციის დასაშვები ნორმები შეადგენს: **10  $mg m^{-3}$**  (მგ/მ<sup>3</sup>, 8-საათიანი გასაშუალოებული პერიოდით, 60%-იანი ტოლერანტობის ზღვრით (საქართველოს

<sup>37</sup> ნახშირჟანგი ან ნახშირბადის მონოოქსიდი — ქიმიური ნივთიერება, მხუთავი აირი, ფორმულით  $CO$ , ნახშირბადის ჟანგბადთან ნაერთი;

მთავრობის დადგენილება №383). (შენიშვნა: CO-ს კონცენტრაცია მგ/მ<sup>3</sup>-ში აისახება, სხვა დამბინძურებლის კონცენტრაცია კი მკგ/მ<sup>3</sup> ში);

ევროკავშირის 2020 წლისთვის დადგენილი ნორმებით (European Commission, *n.d.*), ჰაერში ნახშირბადის მონოოქსიდის მაქსიმალური კონცენტრაციის დასაშვები დონეა 10 mg/m<sup>3</sup> (მგ/მ<sup>3</sup>), საშუალოდ 8 სთ-ის განმავლობაში). შედეგი: ნორმაშია.

**გოგირდის ორჟანგის (SO<sub>2</sub>)** კონცენტრაციის საშუალო მონაცემი ჰაერში 2018 წელს იყო **7 µg m<sup>-3</sup>**, ხშირი პიკური ნახტომებით 30.4 µg m<sup>-3</sup> -მდე საშუალოდ თვეში (თებერვალი, მარტი, აპრილი) და ყველაზე მაღალი კონცენტრაციებით დეკემბრის რამდენიმე დღის განმავლობაში (100 µg m<sup>-3</sup>) (იხ. ნახატი 7). გოგირდის ორჟანგი ატმოსფეროში ბუნებრივი და ანთროპოგენული წყაროებიდან ჩნდება. ანთროპოლოგიური წყაროებია: ნამარხი საწვავის (ნავთობი, გაზი) წვა თბოელექტროსადგურებში და სხვა სამრეწველო საწარმოებში, ლითონის გამდიდრება, საზღვაო ტრანსპორტი, ავტომობილები შიგაწვის ძრავებით და სხვა საწარმოო-ტექნოლოგიური პროცესები, რომლებიც გამოიყენებენ საწვავს, გოგირდის მაღალი შემცველობით. ბუნებრივი წყაროებიდან გოგირდის ორჟანგი გამოიყოფა ვულკანების აქტივობისას. გოგირდის ორჟანგის (SO<sub>2</sub>) ნაწილაკების ჩასუნთქვა აზიანებს ადამიანის რესპირატორულ სისტემას და ამნელებს სუნთქვას, განსაკუთრებით ბავშვებისა და ასთმით დაავადებულთათვის; გარემოსდაცვითი კუთხით, გოგირდის ორჟანგის გაზრდილი კონცენტრაცია ხშირად იწვევს სხვა გოგირდოვანი ნაერთების წარმოქმნას (SO<sub>x</sub>), რაც თავის მხრივ, ხელს უწყობს ჰაერში მიკროსკოპული მყარი ნაწილაკების (PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub>) ფორმირებას<sup>38</sup>. გოგირდის ორჟანგის გაზრდილი კონცენტრაცია დამაზიანებელია ხეებისთვის, მათი ვარჯისათვის და ანელებს ხეების ზრდას. ევროკავშირის 2020 წლისთვის დადგენილი ნორმებით, ჰაერში არსებული გოგირდის ორჟანგის მაქსიმალური კონცენტრაციის დასაშვები დონეა **350 µg/m<sup>3</sup>**, 1 სთ-ის განმავლობაში, და/ან **125 µg/m<sup>3</sup>**, 24-საათის განმავლობაში. საქართველოს მთავრობის ტექნიკური რეგლამენტის თანახმად (საქართველოს

<sup>38</sup> დაბინძურება გოგირდის ორჟანგით, აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტო (EPA) (Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Pollution, United States Environmental Protection Agency (EPA), ვებ-გვერდი: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects>, accessed June 16, 2021.

მთავრობის დადგენილება №383, 2018 წლის 27 ივლისი) გოგირდის ორჟანგის ჰაერში კონცენტრაციის სტანდარტები შეესაბამება ევროკავშირის მიერ დადგენილ ნორმებს. შედეგი: ნორმაშია.

ჰაერში მტვრის მყარი შეწონილი ნაწილაკების (**მყარი ნაწილაკების**), PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> -ის საშუალო კონცენტრაცია მეტ-ნაკლებად თანაბარი იყო წლის განმავლობაში (**15.8 და 40.3  $\mu\text{g m}^{-3}$**  - მიკროგრამი/მ<sup>3</sup>, შესაბამისად), კონცენტრაციის ყველაზე მაღალი მაჩვენებლებით დეკემბრის თვეში (PM<sub>2.5</sub> - 70.8 და PM<sub>10</sub> - 196.9  $\mu\text{g m}^{-3}$ , შესაბამისად). (იხ. ნახატი 7). ყურადსაღებია ერთი პიკური მონაცემი, PM<sub>10</sub> -ის კონცენტრაციის მკვეთრი ზრდით (177.9  $\mu\text{g m}^{-3}$  -მდე), რომელიც რეგისტრირებულ იქნა 2018 წლის 27 ივლისს, რაც საქართველოს გარემოს დაცვის სააგენტოს თანახმად<sup>39</sup>, გამოწვეულ იქნა მტვრიანი ჰაერის დიდი მასების შემოსვლით სამხრეთ და აღმოსავლეთ საქართველოში, თურქმენეთიდან, ირანიდან და აზერბაიჯანიდან (Berianidze et al., 2019). საქართველოში, ჰაერში მტვრის მყარი შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის დასაშვები ნორმები შეადგენს: PM<sub>2.5</sub> - ზღვრული: **25  $\mu\text{g m}^{-3}$**  (1 წლის გასაშუალოებული პერიოდით, 20%-იანი ტოლერანტობის ზღვრით, საქართველოს მთავრობის დადგენილება №383); PM<sub>10</sub> -თვის, მყარი შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის დასაშვები ნორმები შეადგენს: **50  $\mu\text{g m}^{-3}$**  (24-საათის განმავლობაში) და **40  $\mu\text{g m}^{-3}$**  (1 წლის გასაშუალოებული პერიოდით); ევროკავშირის ნორმებით (Air Quality Standards, European Commission, 2020), ჰაერში არსებული მყარი შეწონილი ნაწილაკების მაქსიმალური კონცენტრაციის დასაშვები დონეა 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - PM<sub>10</sub> -თვის (24-საათის განმავლობაში) და 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 წლის გასაშუალოებული პერიოდით); შედეგი: ძირითადად ნორმაშია (2018 წლის ივლისში, სამხრეთიდან შემოჭრილი ნაკადების პერიოდის გარდა).

ოზონის (O<sub>3</sub>) წლიური საშუალო მნიშვნელობა გახლდათ 33.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ , მაღალი მაჩვენებლებით გაზაფხულსა და ზაფხულში (მაქს. კონცენტრაციის მნიშვნელობა = 78.8

<sup>39</sup> სტატია ვებ-გვერდზე: „სინოპტიკოსები განმარტავენ, რამ გამოიწვია ძლიერი ნისლი და მტვერი თბილისში“, imedi / 27 ივლისი 2018 (July 27, 2018), 14:34, წყარო:

<https://imedineews.ge/ge/politika/71874/sinoptikosebi-ganmartaven-ram-gamoitsvia-dzlieri-nisli-da-mtveri-tbilisshi>

µg m<sup>-3</sup>). (იხ. ნახატი 7). საქართველოში დადგენილი ნორმა ოზონისათვის: 120 µg m<sup>-3</sup> (დღეში მაქსიმალური საშუალო 8 საათი, ტოლერანტობის ზღვარი - 100%; დასაშვები გადაჭარბების რაოდენობა წლის მანძილზე: 25, გასაშუალოებული 3 წლის განმავლობაში, საქართველოს მთავრობის დადგენილება №383, 2018 წლის 27 ივლისი); ევროკავშირის ნორმა ოზონისათვის: 120 µg m<sup>-3</sup> (მაქს. 8-საათიანი გასაშუალოებული ოდენობა ერთ დღე-ღამეში, დასაშვები გადაჭარბების რაოდენობა წლის მანძილზე: 25, გასაშუალოებული 3 წლის განმავლობაში ); შედეგი: ნორმაშია.

საწინააღმდეგო ტენდენცია შეიმჩნევა აზოტის დიოქსიდის, NO<sub>2</sub>-ის მაჩვენებლებში, როდესაც ამ დამაბინძურებლის კონცენტრაციის ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები ზამთრის თვეებში გვხვდება ( 75.7 µg m<sup>-3</sup>); NO<sub>2</sub>-ის საშუალო წლიური კონცენტრაცია 34.5 µg m<sup>-3</sup>-ს შეადგენდა. (იხ. ნახატი 7). აზოტის დიოქსიდის პიკური კონცენტრაცია ატმოსფეროში (108.8 µg m<sup>-3</sup>), PM<sub>10</sub>-ის მსგავსად, დაფიქსირდა 2018 წლის 27 ივლისს. (ნახ. 4). საქართველოში და ევროკავშირის ქვეყნებისათვის დადგენილი ნორმა აზოტის დიოქსიდისათვის: 200 µg/m<sup>3</sup> , 1 საათის განმავლობაში, ტოლერანტობის ზღვარი - 50%; (დასაშვები გადაჭარბების რაოდენობა წლის მანძილზე: 18), (საქართველოს მთავრობის დადგენილება №383, 2018 წლის 27 ივლისი) და 40 µg/m<sup>3</sup> , გასაშუალოებული 1 წელზე, ტოლერანტობის ზღვარი - 50%; დასაშვები გადაჭარბების რაოდენობა წლის მანძილზე: 0). აშშ-ს მაქსიმალური დასაშვები ნორმა, ჰაერში აზოტის დიოქსიდისათვის: 100 µg/m<sup>3</sup> (მაქს. წლიური საშუალო) და 188 µg/m<sup>3</sup> (1-საათის გამავლობაში); შედეგი: ნორმაშია.

ზოგადად, ფაქტორები, რომლებიც გადამწყვეტ როლს თამაშობენ ხეების მიერ ჰაერიდან დამაბინძურებლების (აირების თუ მცირე მყარი ნაწილაკების) შთანთქმვაში, მოიცავენ ფოთლოვანი საფარველის ფართობს, ჰაერში არსებული დამაბინძურებლების კონცენტრაციას და ადგილობრივ კლიმატურ მონაცემებს. აშშ-ს ფედერალური სატყეო სამსახურის მიერ ჩატარებული მრავალწლიანი გამოკვლევების საფუძველზე და კომპიუტერული სიმულაციების სხვადასხვა მოდელებით მიღებული მონაცემებით (Nowak & Crane, 2002), აშშ-ს მსხვილ ქალაქებში (ატლანტა, ნიუ-იორკი), მთელი ქალაქის ტყეების მასშტაბით ჩატარებული კვლევების თანახმად, ჰაერიდან მავნე

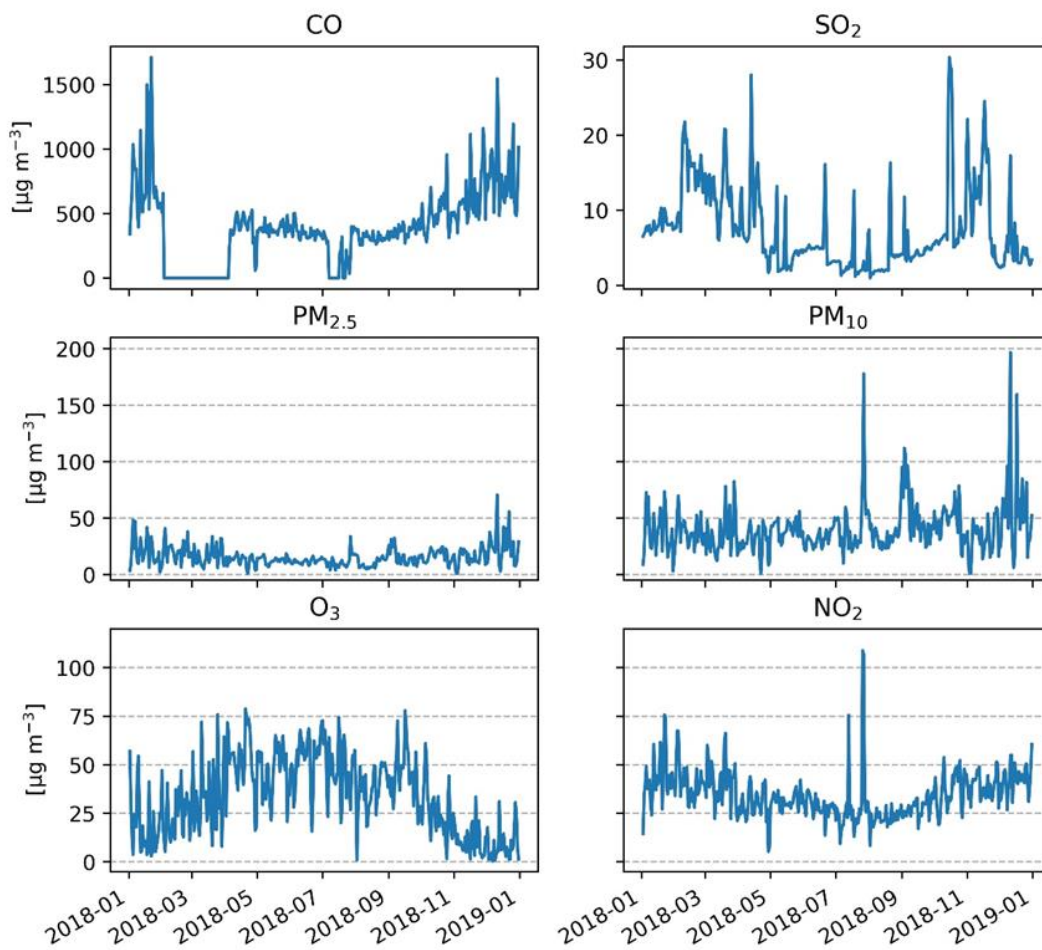
დამაბინძურებლების (სხვადასხვა აირებისა და მყარი ნაწილაკების - NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> და SO<sub>2</sub>) შთანქმის მონაცემები 1,000-1,500 ტონას აღწევს, ხოლო მცირე დასახლებებში, მონაცემები 10-19 ტ-ის ფარგლებშია. თბილისის ორ ურბანულ პარკში ჩატარებული i-Tree Eco V6 სიმულაციის შედეგად, ჰაერიდან დამაბინძურებლების შთანქმის ჯამური რაოდენობა, 2018 წელს, გახლდათ 209.9 კგ, ანუ 0.121 კგ/ხე/წელიწადში, რაც სავარაუდოდ იმას ნიშნავს რომ 1988 წლის თბილისის ხეების ინვენტარიზაციით, თბილისის მუნიციპალიტეტში არსებული დაახლოებით 18 მილიონი ძირი ხე (ქ. თბილისის მუნიციპალიტეტი თბილისის გარემოსდაცვითი სტრატეგია 2015-2020), თეორიულად, წელიწადში, თბილისის ჰაერიდან დაახლ. 2,100 ტონა დამაბინძურებელ ნივთიერებს შთანქმავს, რაც მონეტარულად, შესაძლოა 17-20 მილიონი აშშ დოლარის სერვისს წარმოადგენდეს (!) (ღირებულების გათვლა ეყრდნობა აშშ-ს სატყეო სამსახურის გათვლებს ქ. ჰიუსტონისათვის) (Nowak et al., 2017).

აქვე აღსანიშნავია ერთი გარემოება, რომელიც მნიშვნელოვანია თბილისში არსებული მწვანე საფარის მდგომარეობის შესაფასებლად: 18 მილიონ ძირზე მეტი ხე, აღნიშნული 1988 წლის თბილისის ანგარიშის თანახმად, საკამათოა, რადგან ნიუ-იორკის ურბანული ტყეების ინვენტარიზაციის 2018 წლის ანგარიშის თანახმად, ნიუ-იორკის ხუთი რაიონი (მანჰეტენი, ბრონქსი, ქუინსი, ბრუკლინი და სტაიტენ-აილენდი) სულ 6,977,000 ძირ ხეს ითვლის მთელი ქალაქის მასშტაბით (Nowak et al. 2018). თბილისის და ნიუ-იორკის მუნიციპალური ტერიტორიების ფართობების გათვალისწინებით (502 კმ<sup>2</sup> და 810 კმ<sup>2</sup>, შესაბამისად), ძნელად სავარაუდოა რომ თბილისში ხეების რაოდენობა, 3-ჯერ აღემატება ნიუ-იორკისას; ასევე, ნიუ-იორკის ანგარიშში აღნიშნულია რომ ხეების საფარი, ქ. ნიუ-იორკის ყველა რაიონის მიხედვით, მთელი ტერიტორიის 21%-ს შეადგენს. იმედია, ახალი ინვენტარიზაცია დააზუსტებს თბილისის მუნიციპალიტეტში არსებული ხეების რაოდენობას და ხე-მცენარეულის მიერ დაფარული საფარის ფართობს თბილისში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჰაერიდან მავნე ნივთიერებების შთანქმე პირდაპირ არის დაკავშირებული ქალაქის მწვანე საფარველის ფართობთან, ჰაერში მავნე

ნივთიერებების კონცენტრაციასა და კლიმატურ თავისებურებებთან. კერძოდ, ურბანული ხეების მწვანე საფარველით შექმნილი ვარჯის ფართობის გაზრდა, დიდი ფოთლოვანი ფართობის მქონე სახეობის ხეების შენარჩუნება და ამ თვისებების მქონე, ასაკოვანი ხეების რაოდენობა, პირდაპირპროპორციულია ქალაქის ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებასთან და ჰაერიდან შთანთქმული მავნე ნივთიერებების რაოდენობასთან (Nowak & Dwyer, 2007).

**ნახატი 7.** ჰაერის დამაბინძურებლების,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$  და  $NO_2$ -ის დღიური საშუალო კონცენტრაცია თბილისში (წელი: 2018)



## 5.2. თბილისის ორი პარკის ურბანული ტყეების აღწერა

თბილისის ორი ურბანული პარკის ტყეების გასაანალიზებლად შესწავლილ იქნა ამ პარკების ტყეების მახასიათებლები. „წითელი ბაღის“ (ოფიციალური დასახელება“ ვასო გოდიაშვილის სახელობის პარკი“) ხე-მცენარეების კვლევისას შესწავლილ იქნა 1,030 ერთეული ხე (ხეებით დაფარული ფართობი პარკში: 1.5 ჰა, 45.45%) (იხ. ცხრილი 5). „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში კი მთლიანად შესწავლილ იქნა 694 ხე (ხეებით დაფარული ფართობი პარკში: 1.8 ჰა, 56.25%) (იხ. ცხრილი 5).

**ცხრილი 5.** „წითელი ბაღის“ დომინანტური ხეების სახეობები: მათი რაოდენობა, ვარჯის ფართობი, ფოთლოვანი საფარველის ფართობი და ხეების განივკვეთის ფართობი <sup>40</sup> მეტი ან ტოლი 1%, 300 მ<sup>2</sup>, 1000 მ<sup>2</sup>, და 0.3 მ<sup>2</sup>.

სახეობები	ხეების რაოდენობა (N <sup>o</sup> )	ვარჯის ფართობი (მ <sup>2</sup> )	ფოთლოვან საფარველი (მ <sup>2</sup> )	განივკვეთის ფართობი (მ <sup>2</sup> )
პირამიდული (ხმელთაშუაზღვიური) კვიპაროსი ( <i>Cupressus sempervirens L.</i> );	125	2265.5	9496.2	6.3
აღმოსავლური ბიოტა ( <i>Platycladus orientalis (L.) Franco</i> );	79	406.5	1105.1	0.4
ჰიმალაიური კედარი ( <i>Cedrus deodara (Roxb.) G. Don</i> );	61	2327.2	10895.5	10.7
ჩვეულებრივი იფანი ( <i>Fraxinus excelsior L.</i> );	60	595.1	1749.2	1.1
ამერიკული იფანი ( <i>Fraxinus americana L.</i> );	41	475.4	1631.4	0.3
მსხვილფოთოლა ცაცხვი ( <i>Tilia platyphyllos Scop.</i> );	32	306.5	1028.3	0.4
იაპონური სოფორა ( <i>Styphnolobium japonicum (L.) Schott</i> );	30	844.5	2679.2	2.2
აღმოსავლეთის ჭადარი ( <i>Platanus orientalis L.</i> );	23	1462.4	8757.8	3.3
თეთრი თუთა ( <i>Morus alba L.</i> );	17	612.4	2768.4	1.2
თეთრი ხვალა ( <i>Populus alba L.</i> );	15	1478.1	6942.2	5.6
<b>მთლიანად ურბანული ტყე</b>	<b>1030</b>	<b>14625</b>	<b>55917.6</b>	<b>32.7</b>
<b>მთლიანად დომინანტური სახეობები.</b>	<b>483</b>	<b>10773.6</b>	<b>47053.3</b>	<b>31.5</b>
<b>დომინანტური სახეობების შედარებითი რაოდენობა (%)</b>	<b>46.9</b>	<b>73.7</b>	<b>84.1</b>	<b>96.3</b>

<sup>40</sup> განივკვეთის ფართობი - კორომის (ხევნარის) ხეთა ღეროების 1.3 მეტრ სიმაღლეზე განივკვეთის ფართობების ჯამი ფართობის ერთ ერთეულზე.

**ცხრილი 6.** „ეესპო ჯორჯიას“ პარკის დომინანტური ხეების სახეობები: მათი რაოდენობა, ვარჯის ფართობი, ფოთლოვანი საფარველის ფართობი და ხეების განივკვეთის ფართობი მეტი ან ტოლი 1%, 300 მ<sup>2</sup>, 1000 მ<sup>2</sup>, და 0.3 მ<sup>2</sup>.

სახეობები	ხეების რაოდენობა (N°)	ვარჯის ფართობი (მ <sup>2</sup> )	ფოთლოვანი საფარველი (მ <sup>2</sup> )	განივკვეთის ფართობი (მ <sup>2</sup> )
პირამიდული (ხმელთაშუაზღვიური) კვიპაროსი ( <i>Cupressus sempervirens</i> L.)	116	3311.3	17373.0	10.3
ჰიმალაიური კედარი ( <i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don)	58	3726.7	14477.1	20.9
ცხენისწაბლა ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	54	1090.5	5883.6	1.3
იაპონური კვიდო ( <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.)	47	909.3	3307.8	0.6
აღმოსავლეთის ჭადარი ( <i>Platanus orientalis</i> L.)	23	1142.3	6913.0	2.9
ვერცხლისფერი ნაძვი ( <i>Picea pungens</i> Engelm.)	13	297.0	1930.8	0.9
ამერიკული ივანი ( <i>Fraxinus americana</i> L.)	12	616.5	4454.9	1.3
თეთრი თუთა ( <i>Morus alba</i> L.)	11	399.9	1629.4	0.9
წვრილფოთოლა ცაცხვი ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	11	621.4	3401.2	1.6
ჩვეულებრივი ივანი ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	7	713.9	2983.2	3
<b>მთლიანად ურბანული ტყე</b>	<b>694</b>	<b>17866.4</b>	<b>79992.2</b>	<b>53.6</b>
<b>მთლიანად დომინანტური სახეობები</b>	<b>352</b>	<b>12828.8</b>	<b>62354</b>	<b>43.7</b>
<b>დომინანტური სახეობების შედარებითი რაოდენობა (%)</b>	<b>50.7</b>	<b>71.8</b>	<b>78.0</b>	<b>81.5</b>

“წითელ ბალში“ წარმოდგენილია ხეების 50 სხვადასხვა სახეობა. მათგან ყველაზე მრავალრიცხოვანია პირამიდული (ხმელთაშუაზღვიური) კვიპაროსი (*Cupressus sempervirens*), რომელიც მთელი წარმოდგენილი ხეების რაოდენობის 12.1%-ს შეადგენს. გავრცელებით „წითელ ბალში“ მეორე, ყველაზე ხშირად წარმოდგენილი სახეობაა



ბროწეული (*Punica granatum*) - ხეების პოპულაციის 7.9%, სიხშირით მესამე არიზონის კვიპაროსი (*Cupressus arizonica*) – ხეების 7.7% და აღმოსავლური ბიოტა (*Platyclusus orientalis*). ზოგადად, „წითელ ბაღში“ ხეების სიმჭიდროვე შეადგენს 312 ხეს/ჰა-ზე და ხეების დაფარული ფართობი მთელი პარკის 45.45% შეადგენს. ყველაზე გავრცელებული/დომინანტური სახეობებიდან, ვარჯის ფართობის, ფოთლოვანი საფარველის ფართობისა და განივკვეთის ფართობის მიხედვით, აღსანიშნავია ჰიმალაიური კედარი (*Cedrus deodara*), პირამიდული კვიპაროსი (*Cupressus sempervirens*), თეთრი ხვალაო (*Populus alba*), და აღმოსავლეთის ჭადარი (*Platanus orientalis*) (ცხრილი 5).

„ექსპო ჯორჯიას“ პარკში, ხეები წარმოდგენილია 62 სახეობით. „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში ყველაზე დომინანტური სახეობებია პირამიდული (ხმელთაშუაზღიური) კვიპაროსი (*C. sempervirens* - მთელი ხეების 16.7%), ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara* - მთელი ხეების რაოდენობის 8.4%), და ცხენისწაბლა (*Aesculus hippocastanum* - ხეების მთელი რაოდენობის 7.8%). „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში არსებული ხეების სიმჭიდროვე შეადგენს 217 ხეს/ჰა-ზე და ხეებით დაფარული ფართობი მთელი პარკის ტერიტორიის 56.25% შეადგენს. ყველაზე გავრცელებული/დომინანტური სახეობებიდან, ვარჯის ფართობის, ფოთლოვანი საფარველის ფართობისა და განივკვეთის ფართობის მიხედვით, აღსანიშნავია ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*), პირამიდული (ხმელთაშუაზღიური) კვიპაროსი (*C. sempervirens*), აღმოსავლეთის ჭადარი (*P. orientalis*) და ცხენისწაბლა (*A. hippocastanum*) (ცხრილი 6).

5.3. ხეების მიერ ნახშირბადის ატმოსფეროდან შთანთქმა (სეკვერსტრირება) და დაგროვება (შენახვა)

ხეები წარმოადგენენ ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>)-ის შთანთქმა-დაგროვების ბუნებრივ რეზერვუარებს. ხე-მცენარეები, ფოტოსინთეზის პროცესის მეშვეობით შთანთქავენ და აფიქსირებენ ნახშირბადს საკუთარ სხეულში, ბიომასის სახით. CO<sub>2</sub>-ის ჰაერიდან შთანთქმისა და ბიომასის სახით სხეულში დაგროვების გრძელვადიანი დინამიკა იცვლება დროის განმავლობაში, ხის ზრდის, კვდომისა და ლპობის შესაბამისად. გარდა

ამისა, *ნახშირორჟანგი-ხეების* ურთიერთქმედების დინამიკაზე შესაძლოა გავლენა მოახდინოს ადამიანის საქმიანობამ (გეგმიური ჭრები, ტყეების მართვა, ბიომასის ნარჩენების გატანა, სხვა). თუმცა ერთი რამ ნათელია, რომ ხეების რაოდენობის ზრდამ შესაძლოა შეაჩეროს ან შეანელოს დედამიწის ატმოსფეროში ნახშირბადის კონცენტრაციის ზრდის პროცესი (Nowak & Crane, 2002). ქალაქების მწვანე სივრცეებს შეუძლიათ მნიშვნელოვანი ლოკალური გავლენა მოახდინონ ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) კონცენტრაციაზე; ჰაერის შემადგენლობის სასოფლო-საქალაქო მონაცემების შედარებისას, აშკარა ხდება რომ მცენარეულის არსებობისას, ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) კონცენტრაცია ჰაერში დაბალია (Fares et al., 2017). აქვე აღსანიშნავია რომ ქალაქისა და სოფლის გარემოში არსებული განსხვავებების გარდა, ქალაქებში, ხელოვნური, არაგამჭოლი ზედაპირების დიდი ფართობები (მინა, ბეტონი, ასფალტი) და წიაღისეული წარმოშობის საწვავის მაღალი გამოყენება (სახლების გათბობა, კონდიციონერება) ხელს უწყობენ ქალაქების ჰაერის მეტ დაბინძურებასა და უფრო მაღალი ტემპერატურის ჩამოყალიბებას (Martínez-Bravo & Martínez-del-Río, 2020).

აღსანიშნავია რომ დედამიწის ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ზრდა წარმოადგენს ატმოსფეროში ნახშირბადის ციკლის ნაწილს და ეს ბუნებრივი პროცესია. აშშ-ს კოსმოსური კვლევების ადმინისტრაციის, NASA-ს სამეცნიერო განაყოფის, დედამიწის ობსერვატორიის (Earth Observatory)<sup>41</sup> და NOAA Climate.gov-ის (Lindsay, 2020) თანახმად, დღეს, დედამიწის ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის წილი შეადგენს დაახლ. 409.8 ნაწილს მილიონზე (ppm) და ეს კონცენტრაცია ყველაზე მაღალია რაც ოდესმე ყოფილა ბოლო 800,000 წლის განმავლობაში. ზედმეტი ნახშირბადი, რომელიც ატმოსფეროში გროვდება სადღაც უნდა წავიდეს; დღეს, დედამიწის მცენარეების და ოკეანეების წყალმცენარეები შთანთქავენ ზედმეტი (ადამიანების საქმიანობის შედეგად ატმოსფეროში გაშვებული, ემისირებული) ნახშირბადის დაახლ. 55%, ხოლო ნახშირბადის 45% კვლავ ატმოსფეროში რჩება.

<sup>41</sup> ნახშირბადის ციკლის ცვლილების ეფექტები (Effects of Changing the Carbon Cycle), NASA-ს დედამიწის ობსერვატორია (NASA Earth Observatory), ვებ-გვერდი: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle/page5.php>

ნახშირბადის ციკლში მიმდინარე ცვლილებები გავლენას ახდენს ყველა იმ რეზერვუარზე, რომელშიც ნახშირბადი შთაინთქმება (ოკეანეები, წყალმცენარეები, ხმელეთის ხე-მცენარეები). ზედმეტი ნახშირბადი ატმოსფეროში იწვევს დედამიწის გათბობას, რაც თავის მხრივ, ხელს უწყობს მცენარეულის ზრდას ხმელეთზე. ზედმეტი ნახშირბადი გავლენას ახდენს ოკეანეებზე და მის წყალს უფრო მჟავიანს ხდის, რაც საფრთხეს უქმნის ზღვის ორგანიზმებს. ზოგადად, ნახშირორჟანგის ფუნქცია ატმოსფეროში ძალიან მნიშვნელოვანია, რადგან იგი ერთ-ერთ მთავარ როლს თამაშობს დედამიწაზე, როგორც ტემპერატურის მაკონტროლებელი. ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის შემცირება ატმოსფეროში იწვევს დედამიწის გაგრილებას, ხოლო მისი კონცენტრაციის მატება იწვევს ტემპერატურის მატებას, წყლის მეტ აორთქლებას დედამიწის მასშტაბით და ტემპერატურისა და სითბური ეფექტის ზრდას.

ნახშირორჟანგის და სხვა „სათბურის“ გაზების მეთანის ( $\text{CH}_4$ ), ქლოროფთორ-ნახშირწყალბადების, აზოტის ოქსიდის ( $\text{N}_2\text{O}$ ) და ტროპოსფერული ოზონის ( $\text{O}_3$ ) კონცენტრაციის ზრდა ატმოსფეროში იწვევს „სათბურის“ ეფექტს დედამიწაზე, რადგან ისინი „იჭერენ“ თბური (ინფრაწითელი) რადიაციის გარკვეული სიგრძის ტალღებს ატმოსფეროში და შემდეგ, თანდათანობით უკან ასხივებენ მათ.

#### 5.4. სათბურის გაზების დაგროვება და მათი გავლენა გლობალურ დათბობაზე

დედამიწის ატმოსფეროში არსებულ თითოეულ სათბურის გაზს (GHG)<sup>42</sup>, ტემპერატურის ზრდისა და „დათბობის“ განსხვავებული პოტენციალი აქვს (დათბობის გლობალური პოტენციალი - global warming potential, GWP) და ისინი ატმოსფეროში დროის განსხვავებული პერიოდით რჩებიან. ქვემოთ გთავაზობთ სამი უმთავრესი სათბურის გაზის დათბობის ეფექტსა და მათ 20-წლიან დამათბობელ პოტენციალს, შედარებულს ნახშირორჟანგთან (იხ. ცხრილი 7):

<sup>42</sup> ემისიები (ნახშირორჟანგის ექვივალენტები), (Emissions, CO<sub>2</sub> equivalents); ვებ-გვერდი: Climate Change Connection, URL : <https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/>.

სათბურის გაზი	ფორმულა	დათბობის 100-წლიანი პოტენციალი (დათბობის პოტენციალი ნახშირორჟანგთან შედარებით, წელი)
ნახშირორჟანგი	CO <sub>2</sub>	1
მეთანი	CH <sub>4</sub>	25
აზოტის დიოქსიდი	N <sub>2</sub> O	298

**ცხრილი 7.** ძირითადი სათბურის გაზების გავლენა დედამიწის გლობალურ დათბობაზე.

1 x ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) ნებისმიერი რაოდენობა, რომელიც ემისირებულ იქნება ატმოსფეროში, იქ დარჩება 300-დან 1,000 წლამდე პერიოდით. მთელი ამ დროის განმავლობაში, ეს გაზი ხელს შეუწყობს სითბოს შენარჩუნებას და დედამიწის გათბობას.

84 x – მეთანის(CH<sub>4</sub>) –1 კგ-ის ატმოსფეროში ემისირება თავისი ეფექტით, ატმოსფეროში 84 კგ ნახშირორჟანგის გაშვების ტოლია. თუმცა აღსანიშნავია ისიც რომ მეთანი, ატმოსფეროში სათბური გაზის სახით დაახლოებით ათი წელი რჩება და იშლება, თუმცა იგი ნახშირორჟანგზე 25-ჯერ სითბოტევადია და მისი ეფექტი ატმოსფეროს დათბობაზე ოცდახუთჯერ მეტია.

298 x – 1 კგ აზოტის დიოქსიდის (N<sub>2</sub>O) ატმოსფეროში გაშვება, 298 კგ ნახშირორჟანგის ემისირების ტოლფასია(!) აზოტის დიოქსიდი ატმოსფეროში დაახლ. 100 წლის განმავლობაში რჩება და მისი სათბურის ეფექტი გლობალურ დათბობაზე, ნახშირორჟანგის ექვივალენტზე 300-ჯერ მეტია!<sup>43</sup>

გლობალური დათბობის უტყუარი ნიშნები კარგად ჩანს დედამიწის არქტიკულ და ანტარქტიკულ ნაწილებში. მაგალითად, ცენტრალურ არქტიკაში, არქტიკული ოკეანის ყინულის სისქე, 1987-1997 წლებში, სავარაუდოდ 1 მ-ით შემცირდა (Lemke et al., 2007), ხოლო სატელიტური დაკვირვების შედეგები (თანამგზავრებიდან არქტიკულ ყინულზე დაკვირვება 70-იან წლების ბოლოს დაიწყო) გვიჩვენებენ რომ არქტიკული ოკეანის ფართობი, მიუხედავად ფართობის ბუნებრივი სეზონური ცვლილებებისა, შემცირებულია ყველა თვეში და სავარაუდოდ, ყველა რეგიონში (Lindsey & Scott, 2020). შესაბამისად, შეცვლილია არქტიკული რეგიონის თერმული ბალანსი: ოკეანის არქტიკული ყინულის თეთრი ან ღია ნაცრისფერი ზედაპირი, მზის სხივების თითქმის 80% ირეკლავს და იცილებს დამატებით სითბურ ენერგიას პლანეტის ზედაპირიდან. შემცირებული ყინულოვანი საფარის გამო, დღეს, ყინულისგან თავისუფალი

<sup>43</sup> სათბურის გაზების მიმოხილვა (Overview of Greenhouse Gases), U.S. Environmental Protection Agency, web-source at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

არქტიკული ოკეანის მუქი ზედაპირი, ზაფხულის თვეებში შთანთქავს მზის ენერგიას და მეტად ათბობს ატმოსფეროს, რაც თავის მხრივ მეტი ყინულის ლღობას და დედამიწის მეტად გათბობას იწვევს (Lindsey & Scott, 2020).

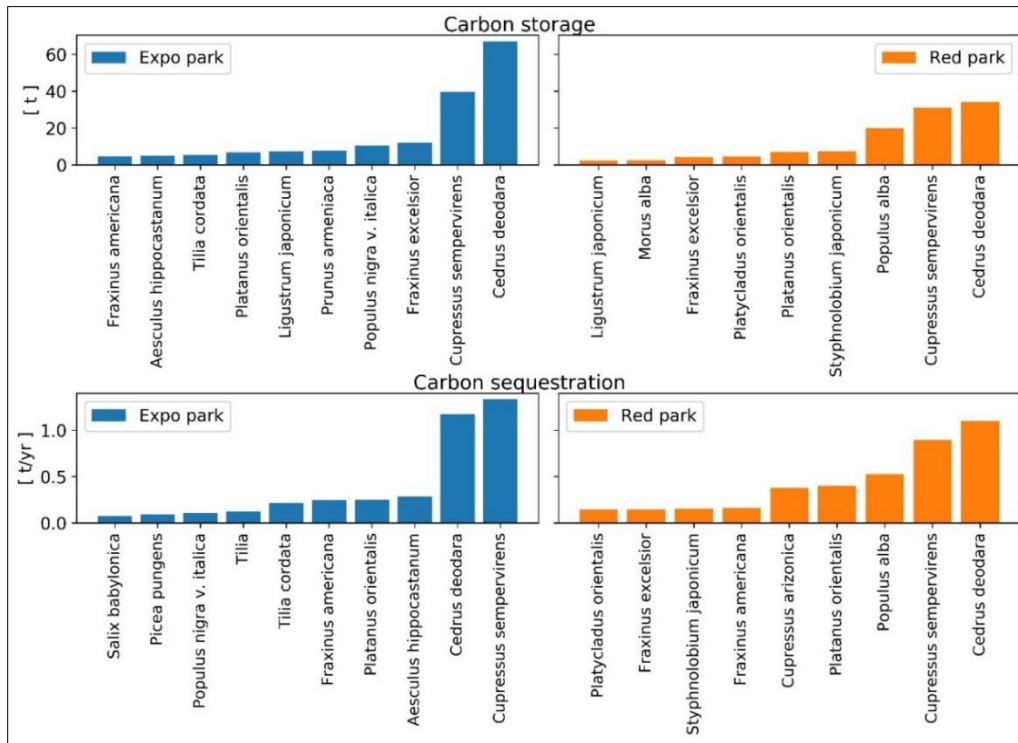
ნახშირორჟანგი, გლობალური მასშტაბის ერთ-ერთი მთავარი „სითბური“ გაზია და მისი კონცენტრაციის ზრდა, ძირითადად, შიგაწვის ძრავებში, საწარმოებში და სახლებისთვის, წიაღისეული წარმოშობის (ნავთობი, ბუნებრივი გაზი, ქვანახშირი) საწვავის გამოყენებით წარმოშობილი ემისიებით, სოფლის მეურნეობისთვის მიწის ფართობების ზრდითა და ტყეების ინტენსიური ჩეხვით არის გამოწვეული (Pendrill et al., 2019). ქალაქების წილი გლობალური „სითბური“ გაზების ემისიაში 80%-ს აღწევს (Hoorweg et al., 2011), ხოლო სითბური გაზების ემისიების მთავარ წყაროდ ტრანსპორტი, შემდეგ კი საოჯახო მეურნეობების და წარმოებისგან წარმოშობილი ემისიები არის დასახელებული (Fares et al., 2017).

ნახშირბადის (C) ჰაერიდან სეკვესტრაცია (შთანთქმა) წარმოადგენს ატმოსფეროდან ნახშირბადის შთანთქმისა და ხე-მცენარეულის სხეულში დაგროვების პროცესს. ნახშირბადის სეკვესტრაციის წლიური რაოდენობის გამოსათვლელად საჭიროა შესაბამისი ხის სახეობის, ხის ღეროს დიამეტრის კლასის და ხის ზოგადი მდგომარეობის მიხედვით დიამეტრის წლიური ზრდის განსაზღვრა და მისი დამატება ხის ღეროს არსებულ დიამეტრზე (*წელიწადი  $x$* ). *წელიწადი  $x+1$*  -თვის ნახშირბადის საპროექტო გათვლებით მიღებული რაოდენობას აკლდება *წელიწადი  $x$*  -ის მონაცემები და მიიღება ნახშირბადის ჰაერიდან სეკვესტრაციის მონაცემი (Nowak et al., 2018). სხვა ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ხეების მერ ატმოსფეროდან ნახშირბადის შთანთქმაზე (სეკვესტრირებაზე) შემდეგია: 1) ხეების რაოდენობა და მათი სივრცული განლაგება; 2) ხეების ასაკი და ჯანმრთელობის მდგომარეობა; 3) ხეების კვდომის მაჩვენებელი; 4) ხეების ურთიერთქმედება ნიადაგთან და ნიადაგის საფარის მდგომარეობა; 5) ხეების ჭრა და მათი გამოყენება სამშენებლო მასალად (Fares et al., 2017).

#### 5.5. ნახშირბადის შთანთქმა და დაგროვება „წითელ ბაღში“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში

„წითელის ბაღისა“ და „ექსპო ჯორჯიას პარკის“ ხეები, თავიანთ ვარჯში, ღეროში და ფესვებში (ხის ბიომასა) ინახავენ (აგროვებენ) **126.5** და **198.4 ტონა** ნახშირბადს, შესაბამისად. ორივე ურბანული პარკის ტყეში, ხეების ღეროში/სხეულში ყველაზე მეტ ნახშირბადს ინახავენ ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*, 27%), პირამიდული (ხმელთაშუაზღვის) კვიპაროსი (*C. sempervirens*, 24.6%), და თეთრი ხვალო (*P. alba*, 15.8%) - ამ სახეობებზე მოდის „წითელი ბაღის“ ხეების მიერ დაგროვილი ნახშირბადის ყველაზე დიდი წილი. „ექსპო ჯორჯიას პარკში“, მთლიანად ხეების ღეროში/სხეულში დაგროვილი ნახშირბადის ნახევარზე მეტი მოდის ორ სახეობაზე: ჰიმალაიურ კედარზე (*C. deodara*, დაგროვილი ნახშირბადის მთლიანი რაოდენობის 33.8%) და პირამიდალურ (ხმელთაშუაზღვიურ) კვიპაროსზე (*C. sempervirens*, მთელი დაგროვილი ნახშირბადის 20%) (ნახატი 8).

ურბანული ტყეების მიერ, წელიწადის განმავლობაში, ატმოსფერული ჰაერიდან ნახშირბადის შთანთქმული (სეკვესტრირებული) რაოდენობა „წითელი ბაღში“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში, შესაბამისად შეადგენდა 4.6 და 4.7 ტონას (ნახატი 8). აღსანიშნავია რომ ხეების ის სახეობები, რომლებიც ორივე პარკში ატმოსფერული ჰაერიდან ნახშირბადის ყველაზე დიდი მოცულობით გამოირჩეოდნენ: ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*), პირამიდული (ხმელთაშუაზღვის) კვიპაროსი/*C. sempervirens*, და თეთრი ხვალო/*Populus alba* - ჯამურად შენახული ნახშირბადის 67.4% „წითელი ბაღში“; და ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*) და პირამიდალურ (ხმელთაშუაზღვიურ) კვიპაროსი (*C. sempervirens*) - ჯამურად შენახული ნახშირბადის 53.8% „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში. ეს ხეების ის სახეობებია, რომლებიც ყველაზე მეტ ნახშირბადს (მთელი რაოდენობის ნახევარზე მეტს, ჯამურად) შთანთქავენ ატმოსფეროდან (იხ. ნახატი 8).



**ნახატი 8.** ხეების სახეობები რომლებიც აგროვებენ (Carbon storage) და შთანთქავენ ატმოსფეროდან (სეკვესტრაცია - Carbon sequestration) ყველაზე მეტ ნახშირბადს „წითელ ბაღსა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში.

დაცულ ტერიტორიებზე წარმოდგენილი ჯანსაღი ეკოსისტემების განხილვისას, საინტერესოდ გვეჩვენება ქალაქური (ურბანული) და ბუნებრივი ეკოსისტემების შედარება. მაგალითად, ბორჯომის სახელმწიფო ნაკრძალის ფიჭვის ტყეებს (6,983 ჰა), შეუძლიათ 767,250 ტონა ნახშირბადის აკუმულირება (დაახლოებით 110 ტონა/ჰა-ზე). ნახშირორჟანგის წლიური შთანთქმა ამ ტყეებში შეადგენს 7.3 ტ/ჰა, ანუ მთლიანობაში 50,976 ტონას (საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების შესახებ, 2021). თუ ამ მონაცემებს თბილისის გამოკვლეული ურბანული პარკების მონაცემებს შევადარებთ, აღმოჩნდება რომ ბუნებრივ ცენოზებში, ნახშირბადის აკუმულირება უფრო ინტენსიურია და ისინი (მაგ. ბორჯომის სახელმწიფო ნაკრძალი) მეტი ნახშირბადის აკუმულირებასა და სეკვესტრირებას ახდენენ ატმოსფეროდან (იხ. ცხრილი 9), ვიდრე ქალაქების პარკების ხე-მცენარეები.

**ცხრილი 8.** ურბანული ეკოსისტემების სერვისები: ჰაერიდან ნახშირბადის სეკვესტრაციის, მისი დაგროვებისა და ჰაერიდან მავნე ნივთიერებების (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, და SO<sub>2</sub> -ის) შთანთქმის მონაცემების შედარება მსოფლიოს სხვადასხვა ქალაქში.

ქალაქი	გამოკვლევადი ხეების მთლიანი რაობა, ერთეული	ფოთლ. საფარველის მთლიანი ფართობი (მ <sup>2</sup> )	ნახშირბადის დაგროვება, ტ/წ	ნახშირბადის დაგროვება, ტ/ზე	ნახშირბადის შთანთქმის (სეკვესტრაცია), კგ/წ	ნახშირბადის შთანთქმის (სეკვესტრაცია), კგ/ზე	ჰაერის დამაბინძურებელი ნივთიერებების (CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , და SO <sub>2</sub> ) ჯამური შთანთქმის კგ/ზე
ქ. თბილისი	1,724 (თბილისის ორი პარკი)	135,909	324.9	0.188	9,300	5.39	0.121
ქ. კიოტო, იაპონია (Tan et al., 2021)	1.203 (ურბანული ხის ხეივანები)	130,458	244.8	0.203	15,365	12.77	0.148
ქ. სეგედი, უნგრეთი (Kiss et al. 2105)	2,846 (ქალაქის ცენტრი)	489,162	1,169	0.410	38,222	13.43	0.3
ქ. ლონდონი, ჰაიდ-პარკი, დ. ბრიტანეთი (Rogers et al., 2018)	3,174	2,577,100	3,900	1.23	88,000	27.72	0.853
ქ. ნიუ-იორკი, აშშ (Nowak et al., 2018)	6, 977,000 (მთლიანად ქალაქი)	n/a	1,200,000	0.172	51,000,000	7.31	0.157

**ცხრილი 9.** ნახშირბადის აკუმულირება და სეკვესტრირება ბუნებრივ და ურბანულ (ხელოვნურ) პარკებში (ბორჯომის სახელმწიფო ნაკრძალი, „ექსპო ჯორჯიას პარკი“ და „წითელი ბაღი“)

პარკი	მთლიანი ფართობი, ჰა	ნახშირბადის აკუმულირება, ტ/წელიწადში	ნახშირბადის აკუმულირება, ტ/ჰა/წელიწადში	ნახშირბადის სეკვესტრირება, ტ/წელიწადში	ნახშირბადის სეკვესტრირება, ტ/ჰა/წელიწადში
ბორჯომის სახელმწიფო ნაკრძალი	6,983	767,250	109.87	50,976	9.29
„ექსპო პარკი“, თბილისი	3.2	198.4	62.0	4.7	1.47
„წითელი ბაღი“, თბილისი	3.3	126.5	38.33	4.6	1.39



## 5.6. ჰაერიდან დამაბინძურებლების შთანთქმა

ჰაერის დაბინძურება სხვადასხვა დამაბინძურებელი გაზებითა და მიკროსკოპიული ზომის მყარი ნაწილაკებით ( $PM_{10}$  და  $PM_{2.5}$ : ჰაერში არსებული მტვრის მყარი ნაწილაკები, რომელთა ზომა/დiameterი 10 და 2.5 მიკრონი ან ნაკლებია) ერთ-ერთ ყველაზე მწვავე გარემოსდაცვით გამოწვევას წარმოადგენს და უარყოფით გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე (Kochladze, M. 2018). საქართველოსა და ევროკავშირის შორის ხელმოწერილი ასოცირების ხელშეკრულებით, რომელიც ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებისა და ჰაერის დაბინძურებიდან მომდინარე ჯანმრთელობის რისკების შემცირების ერთ-ერთი მთავარი ინსტრუმენტია, საქართველოს ევალება 2023 წლისთვის, მისი კანონმდებლობა დაუახლოვოს ევროკავშირის მიერ მიღებულ ექვს მთავარ დირექტივას, რომლებიც ეხება ჰაერის დაბინძურებას (ასოცირების შესახებ შეთანხმება, 2014). 2017-2020 წლების საქართველო-ევროკავშირის ასოცირების დღის წესრიგის თანახმად, ასოცირების ხელშეკრულება საქართველოს ავალდებულებს „გააძლიეროს ევროკავშირის გარემოსდაცვითი კანონმდებლობის შესაბამისად გარემოსდაცვითი მმართველობა და მოახდინოს გარემოს დაცვის საკითხების ინტეგრირება პოლიტიკის სხვა სფეროებში.“ (ასოცირების შესახებ შეთანხმება, 2014)

2018 წელს, „წითელი პარკისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკების ხეებმა ატმოსფეროდან შთანთქმეს შესაბამისად **90.3** და **119.6 კგ** სხვადასხვა დამაბინძურებელი ნივთიერება. თუ ამ მონაცემს შევადარებთ სხვა ქვეყნების მონაცემებს, ვნახვით რომ თბილისის პარკების ხე-მცენარეული, ჰაერის დამაბინძურებლებს ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM_{2.5}$ , და  $SO_2$ ) სხვა ქალაქების მსგავსი “ეფექტურობით” შთანთქმავს: თბილისის ორი პარკი - 0.121 კგ/ხე/წელიწადში; ქ. კიოტოს ქუჩების ხეები - 0.148 კგ/ხე/წ; ქ. სეგედის ქუჩების ხეები - 0.300 კგ/ხე/წ; ქ. ნიუ-იორკის ხე-მცენარეულის ჯამური მაჩვენებელი - 0.157 კგ/ხე/წ (იხ. ცხრილი 8)

დამაბინძურებელი, რომელიც ამ ორი პარკის ხეებმა ატმოსფერული ჰაერიდან შთანთქმეს ყველაზე დიდი რაოდენობით, გახლდათ **ოზონი** ( $O_3$ ). წელიწადში „წითელი ბაღის“ ხეების მიერ შთანთქმული ოზონის რაოდენობა იყო **48.9 კგ**, ხოლო „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეებმა წელიწადში **63.8 კგ** ოზონი შთანთქმეს ჰაერიდან. ამ დამაბინძურებელი გაზის მაქსიმალური რაოდენობა ხეებმა შთანთქმეს ივნისში („წითელი პარკი“ - 7.7 კგ და „ექსპო პარკი“ - 10 კგ).

ოზონის მოლეკულა ( $O_3$ ), ჰაერის დამაბინძურებელი ნივთიერებაა და იგი სახიფათოა ოზონის სტრატოსფერული სარტყლის გარეთ (ე.წ. „მიწისზედა ოზონი“). ტროპოსფერული ან მიწისზედა ოზონის ფორმირება არაპირდაპირი გზით ხდება და იგი აზოტოვანი ოქსიდებისა ( $NO_x$ ) და აქროლადი ორგანული ნაერთებს ( $VOC$  - *volatile*

*organic compounds*) შორის მიმდინარე ქიმიური რეაქციით ხდება. ამ რეაქციისთვის ხელსაყრელი პირობები ყალიბდება როდესაც ჰაერის დამაბინძურებელ ნაერთებს აფრქვევენ ავტომობილები, ქიმიური საწარმოები და თბოელექტროსადგურები, მზის შუქის ფონზე. როგორც წესი, მიწისზედა ოზონი, მაღალ, ჯანმრთელობისთვის დამაზიანებელ კონცენტრაციებს აღწევს მზიან დღეებში. ოზონი ქარსაც გადააქვს და შესაძლებელია მისი მაღალი კონცენტრაცია ქალაქების გარდა, გარეუბნებში და სასოფლო რაიონებშიც ჩამოყალიბდეს. ოზონის ფორმირების ფორმულა ზოგადად ასე გამოიყურება:

$$NO_x + VOC + \text{სიციხე და მზის სინათლე} = O_3 \text{ (მიწისზედა ოზონის ფენა)}$$

მიწისზედა ოზონი უარყოფითად მოქმედებს ასთმის მქონე ადამიანებზე, ბავშვებზე, გარეთ მომუშავე ან მოვარჯიშე ადამიანებზე, იმათზე ვისაც C და E ვიტამინის დეფიციტი აქვთ. ოზონს მაღალი კონცენტრაციამ შეიძლება გამოიწვიოს ხველება, მშრალი ყელი, სუნთქვის გაძნელება, ტკივილი, ღრმად ჩასუნთქვისას, ზოგადად ფილტვების და მისი ალვეოლების დაზიანება, გაართულოს არსებული ფილტვების დაავადებები, ხშირი გახადოს ასთმური შეტევები.

შესაბამისად, მწვანე ინფრასტრუქტურის დაგეგმვისას (განსაკუთრებით თბილისური ცხელი ზაფხულის გათვალისწინებით) გასათვალისწინებელი ის, რომ შეირჩეს ხეების ის სახეობები, რომლებიც ნაკლებ აქროლად ორგანული ნაერთებს (VOC) გამოყოფენ. აქროლადი ბიოლოგიური ნაერთები (იზოპრენი და მონოტერპენი)<sup>44, 45</sup> უშუალოდ უწყობენ ხელს მიწისზედა ოზონის ფორმირებას. შესაბამისად, მწვანე სივრცეების და ურბანული ტყეების გაშენებისას უპრიანი იქნება VOC-ს დაბალემისიური სახეობების შერჩევა ტრანსპორტით გადატვირთულ ან სამრეწველო რაიონებში, სადაც ჰაერი აზოტის ოქსიდების დიდი რაოდენობებით ბინძურდება. ხეების VOC-დაბალემისიური სახეობებია ნეკერჩხლის (*Acer*), იფანის (*Fraxinus*) და ცაცხვის (*Tilia*) გვარებში (ლათ. Genus) შემავალი მცენარეები. ამ სახეობების ხეები შთანთქავენ მიწისზედა ოზონის დიდ რაოდენობას და ამცირებენ მათ ფორმირებასა და კონცენტრაციას ქალაქების ჰაერში (Sicard et al., 2018).

<sup>44</sup> იზოპრენი (Isoprene) - სხვაგვარად, 2-მეთილ-1,3-ბუტადიენი- უჯერი ორგანული ნივთიერება, ნაერთი ფორმულით  $CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$ . ამ ნაერთს ქმნიან/გამოყოფენ მცენარეებიცა და ცხოველებიც (მათ შორის ადამიანი). იზოპრენის მაღალი კონცენტრაციები ატმოსფეროში ხელს უწყობს მიწისზედა ოზონის ფორმირებას. ხეები მათ იყენებენ მრავალი სასიცოცხლო ფუნქციისთვის (პოლინატორების მოზიდვა, სტრესთან გამკლავება, მავნებლების მოგერიება, სხვა).

<sup>45</sup> მონოტერპენი (Monoterpene)- ბუნებრივი ორგანული ნაერთი, რომელსაც აწარმოებენ მცენარეები, (განსაკუთრებით, წიწვოვნები). მონოტერპენი, ტერპენების კლასში შემავალია ნაერთია ფორმულით:  $C_{10}H_{16}$ .

**აზოტის ორჟანგის (NO<sub>2</sub>)** შთანთქმა ატმოსფერული ჰაერიდან თითქმის თანაბარია მთელი წლის განმავლობაში, საშუალოდ **2.1±0.4 კგ** (ჯამურად **24.6 კგ**) „წითელი პარკისათვის“ და **2.8±0.5 კგ** (ჯამში **33.1 კგ**) „ექსპო ჯორჯიას“ პარკისათვის. აზოტის ორჟანგი წარმოადგენს ერთ-ერთს, იმ აზოტოვანი ოქსიდების (NO<sub>x</sub>) ჯგუფიდან, რომლებიც ყოველთვის არიან ჰაერში. ყველა ეს გაზი მაღალი რეაქტიულობით გამოირჩევა. სხვა აზოტოვანი ოქსიდებიდან, რომლებიც ჩვეულებრივ ხშირად გვხვდებიან ურბანულ ჰაერში, აღსანიშნავია NO (აზოტოვანი ოქსიდი) და NO<sub>2</sub>, რომლებიც წყლის მოლეკულებთან რეაქციით აზოტმჟავას (HNO<sub>3</sub>) წარმოქმნიან. აზოტის ორჟანგი ჰაერში ძირითადად საწვავის წვის შედეგად ხვდება. იგი წარმოიქმნება ავტომობილების, სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკისა და თბოელექტროსადგურებიდან გამოფრქვეული ემისიური აირებიდან. NO<sub>2</sub>, სხვა აზოტოვან ნაერთებთან და ოქსიდებთან ერთად (NO<sub>x</sub>) რეაქციაში შედიან ჰაერში არსებულ სხვა ნივთიერებებთან (VOC), ოზონთან და მყარ ნაწილაკებთან რაც ასევე იწვევს რესპირატორული სისტემის დაზიანებას, ასთმასა და ფილტვების დაავადებების გაუარესებას.

NO<sub>2</sub> -ისა და სხვა NO<sub>x</sub> ოქსიდები აქტიურად ურთიერთქმედებენ წყალთან, ჟანგბადთან და ჰაერში გაფანტულ სხვა ნივთიერებებთან, რომლის დროსაც წარმოიშობა ე.წ. „მჟავური წვიმები“. ისინი დიდად აზიანებენ ტბებისა და ტყეების ეკოსისტემებს. აზოტოვანი მიკროსკოპული ნაწილაკების მაღალი კონცენტრაციები ატმოსფერულ ჰაერში აუარსებენ მხედველობას და ქმნიან სმოგს.

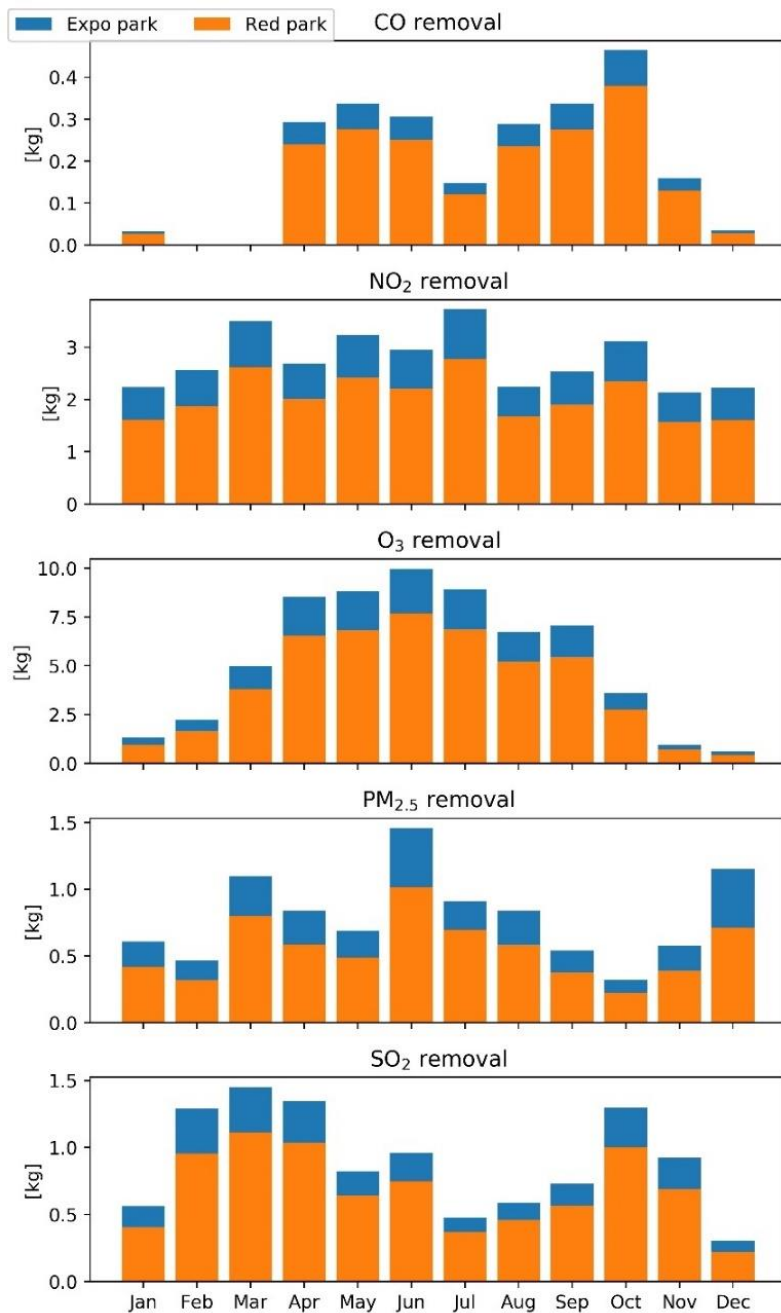
წელიწადის განმავლობაში, „წითელი ბაღის“ ხეებმა ჯამურად ჰაერიდან შთანთქმეს **6.6 კგ** მყარი ნაწილაკი (PM<sub>2.5</sub>); მყარი ნაწილაკების შთანთქმის მაჩვენებელი უფრო მაღალი იყო „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში - **9.5 კგ/წ.** განსხვავება აიხსნება ამ ორი პარკებში არსებული ხეების ასაკითა და ზომით („ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების ზომით აღემატება „წითელი ბაღის“ ხე-მცენარეებს). გარდა ამისა აღსანიშნავია ისიც რომ მცენარის მიერ მყარი ნაწილაკების და მტვრის შთანთქმა-დეპონირების რაოდენობა (ფოთლების ზედაპირზე) დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: ვარჯის ტიპი, ფოთლებისა და ტოტების სიმჭიდროვე, ფოთლების ზედაპირი და მისი მიკრომორფოლოგია (ზედაპირის ხასიათი, სიუხეშე, ტრიქომების რაოდენობა და ფისოვნობა (Chen et al. 2017). ჩენის და კოლეგების კვლევის თანახმად, ატმოსფერული PM<sub>2.5</sub> -ის შთანთქმის მაჩვენებლები ხე-მცენარეების ფოთლების საშუალებით, განსხვავებულია ხეების სახეობებისა და სეზონების მიხედვით. ამ კვლევის თანახმად, ზოგადად, წიწვოვანი სახეობები შთანთქმავდნენ PM<sub>2.5</sub> -ის ყველაზე მეტ რაოდენობას. კერძოდ, ყველაზე ეფექტური წიწვოვანი სახეობები გახლდათ: აღმოსავლური ბიოტა (*Platycladus orientalis*), ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*), ჩინური თეთრი ფიჭვი (*Pinus armandii*) და მანჯურიული წითელი ფიჭვი (*Pinus tabuliformis*), რომლებიც საშუალოდ

30-35  $\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$  (მიკროგრამი კვ. სმ-ზე) მტვრის ნაწილაკებს შთანთქვენ; ფართოფოთლოვანი სახეობებიდან ყველაზე ეფექტურად მყარ ნაწილაკებს შთანთქავდნენ განსაკუთრებული (ჩრდილოეთის) კატალპა (*Catalpa speciosa*), თელა ციმბირული (*Ulmus pumila*), „სამღებანა“ ნუში (*Amygdalus triloba*) და ქაღალდის თუთა (*Broussonetia papyrifera*), ყველა ამ სახეობის ხეს ფოთლის ხშირი თმით დაფარული ფოთლის ზედაპირები აქვთ. ამის საწინააღმდეგოდ, ყველაზე ნაკლებ მყარ ნაწილაკებს შთანთქავდნენ შემდეგი ფართოფოთლოვანი სახეობები: ცაცხვი ტუანი (*Tilia tuan*), ციმბირული გარგარი (*Armeniaca sibirica*) და მაკის ცხრატყავა (*Lonicera maackii*), რომელთა ფოთლები გლუვია (Chen et al. 2017). ეს მონაცემები გასათვალისწინებელია და მათი გამოყენება შესაძლებელია ახალი მწვანე სივრცეების გეგმარებისთვის, ჰაერის მაღალი დაბინძურების მქონე რაიონებში (Barwise & Kumar, 2020).

თბილისში, ჰაერში არსებული მტვრის მყარი შეწონილი ნაწილაკების (ზომა < 2.5 მკ ან ნაკლები, აღნიშვნა: PM<sub>2.5</sub>) შთანთქმის დინამიკა განსხვავებული იყო თვეების მიხედვით და შთანთქმის მაქსიმალური რაოდენობები აღინიშნა ივნისის, მარტისა და დეკემბერის თვეებში: 1, 0.8 და 0.7 კგ „წითელ პარკში“ და 1.5, 1.1 და 1.2 კგ - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში (იხ. ნახატი 9).

საკვლევი პარკების ხეებმა წლის განმავლობაში ჰაერიდან შთანთქმეს 8.2 კგ („წითელი პარკი“) და 10.8 კგ („ექსპო ჯორჯია“ პარკი) გოგირდის ორჟანგი (SO<sub>2</sub>). ამ ნივთიერების ჰაერიდან შთანთქმის მაქსიმალური რაოდენობები აღინიშნა თებერვლის, მარტის, აპრილისა და ოქტომბრის თვეებში. (იხ. ნახატი 9).

ერთ-ერთი ყველაზე ტოქსიკური მინარევის, ნახშირბადის მონოოქსიდის (CO) შთანთქმა ყველაზე ინტენსიური გახლდათ ხეების „ფოთლოვანების“ პერიოდში (აპრილი-ოქტომბერი) და ჯამურად შეადგინა 2 კგ („წითელი პარკისთვის“) და 2.4 კგ („ექსპო ჯორჯიას“ პარკისთვის), ჰაერიდან ნახშირბადის მონოოქსიდის შთანთქმის მაქსიმალური რაოდენობებით ოქტომბერში (იხ. ნახატი 9).



ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO) უფერო, უსუნო გაზია, რომელიც ძალიან სახიფათოა, მისი დიდი ოდენობით შესუნთქვისას. ნახშირბადის მონოოქსიდი წარმოიქმნება ნებისმიერი წვის პროცესის დროს. მისი ძირითადი წყარო გახლავთ ავტომობილები. ზოგადად კი ნავთობის, ქვანახშირის თუ ბუნებრივი გაზის წვის პროცესი.

**ნახატი 9.** ჰაერიდან მავნე ნივთიერებების (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, და SO<sub>2</sub>) შთანთქმა, თვეების მიხედვით, „წითელი პარკისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების მიერ, 2018.

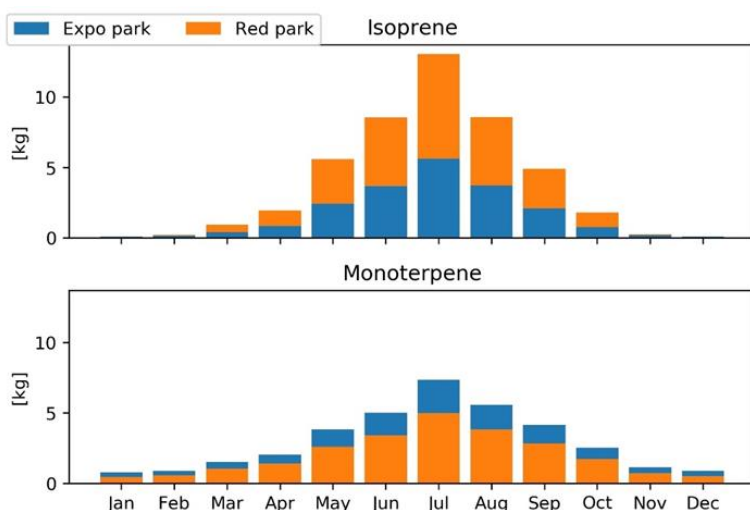
2018 წელს, თბილისის ორი ურბანული პარკის ხეებმა გამოყვეს და ატმოსფეროში გაუშვეს სხვადასხვა რაოდენობის აქროლადი

**ორგანული ნაერთები:** ჯამში 69.9 კგ (45.9 კგ იზოპრენი და 24 კგ მონოტერპენი) „წითელი პარკის“ ხეების მიერ და 55.7 კგ (20 კგ იზოპრენი და 35.7 კგ მონოტერპენი) - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის მიერ (**ნახატი 10**).

დედამიწის მასშტაბით, იზოპრენისა და მონოტერპენის წლიური ემისიები საშუალოდ 250-540 ტერატონას (1 ტერატონა = 1 მილიონ ტონას) და 128-450 ტერატონას შეადგენს, შესაბამისად (Dominguez-Taylor et al., 2007). მაგალითისთვის, ქ. ნიუ-იორკის ტყეებმა 2018 წელს, დაახლ. 717 ტ აქროლადი ნივთიერებები გამოჰყვეს (566 ტ -

იზოპრენი და 151 ტ მონოტერპენები) (Nowak, 2018). ხეების სახეობებიდან, რომლებიც „წითელ ბაღსა“ და „ექსპო ჯორჯიაში“ ყველაზე მეტ აქროლად ნაერთებს გამოყოფენ აღსანიშნავია: ვერცხლისფერი ნაძვი (*Picea pungens*) -14.5 გ/მ<sup>2</sup>/წ (გ m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>), იაპონური კვიდო (*Ligustrum japonicum*) - 12.9 გ/მ<sup>2</sup>/წ (გ m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>) და იაპონური სოფორა (*Styphnolobium japonicum*) - 5.9 გ/მ<sup>2</sup>/წ (გ m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>); აქროლადი ბიოლოგიური ნაერთების საკმაოდ მაღალემისიური სახეობებია ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*) და მარადმწვანე (ხმელთაშუაზღვის) კვიპაროსი (*C. sempervirens*), რომლებიც შესაბამისად, წელიწადის განმავლობაში 4.0 გ/მ<sup>2</sup> და 4.1 გ/მ<sup>2</sup> ბიოლოგიურ ნაერთებს გამოყოფენ.

**ნახატი 10.** თბილისში „წითელი პარკისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების მიერ, 2018 წელს ატმოსფეროში გაშვებული აქროლადი ორგანული ნივთიერებები, იზოპრენი და მონოტერპენი.



## 5.7. ურბანული პარკების ხეების ჰიდროლოგიური ეფექტები

ხეებს, სხვადასხვა ბუნებრივი მექანიზმებით, შეუძლიათ შეამცირონ ნალექების შედეგად წარმოქმნილი ნიაღვრული ნაკადების მოცულობა და შეარბილონ ურბანიზაციის უარყოფითი ჰიდროლოგიური ეფექტები (Kuehler et al., 2017), გამოწვეული ქალაქებში არაგამჭოლი ზედაპირების ფართობების ზრდითა და მცენარეულობით დაფარული ფართობების შემცირებით. ნალექიანი დღეების დროს, ხეების ფოთლები ფანტავენ მოსულ წვეთებს, აყოვნებენ ნიაღვრების ფორმირებას, ახდენენ წყლის შეწოვა-ინფილტრაციას და აორთქლებენ (ფოთლების ზედაპირიდან)

ნიადაგიდან შეწოვილ ნიაღვრულ წყალს. ხეების მიერ ნიაღვრული წყლების შეთვისება-აორთქლებისა და ნაკადის გაფანტვის შედეგები ჯამურია და იძლევა ე.წ. კუმულატიურ ეფექტს და ამცირებენ ურბანული ნიაღვრული წყლის მოცულობას (Coville et al., 2020). გარდა წყლის მოცულობისა, ხეების მიერ გაწეული ეკოლოგიური სერვისები აუმჯობესებენ წყლის ხარისხს, ამცირებენ მასში დამაბინძურებლების კონცენტრაციას (Berland et al., 2017). აღსანიშნავია რომ ხეების მიერ ნიაღვრული წყლის შეწოვისა და ტრანსპირაციის მოცულობები დამოკიდებულია ხის ზომასა და ფიზიოლოგიურ თავისებურებებზე, ისევე როგორც კლიმატურ პირობებზე (Rahman et al., 2019a).

გარდა წყლის შეწოვა-აორთქლებისა (ევაპოტრანსპირაცია), ხეები ამცირებენ გარემოს ტემპერატურას. ტემპერატურის შემცირება ორგვარად ხდება: ერთის მხრივ, ტემპერატურა მცირდება მზის რადიაციის მიერ ზედაპირების გახურების პრევენციით ფოთლოვანი ვარჯის მიერ (დაჩრდილვა) და მეორე მხრივ, ხეების მიერ წყლის ტრანსპირაციით (აორთქლებით) - მცენარე წყალს ძირითადად ფოთლებიდან აორთქლებს. წყლის ორთქლი, მეზოფილის (ფოთლის ქსოვილის ერთ-ერთი ფენა, რომელიც სენდვიჩდება ფოთლის ეპიდერმისის ორ ფენას შორის და რომელიც შეიცავს ქლოროფილს და მწვანე პიგმენტს, რომელიც შთანთქავს ენერგიას მზისგან, ფოტოსინთეზისთვის) უჯრედებიდან ატმოსფეროში გამოიყოფა ბაგეების (სტომატა) გზით (ბაგური ტრანსპირაცია) (Pace et al., 2021). ფოთლის ზედაპირზე მდებარე ბაგეები (სტომატა) შესაძლოა იყოს ფოთლის ორივე მხარეს. სტომატა წარმოადგენენ პორებს (ლიობებს) მცენარეების ფოთლის (ან წიწვების) ეპიდერმისზე და მათი ფუნქცია გახლავთ ფოტოსინთეზისათვის (ფოტოსინთეზი - პროცესი, რომლის დროსაც მცენარე მზის სინათლის, წყლისა და ნახშირორჟანგის გამოყენებით ქმნის საკვებ ნივთიერებას, გლუკოზას და ატმოსფეროში ჟანგბადს გამოიყოფს) ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) შთანთქმა (შეშვება), ფოთლების ზედაპირიდან ზედმეტი წყლის აორთქლება (ტრანსპირაცია) და ჟანგბადის გაცემა (გამოშვება) ღამით. ფოთლის ბაგეები (სტომატა), გახსნა-დახურვით აკონტროლებენ წყლის ბალანს მცენარეებში და არეგულირებენ ფოტოსინთეზს, რომლის დროსაც ხდება ატმოსფეროდან ნახშირორჟანგის შთანთქმა და ჟანგბადის გამოყოფა. ჩვეულებრივ, სტომატის დინამიკა დამოკიდებულია კლიმატურ პირობებზე.

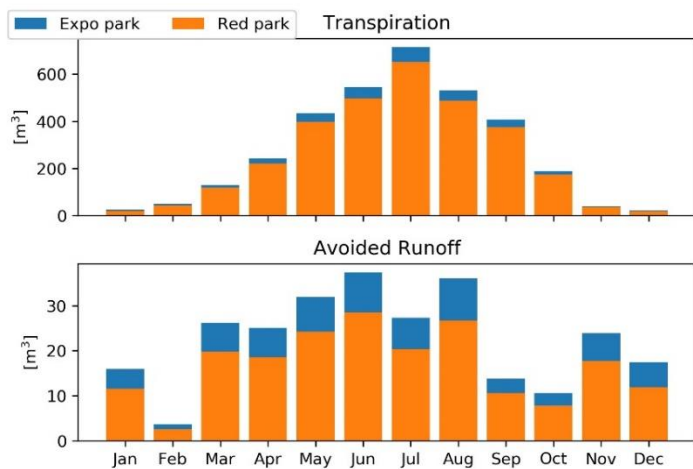
ისინი იღებინან, როდესაც ფოთოლს სინათლის სხივი ხვდება და იხურებიან ღამით. ამავე დროს, გასათვალისწინებელია ის რომ ტრანსპირაციის ეფექტი დამოკიდებულია ხის ზომაზე (Rahman et al., 2019b), ფიზიოლოგიასა და კლიმატურ პირობებზე.

არასაკმარისი წყლის რაოდენობა ნიადაგში იწვევს ფოთლის ბაგეების (სტომატას) დახურვას, ამცირებს წყლის შესრუტვას, შესაბამისად, ხდება ტრანს-პირაციული ეფექტის შემცირება. ფოთლის ზედაპირზე არსებული ბაგეები (სტომატა) ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ელემენტია მცენარეებსა და ატმოსფეროს შორის ნახშირორჟანგისა ( $\text{CO}_2$ ) და წყლის ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ურთიერთქმედებაში (Buckley, 2019; Viallet-Chabrand et al., 2017).

„წითელი ბალისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკებში არსებულმა ხეებმა 2018 წელს ააორთქლეს (ტრანსპირაცია) 3,039.6 და 3,334.2 მ<sup>3</sup> წყალი (იხ. ნახატი 11); ააორთქლების ყველაზე დიდი მაჩვენებლებით ივლისში (651.8 მ<sup>3</sup> „წითელ ბალში“ და 715.6 მ<sup>3</sup> – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში). წლის განმავლობაში თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების მოცულობა შესაბამისად იყო 200. 5 მ<sup>3</sup> „წითელ ბალში“ (0.195 მ<sup>3</sup>/ხე/წ) და 269.5 მ<sup>3</sup> (0.388 მ<sup>3</sup>/ხე/წ) (იხ. ნახ. 11) – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკისათვის (შედარებისთვის: ქ. ნიუ-იორკში, 6,977,000 ურბანული ხისათვის, ეს მონაცემი შეადგენდა 1,953,862.4148 მ<sup>3</sup>, რაც ხის ერთეულზე დაახლ. 0.280 მ<sup>3</sup>/ხე/წ) (Nowak et al., 2018).



**ნახატი 11.** „წითელი ბაღის“ და „ექსპო ჯორჯიის“ პარკის ხეების მიერ აორთქლებული და თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლის მოცულობები თვეების მიხედვით, თბილისი, 2018 წელი.



წვიმის შედეგად წარმოშობილი ნიაღვრული ნაკადები სერიოზულ ფაქტორს წარმოადგენს ქალაქის მეურნეობისათვის: ნალექების მოსვლისას, მათი ნაწილი შთაინთქმება ნიადაგისა და ქალაქში არსებული მცენარეულის მიერ (Kosiba, 2015); ნალექების ის ნაწილი, რომელიც

ნიადაგისა და მცენარეების მიერ არ შეიწოვება, გარდაიქმნება მიწისზედა ნიაღვრულ ნაკადად, რომელიც მიედინება ქალაქის არაგამჭოლ ხედაპირებზე (ქუჩების ასფალტი და ქვაფენილი, პარკინგის მოედნები, სახურავები, სხვა) და ტვირთად აწვება ქალაქის სანიაღვრე სისტემებს.

გარდა წყლის დიდი მოცულობისა, რომელიც ქალაქებში წარმოიქმნება ნიაღვრული ნაკადების სახით, ურბანული ნიაღვრული მოვლენების უარყოფითი გავლენას ამჟღავნებს ურბანული ნიაღვრული წყლის დაბინძურების ხარისხიც. ურბანული ნიაღვრული ნაკადები დაბინძურებულია ზეთებით, საპოხი მასალებითა და ავტომობილების გამაგრებელი სითხეების ნაზავით, სხვადასხვა სასუქებით, შინაური ცხოველების ექსკრემენტებით და ქალაქების პრობლემურ საკანალიზაციო ქსელებში არსებული ბაქტერიებით, სამშენებლო მოედნებზე არსებული მტვრისა და ნიადაგის ნარევებით, ნარჩენებისგან წარმოშობილი დაბინძურებული სითხეებითა და სხვა დამაბინძურებლებით, რომლებიც გვხვდება ზოგადად ქალაქების მყარ, არაგამჭოლ ზედაპირებზე თუ ნიადაგებში<sup>46</sup>. ურბანულ სივრცეში, არაგამჭოლი ზედაპირების დიდი

<sup>46</sup> ნიაღვრული წყლები და ქუჩის ხეები: ურბანული ტყეების პროექტირება ნიაღვრული წყლების მართვისათვის, სახელმძღვანელო, აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტო (Stormwater to Street Trees: Engineering Urban Forests for Stormwater Management, the Guide, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, Nonpoint Source Control Branch (4503T), 1200 Pennsylvania Ave., NW, Washington, DC 20460, September 2013), ვებ-გვერდი: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/stormwater2streettrees.pdf> .

ფართობი წარმოადგენს ნიაღვრული ნაკადების დიდი მოცულობის ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს, რომელიც მძიმე ტვირთად აწვება ქალაქების სანიაღვრე და სხვა ჰიდროლოგიურ სისტემებს<sup>47</sup>.

სანიაღვრე ტექნიკური ინფრასტრუქტურის განვითარების ხარისხის მიუხედავად, სანიაღვრე ინფრასტრუქტურის შესაძლებლობები შეზღუდულია და მათი ოპტიმალურ ფუნქციონირებაზე დიდ გავლენას ახდენენ სეზონური და შტორმული, ან სხვა ექსტრემალური ატმოსფერული მოვლენები, როდესაც ნალექების რაოდენობა და მიწისზედა ნიაღვრული ნაკადების ინტენსივობა ბევრად აღემატება სანიაღვრე და სხვა ჰიდროლოგიური სისტემების მოცულობასა და გამტარუნარიანობას (Berland et al., 2017).

ზოგადად, ზედაპირული ნიაღვრული წყლების თავიდან აცილებული რაოდენობა იანგარიშება გათვლებით, რომლებიც ემყარება მცენარეულის მიერ შთანთქმული წყლის რაოდენობას - კერძოდ, განსხვავებას ზედაპირული წყლების რაოდენობაში მოცემულ ფართობზე, მცენარეულის არსებობის და მისი არარსებობის შემთხვევაში. მიუხედავად იმისა რომ ხის ტოტებსა და ღეროს (ზროს) ასევე შეუძლიათ წყლის გარკვეული რაოდენობის შთანთქმა/გაფანტვა და ნიაღვრული წყლების ზემოქმედების შერბილება, თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების გათვლები (i-Tree Eco v6-ის გამოყენებული მეთოდოლოგიით) მხოლოდ ფოთლისმიერ შთანთქმადაბრკოლებას (ინტერცეფციას) ითვალისწინებენ.

აშშ-ს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს ტყეების ფედერალური სააგენტოს გამოთვლებით, თავიდან აცილებული ერთი (1) ლიტრი ნიაღვრული ნაკადის ღირებულება, რომელიც სტატისტიკაში გამოიყენება, შეადგენს \$ 0.0089 აშშ დოლარს გალონზე (1 გალონი = 3.78541 ლიტრს) (Hirabayashi, 2013); სხვა მონაცემებით, ქ. კიოტოს (იაპონია) ქუჩების ხეების ეკოსისტემების სერვისების შეფასებისას, თავიდან აცილებული ნიაღვრული ნაკადის ერთი ლიტრის ღირებულება დაახლოებით \$ 3.26 აშშ დოლარად არის შეფასებული (Tan et al., 2021), ხოლო იმავე გამოკვლევაში, ქ. კიოტოს

<sup>47</sup> გრანდ-რაპიდსი, ეკოსისტემების ანალიზი, i-Tree-ს ტექ. ანგარიში (2016) (Grand Rapids, report: i-Tree Ecosystem Analysis, Urban Forest Effects and Values (2016), წყარო: [https://www.itreetools.org/documents/37/GR\\_Report.pdf](https://www.itreetools.org/documents/37/GR_Report.pdf)

ქუჩის თითოეული ხის მიერ, წელიწადის განმავლობაში თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლის მოცულობა, დაახლოებით 1.38 მ<sup>3</sup>-ია (Tan et al., 2021). ჩვენი კვლევის შემთხვევაში, თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლის საშუალო მოცულობა, ერთ ხეზე (ორივე ბალის ხეების რაოდენობის მიხედვით) შეადგენდა 0.273 მ<sup>3</sup> (აქ ყურადსაღებია 2018 წელს ნალექების რაოდენობების წლიური რაოდენობების განსხვავებაც, თბილისში - 397 მმ/წ, და ქ. კოტოში - 1,770 მმ/წ)<sup>48</sup>.

თბილისში, ზედაპირული ნიაღვრული წყლების და ნაკადების (ძირითადად, მთის ფერდობებიდან ჩამომდინარე მცირე ხეობებისა და მდინარეების წყალი, რომელთა მაქსიმუმი გაზაფხულის წვიმების პერიოდში მოდის) შემკრები და დრენაჟის სისტემა პირველად თბილისში 1835 წელს დამონტაჟდა, რუსეთის იმპერიის პერიოდში. ეს გახლდათ კოლექტორები, რომლებითაც წყალი (ბუნებრივი ნაკადები, ტექნიკური, სანიტარიული წერტილები) იკრიბებოდა და მდინარე მტკვარში ჩადიოდა. დღეს, თბილისის სადრენაჟო ინფრასტრუქტურა, ძირითადად, 150-დან 1200 მმ დიამეტრის კოლექტორებით არის წარმოდგენილი, და შედგება აგურის, ბეტონის, თუჯისგან, ასბესტცემენტის და სხვადასხვა პოლიმერული მილებისგან.

ბევრგან, თბილისის სადრენაჟო სისტემა ძალიან მოძველებულია და საჭიროებს დიდ ინვესტიციებს რემონტისა და რეაბილიტაციისათვის. სადრენაჟო და საკანალიზაციო სისტემის მთლიანი სიგრძე დაახლოებით 43 კმ-ს შეადგენს (ქალაქ თბილისის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის საპროექტო მომსახურება, 2017) . ხოლო GWP-ს მონაცემებით, თბილისში, მთელი ქალაქის წყალარინების ქსელის სიგრძე 1,600 კმ-ს აღწევს<sup>49</sup>. ქ. თბილისის განაშენიანებული ნაწილის სწრაფმა გაფართოებამ და მიწის ნაკვეთების დიდი ნაწილის მყარი, არაგამჭოლი ზედაპირებით (ასფალტით, ბეტონით, ქვანაპირით, სხვა) დაფარვამ მკვეთრად შეამცირა ზედაპირული წყლების (უმეტესად წვიმის წყლის) ფილტრაცია ნაიდაგში.

<sup>48</sup> ნალექების მთლიანი რაოდენობა თვეების მიხედვით (მმ), ქ. კოტო (2018), იაპონიის მეგეოროლოგიის სააგენტო - (Monthly total of precipitation (mm), 2018, Kyoto WOM Station ID:47759, Japan Meteorological Agency, Web-source: [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly\\_s3\\_en.php?block\\_no=47759&view=13](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s3_en.php?block_no=47759&view=13) .

<sup>49</sup> წყალარინება, „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუნერი“ (GWP), ვებ-გვერდი: <https://www.gwp.ge/ka/wyalarineba>

თბილისის სანიაღვრე-სადრენაჟო ქსელის მდგომარეობიდან, სიგრძიდან და მასშტაბიდან გამომდინარე, ნათელია თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ზედაპირული ნიაღვრული წყლების მოცულობისა და ზეწოლის შემცირება და ბუნებრივი ინფრასტრუქტურისა და გამჭოლი ზედაპირების ფართობის ზრდა თბილისში. ეს პირდაპირ ეფექტს იქონიებს: შეამცირებს ზედაპირული წყლების მოცულობის მზარდი რაოდენობის ზეწოლას არსებულ, ძირითადად სარემონტო და მოძველებულ ნიაღვრულ-სადრენაჟო ინფრასტრუქტურაზე და შეამცირებს ქალაქის ხარჯებს, ახალი სანიაღვრე ინფრასტრუქტურისათვის.

## თავი 6. სადისკუსიო საკითხები

### 6.1. ურბანული ტყის სტრუქტურა და ეკოსისტემების სერვისებით უზრუნველყოფა

ჩვენი კვლევის მოდელით (*i-Tree Eco-ს მოდელი*) მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს რომ „წითელი ბაღი“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკები ქალაქ თბილისს მნიშვნელოვანი გარემოსდაცვითი სერვისებით უზრუნველყოფენ. ორივე პარკი მდებარეობენ ქალაქის მჭიდრო განაშენიანების მქონე ზონაში და დაახლოებით ერთი ზომისანი არიან (3.3. ჰა - „წითელი ბაღი“ და 3.2 ჰა - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკი), თუმცა მათ ფართობზე ხეების სხვადასხვა რაოდენობაა: 1,030 „წითელ ბაღში“ და 694 – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში. „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების სახეობათა შემადგენლობა უფრო მრავალფეროვანია (62 სახეობა), „წითელ ბაღში“, 52 სახეობის ხეს ვხვდებით. ორივე პარკში არსებული ხეების თითქმის ნახევარი ( $\approx 47\%$ ) მარადმწვანეა, რომელთა შორის დომინანტური სახეობებია პირამიდული (ხმელთაშუაზღვის) კვიპაროსი (*C. sempervirens*) და ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*).

მიუხედავად ხეების განსხვავებული სიმჭიდროვისა ფართობის ერთეულზე (312 ხე/ჰა „წითელ ბაღში“ და 217 ხე/ჰა - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში), ხეებით დაფარული ფართობი „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში უფრო მეტია (1.8 ჰა), ვიდრე „წითელ ბაღში“ (1.5 ჰა). ამის მიზეზი ის გახლავთ რომ „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში უფრო დიდი ზომის ხეებს ვხვდებით (როგორც ეს ნაჩვენებია მე-5 და მე-6 ცხრილებში), ხეების განიკვეთის

ფართობის (32.7 მ<sup>2</sup> „წითელ ბაღში“ და 53.6 მ<sup>2</sup> – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში) მიხედვით, რაც შემდგომ აისახება ურბანული პარკების ხეების მიერ დაგროვილი ნახშირბადის მთლიან რაოდენობაში (126.5 ტ „წითელ ბაღში“, და 198.4 ტ - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში) (Nowak & Crane, 2002).

ყურადსაღებია, რომ „წითელი ბაღის“ ხეების მიერ წელიწადის განმავლობაში ატმოსფეროდან შთანთქმული (სეკვერსტრირებული) ნახშირორჟანგის რაოდენობა (4.7 ტ) ოდნავ აჭარბებს „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის რაოდენობას (4.6 ტ), თუმცა ამის მიზეზი გახლავთ „წითელ ბაღში“ ისეთი ხეების რაოდენობის სიჭარბე, რომელთაც უკეთესი პირობები აქვთ მზის სხივების მისაღებად (ვარჯის განათების მაჩვენებელი - *Crown light exposure* (CLE) 4-5 -მდე) და ზრდის უკეთესი პირობები (Nowak et al., 2008). „წითელი ბაღის“ ხეები: CLE 0-1: 125 ერთეული, CLE 2-3: 535 ერთეული, CLE 4-5: 370 ერთეული; „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეები: CLE 0-1: 98 ერთეული, CLE 2-3: 338 ერთეული და CLE 4-5: 258 ერთეული.

მიუხედავად ხეების მაღალი სიმჭიდროვისა (ფართობს ერთეულზე), ხეების მცირე ზომა<sup>50</sup> („წითელ ბაღში“) ამცირებს მზის შუქისათვის კონკურენციას, რაც ხელს უწყობს ხეების დიამეტრის ზრდას და შესაბამისად, ნახშირორჟანგის შთანთქმის მაჩვენებელს. ფოთლოვანი ვარჯის განათების მაჩვენებლის (CLE) გავლენა ეკოსისტემების სერვისებზე ნაჩვენებია გერმანიაში, i-Tree Eco-ს მეთოდით ადრე ჩატარებულ კვლევაში (Pace et al., 2018) და მოდელის მონაცემების მგრძნობიარობის ანალიზის მიხედვით ჩატარებულ კვლევაში (Lin et al., 2020).

ორივე პარკის ტყეებში, ხეების სახეობები უფრო დიდი განივკვეთის ფართობით, ჰაერიდან შთანთქავენ და ღეროში/ტოტებში აგროვებენ მეტ ნახშირბადს. განსაკუთრებით აღსანიშნავია სამი სახეობა „წითელ ბაღში“ - ჰიმალაიური კედარი (*C. deodara*), პირამიდული (ხმელთაშუაზღვიური) კვიპაროსი (*C. sempervirens*) და თეთრი ხვალო (*P. alba*) და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში, ორი სახეობა, ჰიმალაიური კედარი (*Cedrus*

<sup>50</sup> „წითელ ბაღში“, 2018 წელს მთლიანად მოჭრეს კავკასიური ფიჭვის და სხვა რანდენიმი სახეობის გამხმარი კორომები. მათ ნაცვლად პარკში დაირგო არიზონული კვიპაროსი, ევროპული მუხა, ჩვეულებრივი იფანი, ამერიკული ნეკერჩხალი, მინდვრის ნეკერჩხალი, იტალიური ფიჭვი, უნგრული ცაცხვი, ამბრის ხე, არიზონის კვიპაროსი, არღავანი, გრძელფოთოლა იფანი, კატალპა, მსხვილფოთოლა ნეკერჩხალი (ლეკა), იაპონური სოფორა, ოქროსფერი ნეკერჩხალი, პავლოვანია და სხვა სახეობის ნერგები (ლ.ა.)

*deodara*), პირამიდული (ხმელთაშუაზღვიური) კვიპაროსი (*C. sempervirens*), რომლებიც ყველაზე მეტი ნახშირბადის შთანთქმას ახდენენ ჰაერიდან.

ზოგიერთი ხის სახეობა, მაგალითად, არიზონული კვიპაროსი (*Cupressus arizonica*) და ამერიკული იფანი (*Fraxinus americana*) „წითელ ბაღში“ და ცხენისწაბლა (*Aesculus hippocastanum*) – „ექსპო ჯორჯიაში“, მიუხედავად ღეროს შედარებით მცირე დიამეტრისა, შთანთქავენ უნფრო მეტ ნახშირბადს, რადგან ხეების ამ სახეობებს აქვთ მზის შუქით განათების უკეთესი პირობები და ჯანმრთელობის უკეთესი მდგომარეობა (Nowak et al., 2009; Lin et al., 2020).

ჰაერის დამაბინძურებლების შთანთქმის მონაცემები 6.1 გრამია კვ. მ-ზე „წითელ ბაღში“ და 6.7 გ/მ<sup>2</sup> – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში. ჰაერიდან დამაბინძურებლების შთანთქმული ნივთიერებებიდან ყველაზე დიდი ოდენობა მიწისზედა ოზონზე (O<sub>3</sub>) მოდის: 3.3 გ/მ<sup>2</sup>, „წითელი ბაღი“ და 3.6 გ/მ<sup>2</sup> – „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში).

თუ ამ მონაცემებს (სხვადასხვა დამაბინძურებლების შთანთქმა ატმოსფერული ჰაერიდან) სხვა სამოდელიო გამოკვლევებს შევადარებთ, დამაბინძურებლების შთანთქმის მაჩვენებელი თბილისის პარკებში უფრო მაღალია ვიდრე მიუნხენში (Nowak & Crane, 2002), ან სტრასბურგში (5.1 გ/მ<sup>2</sup>) (Selmi et al., 2016), მაგრამ თბილისის მაჩვენებლები ნაკლებია ლონდონის (8.7 გ/მ<sup>2</sup>) (Rogers et al., 2015) და აშშ-ს ქალაქების საშუალო მაჩვენებელზე (7.5 გ/მ<sup>2</sup>) (Nowak et al., 2006).

რაც შეეხება ხეების მიერ ბიოლოგიურად აქტიური აქროლადი ნივთიერებების (VOC), იზოპრენისა და მონოტერპენის გამოყოფას (ემისიას), საინტერესოა ის ფაქტი რომ მიუხედავად საკვლევი პარკების ხეების სახეობების თითქმის მსგავსი შედგენილობისა, ბიოლოგიურად აქტიური აქროლადი ნივთიერების, იზოპრენის გამოყოფა ბევრად მეტია „წითელ ბაღში“ (45.9 კგ), ვიდრე „ექსპო ჯორჯიაში“ (20 კგ), რაც „წითელ ბაღში“ თეთრი ხვალოს (*P. alba*) პოპულაციის სიმრავლით და ამ ხის სახეობის მიერ იზოპრენის მაღალი ემისიით აიხსნება (Fitzky et al., 2019).

„წითელი ბაღისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეები, გამაგრებულ ეფექტს წარმოქმნიან ორივე პარკში, წლის თბილ თვეებში (1.7 ლ/მ<sup>2</sup>/დღე, ივლისში) ფოთლის ზედაპირიდან წყლის ტრანსპირაციის საშუალებით. მსგავსი მონაცემები მიღებულ და მოდელირებულ იქნა ტ. რიოტცერისა და კოლეგების (Rötzer et al., 2019) კვლევაში და დაანგარიშებულ იქნა რაჰმანისა და კოლეგების (Rahman et al., 2017) სტატიაში, რომელშიც ასახულია ფართოფლოვანი ხეების სახეობების მიერ ენერჯის გამოყენების შემცირების ეფექტი, გაგრძელებისა და დაჩრდილვის მეშვეობით, ხის ცოცხალი ვარჯის ქვეშ (75 კვტ/მ<sup>2</sup>, და ჰაერის ტემპერატურის 3° C-ით შემცირება) (Rahman et al., 2017).

დამატებით აღსანიშნავია ისიც რომ ამ მწვანე ინფრასტრუქტურის არსებობა ქალაქში საშუალებას იძლევა ნიაღვრული წყალი ნიადაგში ჩაიჭონოს (ინფილტრაცია) და ამით შემცირდეს ზედაპირზე ნიაღვრული წყლის მოცულობა (Berland et al., 2017) - თბილისი საკვლევი ურბანული პარკების შემთხვევაში, ნიადაგში ჩაჭონილი ნიაღვრული წყლის მოცულობები გახლდათ 35.9 მ<sup>3</sup>/ჰექტარზე „წითელი ბალისათვის“ და 33.7 მ<sup>3</sup>/ჰექტარზე - „ექსპო ჯორჯიას“ პარკისათვის, 2018 წლის მონაცემებით. ეს მონაცემები საკმაოდ მაღალია, თბილისში 2018 წლის განმავლობაში მოსული ატმოსფერული ნალექების შედარებით მცირე რაოდენობის (397.6 მმ) გათვალისწინებით და ეფექტურობის კუთხით ედრება ქ. ლონდონის პარკების ნიადაგებისა და ხეების ფესვთა სისტემის მიერ შთანთქმული (ჩაჭონილი) ნიაღვრული წყლის მოცულობას (32.6 მ<sup>3</sup>/ჰექტარზე) (Rogers et al., 2015).

მიუხედავად იმისა რომ ხეები ითვლებიან ჰაერის შედარებით ეკონომიურ და ეკოლოგიურად ეფექტურ ბიოლოგიურ ფილტრებად (მაგალითად, ატმოსფერული ჰაერიდან მყარი ნაწილაკების შთანთქმა-შეკავების უნარით), ჰაერში შეწონილი მყარი მიკრონაწილაკების დაჭერისა და შეკავების ეფექტის ძირითადი მექანიზმის თავისებურებები, ბოლომდე ახსნილი ჯერ კიდევ არ არის (Kwak et al., 2019) შესაბამისად, კვლავ ღია რჩება ისეთი საკითხების კვლევა რომლებიც შეეხება ინდივიდუალური ფოთლის/წიწვის მიერ მყარი ნაწილაკების შთანთქმის/შეკავების ეფექტურობას. ეს ითვალისწინებს ფოთლების მიკროსტრუქტურის და შთანთქმა-შეკავების უნარების შესწავლა-შესფასებას, ურბანული ტყეებისთვის ყველაზე ეფექტური ხეების სახეობების შერჩევას ქალაქებში ხეების გაშენებისა და „მწვანე“ დაგეგმარების პროექტების განხორციელებისას.

გენერალური გეგმით გათვალისწინებული ღონისძიებების ფარგლებში თბილისის საკრებულომ 2018 წლის დასაწყისში დაამტკიცა „ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის ლანდშაფტისა და კლიმატისათვის შესაბამისი ხე-მცენარეების სახეობების სია“<sup>51</sup> . როგორც „ხე-მცენარეების სიის“ განკარგულებაშია აღნიშნული, თბილისის მერიის გარემოსა და მწვანე სივრცეების დეპარტამენტი, შემოთავაზებულ სიას

<sup>51</sup> ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის ლანდშაფტისა და კლიმატისათვის შესაბამისი ხე-მცენარეების სახეობების სია, თბილისის მუნიციპალიტეტის მთავრობის განკარგულება #05.14.147, 08.02.2018, ინტერნეტ-წყარო: <https://tbilisi.gov.ge/img/original/2018/3/20/05.14.147-Kheebis-Sia.pdf>



სახელმძღვანელოდ გამოიყენებს. აღნიშნული სია მოიცავს ხე-მცენარეების „პრიორიტეტულ“ და „რეკომენდირებულ“ სახეობებს. (იხ. ცხრილი 10). აღმოჩნდა რომ შემოთავაზებული ხეების სახეობები „წითელი ზადისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკებში არსებულ გაბატონებულ (დომინანტურ) სახეობებსაც მოიცავს.

თუ შემოთავაზებული ხეების სახეობებს ეკოსისტემების სერვისების კუთხით განვიხილავთ, უნდა აღინიშნოს რომ ჰაერიდან ნახშირბადის შთანთქმის ეფექტურობით გამოირჩევიან ჰიმალიური კედარი (*C. deodara*), მარადმწვანე (ხმელთაშუაზღვიური, პირამიდული) კვიპაროსი (*C. sempervirens*) და ამერიკული იფანი (*F. americana*). (იხ. ცხრილი 10). კვლევის შედეგად გაირკვა რომ ნიაღვრული ნაკადების წყლების მოცულობის შემცირებისთვის ყველაზე ეფექტურია ამერიკული იფანი (*F. americana*), ვერცხლისფერი ნაძვი (*P. pungens*) და წვრილფოთოლა (გულისებრი) ცაცხვი (*T. cordata*). (იხ. ცხრილი 10).

ჰაერიდან ყველაზე მეტ დამაბინძურებლებს შთანთქავენ ამერიკული იფანი (*F. americana*), ვერცხლისფერი ნაძვი (*P. pungens*) და წვრილფოთოლა (გულისებრი) ცაცხვი (*T. cordata*) (იხ. ცხრილი 10)

ზოგადად, თბილისის ხეების მარადმწვანე სახეობები, მიუხედავად მათი გრძელი ვეგეტატიური პერიოდისა, ეკოსისტემების სერვისების მიწოდებით დიდად არ განსხვავდებიან ფართოფოთლოვანი სახეობებისგან. მაგალითად, უხვი ნალექების პირობებში გაზაფხულზე და ზაფხულში, როდესაც ინტენსიურად მიდინარეობს ჰაერიდან მყარი ნაწილაკების შთანთქმა (Nowak et al., 2013; Pace et al., 2021) და ხის ფოთლოვანი საფარველის მიერ წვიმის წყლის გაბნევა (Morani et al., 2014; Pace et al. 2021), შესაბამისად მცირდება ნიაღვრული წყლების მოცულობა (Pace & Grote, 2020). გარდა ამისა, წვიმის დროს იზრდება ნიადაგში წყლის მოცულობა რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს მაღალ სტომატურ გამტარიანობას, რაც იწვევს უფრო ძლიერ გამაგრებულ ეფექტს და გაზების უფრო ძლიერ (ინტენსიურ) შთანთქმას (Morani et al. 2014).

ურბანული ტყისათვის ხეების სახეობების სწორად შერჩევის კიდევ ერთი კრიტერიუმია, აქროლადი ბიოლოგიური ნივთიერებების დაბალი ემისიის (ინგ. *Volatile*



*Organic Compounds - VOC's*) მქონე სახეობების არჩევა (Churkina et al., 2015) - აქროლადი ბიოლოგიური ნაერთების დაბალი ემისიის სახეობებია ნეკერჩხლის (*Acer*), იფანის (*Fraxinus*) და ცაცხვის (*Tilia*) გვარებში შემავალი მცენარეები. ამ სახეობების ხეები შთანთქავენ მიწისზედა ოზონის დიდ რაოდენობას და ამცირებენ მათ ფორმირებასა და კონცენტრაციას ქალაქების ჰაერში (Calfapietra et al., 2013).

**ცხრილი 10.** ხეების დომინანტური სახეობების ეკოსისტემების სერვისების შედეგები ხის სახეობების მიხედვით „წითელ ბაღს“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკში. [\*\*- „ექსპო ჯორჯია“ პარკი, \* - „წითელი ბაღი“; R=რეკომენდირებული, P=პრიორიტეტული]

ხეების დომინანტური სახეობები <sup>52</sup> პარკებში	თბილისის საკრებულოს შეთავაზება	ნახშირბადის შთანთქმა, (g m-2 yr-1)	თავიდან აცილებული ნიაღვრული ნაკადი, (l m-2 yr-1)	დამაბინძურებლების შთანთქმა, (g m-2 yr-1)	VOC-ის მთლიანი ემისია (g m-2 yr-1)
<i>Aesculus hippocastanum</i> **	R	259.1	18.2	8.1	0.3
<i>Cedrus deodara</i> *	P	473.4	16.8	7.6	4
<i>Cupressus sempervirens</i> **	R	403.1	17.7	7.8	4.1
<i>Fraxinus americana</i> **		397.9	24.3	10.8	0
<i>Fraxinus excelsior</i> **	P	242.8	10.5	4.7	0
<i>Ligustrum japonicum</i> **	P	10	12.3	5.4	12.9
<i>Morus alba</i> *		212.1	16.2	7.3	1.8
<i>Picea pungens</i> **	R	314.8	21.9	9.7	14.5
<i>Platanus orientalis</i> **	P	219.4	20.4	7.6	4.5
<i>Platyclusus orientalis</i> *		352.8	9.7	4.4	1.7
<i>Styphnolobium japonicum</i> *	P	181.9	11.4	5.1	5.9
<i>Tilia cordata</i> **		349.4	18.4	8.2	0
<i>Tilia platyphyllos</i> *	P	248	12	5.4	0

<sup>52</sup> *Aesculus hippocastanum*- ცხენისწაბლა; *Cedrus deodara* – ჰიმალაიური კედარი; *Cupressus sempervirens* - მარადმწვანე (ხმელთაშუაზღვის) კვიპაროსი; *Fraxinus americana* - ამერიკული იფანი; *Fraxinus excelsior* - ჩვეულებრივი იფანი; *Ligustrum japonicum* - იაპონური კვიდო; *Morus alba* - თეთრი თუთა; *Picea pungens* - ვერცხლისფერი ნაპვი; *Platanus orientalis* - აღმოსავლეთის ჭადარი; *Platyclusus orientalis* - აღმოსავლური ბიოტა; *Styphnolobium japonicum* - იაპონური სოფორა; *Tilia cordata* - წვრილფოთოლა (გულისებრი) ცაცხვი; *Tilia platyphyllos* - მსხვილფოთოლა ცაცხვი.

## 6.2. თბილისის ურბანული ტყეების მნიშვნელობა და როლი

ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის, ურბანული ტყეებისა და ეკოსისტემების სერვისების საკითხები, როგორც ბუნებისა და საზოგადოების ურთიერთობების ჩარჩო-კონცეფცია, შედარებით ახალი სამეცნიერო დისციპლინებია და მათი განვითარება-ჩამოყალიბება მე-20 საუკუნის 70-იან წლებში დაიწყო (Gomez-Baggethun et al., 2009).

მიუხედავად ეკოსისტემების სერვისების კონცეფციის პოპულარობის, ინკლუზიურობის, მულტიფუნქციური პრინციპებისა და პოლიტიკური მიმზიდველობისა, ურბანული (ან სხვა ტიპის) ეკოსისტემების მიერ წარმოებული სერვისებით განპირობებული მიდგომები ქალაქგეგმარებაში და ზოგადად, ბუნებიდან საზოგადოებისკენ მომდინარე „სერვისების“ ან „სიკეთეების“ კონცეფცია, უმეტესწილად რთულად აღიქმება პრაქტიკული განხორციელებისას. მისი გათვალისწინება გართულებულია, ან არ არსებობს, რეალურ სიტუაციებში, განსაკუთრებით კი სივრცითი ურბანული გეგმარებისა და მმართველობითი გადაწყვეტილებების მიღების დროს (Turkelboom et al., 2018).

ერთის მხრივ, ურბანული პარკების, როგორც ქალაქის საერთო სივრცისა და ინფრასტრუქტურის მნიშვნელოვანი ნაწილის მნიშვნელობა აღიარებულია. ისინი მოსახლეობას უზრუნველყოფენ სასიამოვნო, საცხოვრებლად კომფორტული გარემოთი და წარმოადგენენ ქალაქის ბიომრავალფეროვნების მნიშვნელოვანი კვანძს (Nielsen et al., 2014). ურბანული პარკები, ბაღები, სხვა მწვანე სივრცეები ქალაქებში, ხშირად ქალაქს იმ განსაკუთრებულ იდენტობას სძენენ, რომელიც შემდგომ ქალაქის ნაცნობ „სახედ“ ან „ხატად“ აღიქმება. ეს კი დაკავშირებულია იმ ბუნებრივ თუ ადამიანის მიერ შექმნილ გარემოსთან, რომელიც ქალაქის ქსოვლშია „ჩაქსოვილი“ (როგორც მაგალითად Englischer Garten-ი მიუნხენში, ან „ცენტრალური პარკი“ - ნიუ-იორკში); მეორეს მხრივ კი, ასევე ხშირად, ქალაქის მწვანე სივრცეები, პარკები, ბაღები ან სხვა მწვანე ელემენტები, არ განიხილება ქალაქის სახის, შინაარსის თუ ფორმის განმსაზღვრელ დეტერმინანტებად მიწათსარგებლობის ან ქალაქის მდგრადი განვითარების კუთხით და მათ ურბანული ქსოვილის დეკორატიულ, ან დამატებით კომპონენტად აღიქვამენ.

გარდა ამისა, ბუნების ელემენტების არსებობა ქალაქებში ავსებს ადამიანის საცხოვრებელ გარემოს და ზემოქმედებს ადამიანის ემოციებსა და შეგრძნებებზე (Chiesura & de Groot, 2003). ყველა, ზემოთჩამოთვლილი დადებითი ზეგავლენა შესაძლოა განხილულ იქნას როგორც სოციალური და ეკოლოგიური სერვისები, რომლებიც პირდაპირ თუ ირიბად მონაწილეობენ ქალაქის სიცოცხლისუნარიანობის, კომფორტულობის, დადებითი სახის (ე.წ. „იმიჯის“) და მიმზიდველობის შექმნაში (Chiesura & de Groot, 2003).

სამწუხაროდ, ურბანული პარკების, ქალაქის ეკოლოგიისა და ურბანული ეკოსისტემების სერვისების მათი მნიშვნელობის შეხებ ცოდნა ჯერ კიდევ მცირეა. განსაკუთრებით მწირია ცოდნა ამ კუთხით ჩვენთან - არ არის აღრიცხული თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურა, არ ვიცით რამდენი ხე-მცენარეა მუნიციპალიტეტში, არ გვაქვს მონაცემები პარკების, სკვერების, ქუჩის ხეივნების, სასაფლაოებზე არსებული თუ კერძო ნაკვეთებზე მდებარე ხე-მცენარეების შესახებ.

მიუხედავად თბილისის მიწათსარგებლობის გეგმის დამტკიცებისა, ჯერ კიდევ ჩამოუყალიბებელია მწვანე სივრცეების განვითარების, მათი სამომავლო გავრცელების, გამოუყენებელი, ყოფილი ინდუსტრიული, ან სხვა პერსპექტიული მიწის ნაკვეთების მწვანე ინფრასტრუქტურაში ჩართვის გეგმები და სხვა საკითხები, რომლებიც ქალაქის „მწვანე“ მიმართულებით განვითარებას უკავშირდება.

ამის ნათელი დადასტურებაა ჯერ კიდევ ცოტა ხნის წინ მიღებული თბილისის მერიის წინააღმდეგობრივი გადაწყვეტილება, ვაკის პარკის ტერიტორიაზე ახალი სასტუმროს აშენებასთან დაკავშირებით. ამას ქალაქში მტკიცე და დიდი მასშტაბის სოციალური პროტესტი მოჰყვა. თბილისელები, ვაკის პარკის შენარჩუნებისთვის ღამეებს ათევდნენ პარკის ტერიტორიაზე და ჯერ-ჯერობით სასტუმროს მშენებლობა შეჩერდა. შეიძლება ამის მიზეზი გახლავთ ის რომ ხშირად, ქალაქის მცირე ზომის ბაღები, სხვა მწვანე კუნძულები, განიხილებიან ქალაქის არქიტექტურის, ურბანული ან მუნიციპალური სივრცეების ატრიბუტებად, და მათ არსებობას სათანადო მნიშვნელობა არ ენიჭება. შედეგად, ხშირად, ქალაქის ადმინისტრაციის მხრიდან ვიღებთ ისეთ გადაწყვეტილებებს, რომლებიც მხოლოდ ეკონომიკური სარგებელის მიღების

მიმართულებით მიიღება და სრულიად უგულვებელყოფს მწვანე სივრცეების ეკოლოგიურ ფუნქციებსა და ეკოსისტემური სერვისების მოწოდების პოტენციალს. შესაძლოა ამის მიზეზი არსებული პარკებისა და სკვერების მცირე ფართობია: ამ დროს, ვარაუდობენ რომ მცირე ბაღების ზომა და მათი ფიზიკური იზოლაცია (სხვა ბუნებრივი სისტემებისგან) ზღუდავს მათ მიერ ეკოსისტემების სერვისების მიწოდებას გარემოსათვის და ამცირებს მათ ეკოლოგიურ მნიშვნელობას, ქალაქის დიდი ზომის პარკებთან შედარებით (Forsyth & Musacchio, 2005).

ამიტომაც, აუცილებელია მეტი ყურადღების გამოჩენა ქალაქის ბუნებისადმი და მისი დეტალების, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობისა და სიკეთეების შესწავლისადმი, ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის და ქალაქის მცენარეულობის ტიპისა და ხარისხისადმი და არა მხოლოდ მშრალი სტატისტიკური მონაცემებისადმი, რომლებიც აღწერენ „მწვანე სივრცის“ ფართობს ერთ სულ მცხოვრებზე (Badiu et al., 2016).

მაგალითად, ისეთი მცირე ზომის პარკიც კი, როგორცაა „ექსპო ჯორჯია“ (3.2. 3ა), რომელიც თბილისის ერთ-ერთ ყველაზე მჭიდროდ დასახლებულ რაიონში, დიდუბეში, მდებარეობს, წელიწადში ჰაერიდან შთანთქავს და ხეების სხეულში ინახავს ნახშირბადის (C) იმ რაოდენობას (198.4 ტ), რომელსაც ატმოსფეროში იმავე პერიოდში გამოყოფს დაახლ. 43 ერთეული მსუბუქი ავტომობილი (EPA, Green vehicle Guide; Nowak et al., 2018), ხოლო საქართველოს მიერ ატმოსფეროში გატყორცნილ ნახშირორჟანგის (8.6 მილიონი ტონა ნახშირორჟანგი წელიწადში, საქართველო, 2016) ერთ მცხოვრებზე გადათვლით, ჰაერში გაიტყორცნება 2.14 ტ ნახშირორჟანგი/ერთ სულზე/წელიწადში<sup>53</sup> - შესაბამისად, „ექსპო ჯორჯიას“ პარკი, წელიწადში შთანთქავს და ბიომასის სახით ხეებში ინახავენ დაახლოებით 92 სულის მიერ ემიტირებულ ნახშირორჟანგს, ან 36.3 ოჯახის მიერ წლის განმავლობაში დახარჯულ ელექტროენერჯის ექვივალენტს<sup>54</sup> . ამ პარკის გარეშე, ხეების მიერ შთანთქმული ნახშირბადი დაემატებოდა ემისიური

<sup>53</sup> ნახშირორჟანგის ემისიები ქვეყნების მიხედვით, 2021 (Worldometer, Carbon Dioxide (CO2) Emissions by Country (2021), ვებ-საიტი: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/>

<sup>54</sup> სათბურის გაზების ექვივალენტების კალკულატორი, ენერჯია და გარემო, აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტო (Greenhouse Gas Equivalencies Calculator, Energy and the Environment, United States Environmental Protection Agency, 2021, ვებ-საიტი: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> .

სათბური გაზების ნაკრებს და გააუარესებდა თბილისის ჰაერის ისედაც პრობლემატურ შემადგენლობას.

„ექსპო ჯორჯიას“ და „წითელი ბალის“ ხეების მიერ ბიომასის სახით „შენახული“ ნახშირბადის მიახლოებითი ღირებულება (\$133.05 აშშ დოლარი, ემიტირებული ნახშირბადის ყოველ ერთ ტონაზე, Nowak et al., 2017), შეადგენს დაახლოებით \$26,297 და \$16,830 (შესაბამისად) აშშ დოლარს; ერთი პირობითი ხე, 2018 წლისათვის, ამ პარკებში, „ინახავდა“ დაახლოებით \$38 („ექსპო-ჯორჯია,“) და \$16.3 („წითელი ბალი“) აშშ დოლარის ღირებულების ნახშირბადს თავის სხეულში.

ევროკავშირისა და აღმოსავლეთის პარტნიორობის პროგრამის (EU4Energy –EaP) გამოკვლევებით, საქართველოში, ატმოსფეროში გატყორცნილი CO<sub>2</sub> –ის რაოდენობის (2.37 ტ CO<sub>2</sub> ერთ სულ მოსახლეზე, 2015 წ.) „საკომპენსაციოდ“, აუცილებელია დაახლ. 109 ხე, შესაბამისად, საქართველოს ტყეების პოპულაციას, სავარაუდოდ უნდა დაემატოს 400 მილიონამდე (!) ახალი ხის ნარგავი, რათა თეორიულად „განულდეს“ ან „განეიტრალდეს“, საქართველოს ნახშირორჟანგის ემისიების ბალანსი<sup>55</sup>.

თბილისის შემთხვევაში (CO<sub>2</sub>-ის ემისიების წლიური რაოდენობა: 1,488,162 ტ/წელიწადში, 2015), ქალაქში (იდეალური სცენარით), მთლიანი ემისიების „განულებისთვის“, EU4Energy –EaP-ის გათვლებით, დაახლ. 67.5 მილიონი ხის ახალი ნარგავი არის საჭირო(!) (Covenant of Mayors – East, 2015)<sup>56</sup>.

ქვემოთ, მე-11 ცხრილში შეგიძლიათ იხილოთ ატმოსფეროდან ნახშირორჟანგის სეკვესტირების მონაცემები გამოკვლევული პარკების ხეებისთვის. ნახშირორჟანგის სეკვესტირების ეს მონაცემები (1.47 ტ/ჰა და 1.39 ტ/ჰა) შეიძლება ჩაითვალოს „კარგ“ შედეგებად, თუ მათ შევადარებთ აშშ-ს სატყეო ფედერალური სააგენტოს სასიგანალო მაჩვენებლებს: 2.6 ტ/ჰა/წელიწადში (25-წლიას ასაკის საკმეველის ფიჭვის (*Pinus taeda L.*)

<sup>55</sup> მერების შეთანხმება - აღმოსავლეთი, საქართველო (Covenant of Mayors – East, Georgia), ვებ-გვერდი: <http://www.com-east.eu/en/about-us/covenant-of-mayors-east/georgia/>

<sup>56</sup> გამოთვლისას, EU4Energy –EaP-ის მიხედვით, CO<sub>2</sub> -ს ატმოსფეროდან შთანთქმის მაჩვენებელი ერთ (1) ხეზე საშუალოდ 22 კგ-ია.

ექსპერიმენტულ ნაკვეთზე, 100%-იანი საფარველით) და 1.0 ტ/ჰა/წელიწადში, ნაძვისა და სოჭის საშუალო საფარველის მქონე 25-წლიან ნაკვეთზე (Nowak & Crane, 2002).

**ცხრილი 11.** ნახშირბადის შთანთქმა (სეკვესტრირება) ატმოსფეროდან „წითელი ბალისა“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკების პარკების ხეების მიერ.

პარკი	მთლიანი ფართობი, ჰა	ხეების მთლიანი რ-ბა, ცალი	ნახშირბადის სეკვესტრირება, ტ/წელიწადში	ნახშირბადის სეკვესტრირება, ტ/ჰა, წელიწადში	ნახშირბადის სეკვესტრირება, კგ/ხე
„ექსპო პარკი“, თბილისი	3.2	694	4.7	1.47	6.77
„წითელი ბაღი“, თბილისი	3.3	1,030	4.6	1.39	4.46

ქ. ნიუ-იორკის ტყეების ეკოსისტემების შეფასებისას გამოყენებულ გათვლებით (Nowak et al. 2018), ქალაქის ხე-მცენარეების მიერ წლის განმავლობაში ჰაერიდან შთანთქმული დაბაზინძურებლების (აირები და მყარი ნაწილაკები) მთლიანმა რაოდენობამ 1,100 ტ შეადგინა და იმავე ანგარიშში (Nowak et al., 2018) ეს სერვისი შეფასებულ იქნა \$78 მილიონ დოლარად. შესაბამისად, ჰაერიდან 1 ტონა დამაბინძურებლების შთანთქმის ღირებულება (ნიუ-იორკისათვის) წარმოადგენს \$70,909 დოლარს (!). თუ გათვლებისთვის ამ ღირებულებას დავეყრდნობით (სერვისის მასშტაბის აღსაქმელად თბილისის პარკებში), მივიღებთ რომ წელიწადში ჰაერიდან სხვადასხვა დამაბინძურებლების შთანქმით მიღებული სარგებელი ქალაქისთვის შემდეგი იქნება: დაახლოებით \$8,489 აშშ დოლარი („ექსპო ჯორჯიას“ პარკი) და \$6,403 დოლარი („წითელი ბაღი“).

ამ მონაცემებზე დაყრდნობით, კარგად ჩანს, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ეკოსისტემების სერვისებში დიდი ზომის ხეების როლი - ხეების ასაკითა და ზომით „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების ზომით აღემატება „წითელი ბალის“ ხე-მცენარეებს, შესაბამისად, „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ერთი პირობითი ხე (სულ 694 ხე) წელიწადში, ნახშირორჟანგის ბიომასაში დაგროვებით დაახლ. \$38-40 დოლარის სერვისს გვაძლევს; „წითელი ბალისთვის“, სერვისის ეს საშუალო ღირებულება დაახლ. \$16-ის დოლარის ფარგლებშია.

„ქ. თბილისის მუნიციპალიტეტი თბილისის გარემოსდაცვითი სტრატეგია 2015-2020“-ში მოცემულია 1988 წლის, თბილისის ხეების ინვენტარიზაციის მონაცემები (რომლებიც მეტ-ნაკლებად, ერთადერთი სანდო მონაცემია თბილისში არსებული ხეების ძირების რაოდენობის შესახებ) (ქ. თბილისის მუნიციპალიტეტი თბილისის გარემოსდაცვითი სტრატეგია 2015-2020), რომლებზე დაყრდნობით შესაძლებელია ვივარაუდოთ რომ თბილისი ხეების 1988 წლის აღრიცხვით, თბილისის მუნიციპალიტეტის დაახლ. 18 859 069 ხე (აქედან 12 128 500 ძირი ფართოფოთლოვანი ხე და 6 730 569 ძირი, წიწვოვანი) ზემოთაღნიშნული ეკოსისტემებისგან მიღებული სარგებლის გასაშუალოებული მონაცემის გამოყენებით, თითოეულ ხეზე:  $(\$38+\$16.3)/2 = \$27.15$ ), მივიღებთ რომ წლის განმავლობაში, თბილისის მუნიციპალიტეტში არსებული ხეები, ქალაქს დაახლ. \$512 მილიონი დოლარის მომსახურებასა და სერვისს უწევენ! რა თქმა უნდა, ეს რიცხვი შთამბეჭდავია, თუმცა დაანგარიშების მეთოდების, ქვეყნებს შორის შეფასების კრიტერიუმებისა და ზოგადად, ეკონომიკური დათვლის მოდელებს შორის საგრძნობი განსხვავებები, ნაკლებ საშუალებას გვაძლევენ შევამოწმოთ ან დავაზუსტოთ ეს მაჩვენებელი. შესაბამისად, იგი შეიძლება მხოლოდ სადემონსტრაციო, ან სასიგნალო მაჩვენებლად მივიღოთ.

ეს რა თქმა უნდა, თეორიული დათქმებით მიღებული მონაცემია, თუმცა იგი ნათლად მიგვითითებს იმ მასშტაბს, მნიშვნელობას და ღირებულებას, რომელიც თბილისი მწვანე ინფრასტრუქტურიდან მიღებული ეკოლოგიური სისტემების სერვისებით მიეწოდება თბილისს! ამ წესით, ნიუ-იორკის ტყეების კვლევის მონაცემებზე დაყრდნობით (Nowak et al. 2018), წლის განმავლობაში თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების სერვისის ღირებულება (\$2.35 აშშ დოლარი 1 მ<sup>3</sup>-ზე) დაახლოებით \$634 აშშ დოლარია („ექსპო ჯორჯიას“ პარკში) და \$472 დოლარი („წითელი ბაღში“). იგივე სერვისი განსხვავებულად არის შეფასებული ქ. ჰიუსტონის ეკოსისტემების სერვისების ღირებულების შეფასებისას 1 კუბურ მეტრ წყალზე, და იგი შეადგენდა 1.59 აშშ დოლარს, შესაბამისად, თბილისის აღნიშნული პარკების მიერ გაწეული სერვისები შეფასება, ქ. ჰიუსტონის ანგარიშის გათვლებით, \$318.79 და \$428.5 აშშ დოლარი იქნება (Nowak et al., 2017) .

### 6.3. თბილისში ეკოსისტემების სერვისების პოტენციური მოცულობა და მათი შეფასება

თბილისში არსებული მწვანე ინფრასტრუქტურის (თბილისის ძირითადი პარკების) ერთობლივი, ან „ჯამური“ პოტენციალის შესაფასებლად, საინტერესოდ გვეჩვენება თბილისში არსებული საქალაქო პარკებისა და ბაღების საერთო, აგრეგირებული ცხრილის შედგენა (ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის მერიის ვებ-საიტზე პარკების არსებული ჩამონათვალის მიხედვით, იხ.

<https://tbilisi.gov.ge/pages/parks>); შერჩეული პარკების ფართობები შეიძლება არ შეესაბამებოდეს პარკების შესახებ ოფიციალურ მონაცემებს და ემყარება ონ-ლაინ რუკის ფართობის საზომი ხელსაწყოს მონაცემებს; პარკების ფართობები გაზომილ იქნა tas.ge -ს ინტერაქტიული რუკის ფართობის საზომი ხელსაწყოს საშუალებით, იხ.

<http://maps.tbilisi.gov.ge/#/C=44.7767879-41.7131989@Z=15>)<sup>57</sup>. ქვემოთ ჩვენ შევეცდებით მოვახდინოთ გამოკვლეული პარკების მონაცემების ექსტრაპოლაცია სხვადასხვა ეკოსისტემების სერვისების მიხედვით მათ გამოყენებას თბილისის სხვა პარკების მიერ ქალაქისათვის მიცემული სიკეთეების შესაფასებლად (იხ. **ცხრილი 12**).

დამატებით, ცხრილი 12-ის ბოლოს, პარკების გარდა, დამატებული გვაქვს თბილისში არსებული ყოფილი საწარმოების ტერიტორიების, ე.წ. „ბრაუნფილდების“, ჯამური ფართობი (დაახლ. 800 ჰა), რომელიც ეყრდნობა თბილისის მიწათ-სარგებლობის გენერალური გეგმის მონაცემებს (თბილისის მიწათსარგებლობის კონცეფცია - Tbilisi land use concept, 2017).

თბილისის მწვანე ინფრასტრუქტურის (ბაღების, პარკების, საკარმიდამო მწვანე სივრცეების, სხვა მწვანე ან ბუნებრივი სივრცეების) დეტალური საინვენტარიოზაციო მონაცემები ჯერ არ არსებობს. შესაბამისად, გართულებულია იმ ეკოსისტემური სერვისების შეფასება, რომელსაც თბილისი მწვანე ინფრასტრუქტურა აწვდის ქალაქს.

<sup>57</sup> თბილისის არქიტექტურა, სსიპ თბილისის მუნიციპალიტეტის არქიტექტურის სამსახური, ინტერაქტიული რუკა: <http://maps.tbilisi.gov.ge/#/C=44.7807474-41.7138468@Z=14>; ონ-ლაინ ნანახია 24.11.2021



თუმცა შესაძლებელია თბილისში და მის შემოგარენში განლაგებული პარკებისა და ბაღების შესახებ არსებული ოფიციალური ინფორმაციის გამოყენება და იმ ეკოსისტემების სერვისების მოცულობების დაანგარიშება (ექსტრაპოლაცია), რომლებსაც თბილისის ურბანული ტყეები აწვდიან ქალაქს და ეკოსისტემების სერვისების ეკონომიკური და მონეტარული ღირებულების დაახლოებითი შეფასება (ე.წ. „ვალუაცია“).

გამოკვლევული პარკების („ექსპო ჯორჯიას პარკი“ და „წითელი ბაღი“) შეფასებით მიღებული სხვადასხვა ეკოსისტემების სერვისების მონაცემების (ტ/ჰა-ზე/წელიწადში) საშუალო არითმეტიკულის დაანგარიშებით, მოვახდინეთ მიღებული ეკოსისტემების სერვისების შედეგების განზოგადება თბილისის რამდენიმე მთავარ პარკზე და იმ პოტენციურ სივრცეებზე, რომლებიც შესაძლოა „გამწვანდეს“ და გაშენდეს თბილისში არსებულ ბრაუნფილდებზე (ყოფილ სამრეწველო ტერიტორიებზე ქალაქში), რის შედეგადაც შევქმენით სპეციალური ცხრილი 12), რომელიც საშუალებას მოგვცემს განვაზოგადოთ ურბანული ეკოსისტემების სერვისების მასშტაბი თბილისში და წარმოვიდგინოთ მათი სოციალურ-ეკონომიკური და ეკოლოგიური პოტენციალი (იხ. ცხრილი 12).

**ცხრილი 12.** ქ. თბილისის მსხვილი ურბანული პარკებისა და ბრაუნფილდების ეკოსისტემების სერვისების პოტენციალი, რაოდენობა და მონეტარული შეფასება (ექსტრაპოლაცია, „ექსპო ჯორჯია პარკისა“ და „წითელი ბაღის“ კვლევის შედეგების გამოყენებით), თითოეული ეკოსისტემის სერვისის გასაშუალოებული მონაცემის საფუძველზე.<sup>58</sup>

#	პარკის დასახელება	საერთო ფართობი (ჰა)	ნახშირბადის შენახვის ღეროში (ტონა/წელი) <sup>59</sup>	ნახშირბადის სეკვესტრირება, (ტ/წ)	მყარი ნაწილაკების (PM2.5) შთანთქმის მაჩვენებელი (კგ/წ)	O3-ის შთანთქმის მაჩვენებელი (კგ/წ)	NO2-ის შთანთქმის მაჩვენებელი (კგ/წ)	SO2-ის შთანთქმის მაჩვენებელი (კგ/წ)	ნიაღვრული წყლების შთანთქმის მაჩვენებელი (კუბ. მ/წ)	CO-ს შთანთქმის მაჩვენებელი (კგ/წ)
	ეკოსისტემების სერვისების საშუალო რაოდენობა თბილისის პარკებში, გადათვლილი 1 ჰა-ზე	1.0	<b>49.98</b>	<b>1.43</b>	<b>2.47</b>	<b>17.34</b>	<b>8.77</b>	<b>2.92</b>	<b>72.3</b>	<b>0.68</b>
1	„წითელი ბაღი“	3.3	126.5	4.6	6.6	48.9	24.6	8.2	200.5	2.0
2	„ექსპო ჯორჯიას პარკი“	3.2	198.4	4.7	9.5	63.8	33.1	10.8	269.5	2.4
3	9 აპრილის ბაღი	2.28	114.0	3.3	5.6	39.5	20.0	6.7	164.8	1.6
4	გორგი ლეონიძის ბაღი	2.61	130.5	3.7	6.4	45.3	22.9	7.6	188.7	1.8
5	დედაენის ბაღი	2.18	109.0	3.1	5.4	37.8	19.1	6.4	157.6	1.5
6	9 მარტის ბაღი	1.0025	50.1	1.4	2.5	17.4	8.8	2.9	72.5	0.7
7	ბოტანიკური ბაღი	44.97	2,247.8	64.3	111.1	779.8	394.4	131.3	3,251.3	30.6
8	მუშტაიდის ბაღი	8.024	401.1	11.5	19.8	139.1	70.4	23.4	580.1	5.5
9	პარკი „მზიური“	13.879	693.7	19.8	34.3	240.7	121.7	40.5	1,003.4	9.4
10	პარკი „რიყე“	4.02	200.8	5.7	9.9	69.7	35.2	11.7	290.5	2.7

<sup>58</sup> შენიშვნა 1: [\*] - ბრაუნფილდების მთლიანი ფართობი თბილისში არ არის დაზუსტებული. მონაცემი, ფართობის შესახებ აღებულია ინგლისელი ექსპერტის, ჯონ ბეროლუხის კვლევის, „ყოფილი საწარმოო ტერიტორიები („ბრაუნფილდები“) თბილისში“ მონაცემებიდან და დაანგარიშებულია 800 ჰა-თვის. იხ. კვლევის ბმული: <https://www.tas.ge/DownloadServlet?downloadCase=56&docId=52056>, ნანახია 24 ნოემბერს, 2021.

შენიშვნა 2 [\*\*] - 1 ტონა ნახშირბადის შენახვისა და სეკვესტრირების ფასი, \$133.05/ტ, ემყარება აშშ-ს Interagency Working Group 2013, U.S. Environmental Protection Agency 2015-ის შეფასებას (Nowak et al., 2017, p. 9) (იხ. გვ. 9).

<sup>59</sup> ნახშირორჟანგის შთანთქმისა და სეკვესტრირების - თბილისის მწვანე სივრცეების (იგულისხმება არსებული პარკების ფართობები, ჰექტრებში) შთანთქმული და სეკვესტრირებული ნახშირბადის მოცულობის მონეტარული შეფასებისთვის (ევალუაცია) და მისი სავარაუდო მონეტარული ღირებულების დასადგენად, გამოყენებულ იქნა აშშ-ს ფედერალური სატყეო სააგენტოს, აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტოსა, 2015 წლის და 2013 წლის სააგენტოთაშორის სამუშაო ჯგუფის (Interagency Working Group 2013, U.S. Environmental Protection Agency 2015) მიერ გამოყენებული შეფასება სხვადასხვა ეკოსისტემური სერვისისათვის ქ. პიუსტონისათვის გამოყენებული მონაცემები (Nowak et al., 2017).

11	ვაკის პარკი	42.1	2,104.4	60.2	104.0	730.0	369.2	122.9	3,043.9	28.6
12	მთაწმინდის პარკი	101.0	5,048.4	144.4	249.5	1,751.3	885.8	294.9	7,302.3	68.7
13	ვერის პარკი	5.57	278.4	8.0	13.8	96.6	48.8	16.3	402.7	3.8
14	კიკვიძის პარკი	6.35	317.3	9.1	15.7	110.1	55.7	18.5	458.9	4.3
15	თბილისის დენდროლოგიური პარკი	178.2	8,907.4	254.8	440.2	3,090.0	1,562.8	520.4	12,884.0	121.2
16	ყოფ. იპოდრომის ყოფილი ტერიტორია-პარკი	36.425	1,820.7	52.1	90.0	631.6	319.4	106.4	2,633.5	24.8
17	ხუდადოვის ტყე	54.0	2,699.2	77.2	133.4	936.4	473.6	157.7	3,904.3	36.7
18	“შველი ზოოპარკის“ ტერიტორია	8.33	416.2	11.9	20.6	144.4	73.0	24.3	602.0	5.7
19	ახალი ზოოპარკი	72.74	3,635.8	104.0	179.7	1,261.3	637.9	212.4	5,259.0	49.5
ჯამი (1)		590.18	29,499.6	844.0	1,457.8	10,233.6	5,176.5	1723.3	42,669.6	401.3
პარკების სერვისების საშუალო მონეტარული აშშ დოლარი (\$ US)** - 1A			\$ 3,924,922.5		\$ 185,992	\$ 29,270	\$ 3,153	\$ 405	\$ 67,809	n/a
20	თბილისის ყოფ. სამრეწველო ტერიტორიები - „ბრაუნფილდები“, კონვერსიისთვის (2) *	800	39,987.7	1,140	1,976	13,872	7,016	2,336	57,840	544
სერვისები, დიდი ჯამი (1+2)		2,390.18	69,486.6	1,984.0	3,433.8	24,105.6	12,192.5	4,059.3	100,509.6	945.3
„ბრაუნფილდების“ სერვისების საშუალო ჯამური მონეტარული შეფასება, აშშ დოლარი (\$ US)** - 1B			\$ 5,320,362.5		\$ 252,058.6	\$ 39,763.9	\$ 4,272.7	\$ 549	\$ 91,907.8	n/a
მთლიანი სერვისების საშუალო ჯამური მონეტარული შეფასება, აშშ დოლარი (\$ US)** - 1A+1B			\$ 9, 245,285		\$ 438,050.6	\$ 69,033.9	\$ 7,425.7	\$ 954	\$ 159,716.8	n/a

დიდი ჯამი (ყველა სერვისი ერთად), აშშ დოლარი (\$ US)	\$ 9,920,466.00
---	-----------------

მაგალითად, ერთი ტონა ნახშირბადის სოციალური ხარჯებისათვის, 3%-იანი დისკონტით, რომელიც 2015 წელს, ქ. ჰიუსტონის (აშშ) ურბანული ტყეებისთვის იქნა გამოყენებული. ნახშირბადის სოციალური ხარჯი მოიცავს ნახშირბადის გაზრდილი ემისიის გავლენას ისეთ ფაქტორებზე როგორებიცაა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტიულობა, ადამიანის ჯანმრთელობა, ქონებისა და ზიანება და მასზე უარყოფითი გავლენა; ურბანული პარკების ხეების მიერ დაგროვებული და ჰაერიდან სეკვესტრირებული ნახშირბადის რაოდენობა გამრავლებულ იქნა \$133.05 აშშ დოლარზე, ყოველ ერთ ტონაზე (Nowak et al., 2017)<sup>60, 61</sup>.

აღნიშნული ექსტრაპოლაციით, თბილისის შერჩეულ პარკებსა და ბრაუნფილდებს (საერთო ფართობით 590.17 ჰა და 800 ჰა, შესაბამისად, იხ. ცხრილი 12), შეუძლიათ 70,000 ტ-მდე ნახშირბადის შენახვა მცენარეულ სხეულში და 2,000 ტ-მდე ნახშირბადის შთანთქმა ჰაერიდან (სეკვესტრირება) წელიწადში.

აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტოს (EPA-ს) მიერ შემუშავებული მეთოდოლოგიით<sup>62</sup>, თბილისის მწვანე სივრცეების მიერ ატმოსფეროდან შთანთქმული ნახშირორჟანგის მთლიანი რაოდენობის (69,480 ტ) მონაცემები შეესაბამება წელიწადის განმავლობაში 15,111 ავტომობილის მიერ ატმოსფეროში გამონაბოლქვის სახით გამოყოფილ CO<sub>2</sub> -ს; ან ემისიას, მიღებულს 29,5 მილიონი ლიტრი ბენზინის დაწვით (წელიწადში); ან ემისიას მიღებულს 25.8 მილიონი ლიტრი დიზელის საწვავის დაწვით; ან ემისიას მიღებულს 34 800 ტონა ქვანახშირის დაწვით, ან ემისიას, რომელსაც

<sup>60</sup> შენიშვნა: დღეს, 2021 წელს, i-Tree -ის ოფიციალურ პორტალზე, ნახშირბადის „ღირებულება“ ან სხვაგვარად, „ნახშირბადის სოციალური ხარჯი“ 1 ტონაზე დაახლ. 188 აშშ დოლარია, ხოლო ნახშირორჟანგის, CO<sub>2</sub>-ის, ექვივალენტია \$188/3.67, ანუ დაახლ. \$51.22 /ტონაზე)

<sup>61</sup> დღეს, 2021 წელს, i-Tree -ის ოფიციალურ პორტალზე, ნახშირბადის „ღირებულება“ ან სხვაგვარად, „ნახშირბადის სოციალური ხარჯი“ 1 ტონაზე დაახლ. 188 აშშ დოლარია, ხოლო ნახშირორჟანგის, CO<sub>2</sub>-ის, ექვივალენტია \$188/3.67, ანუ დაახლ. \$51.22 /ტონაზე; I-Tree Eco-ს მომხმარებლის სახელმძღვანელო, ვერსია 6.0 (I-Tree Eco, version 6.0, user's manual, 09.22.2021), ვებ-გვერდი: [https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6\\_UsersManual.2021.09.22.pdf](https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6_UsersManual.2021.09.22.pdf)

<sup>62</sup> სათბური გაზების ექვივალენტების კალკულატორი, ენერჯია და გარემო, აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტო (Greenhouse Gas Equivalencies Calculator, Energy and the Environment, EPA (United States Environment Protection Agency), ვებ-გვერდი: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>

წლიურად, ენერჯის მოხმარებისას გამოყოფს 8,361 ოჯახი, საშუალოდ. იხილეთ ემისიის ეს მონაცემები ცხრილის სახით ქვემოთ (იხ. ცხრილი 13):

**ცხრილი 13.** ნახშირორჟანგის წლიური შთანთქმა თბილისის 19 ურბანულ პარკში და „ბრაუნფილდების“ პოტენციურ, 800-ზე ჰა გამწვანებულ ტერიტორიებზე (ემისიის შესაბამისი რაოდენობების შედარება სხვადასხვა დარგებში).

69,480 ტ ნახშირორჟანგის შთანთქმა (წელიწადში) და მისი შედარება ექვივალენტურ ემისიებთან:
69,480 ტ შთანთქმული ნახშირორჟანგი შეესაბამება:
15,100 ავტომობილის გამობოლქვს, წელიწადში
280 მილიონი კმ-ის გარბენს (საშუალო სამგზავრო ავტომობილით)
29 მილიონი ლ ბენზინის დაწვას
34 ათასი ტონა ქვანახშირის დაწვას
8 300 ოჯახის ენერგომომხმარებას, წელიწადში
2,83 მილიონი პროპანის ბალონის გაზის დაწვას
8,4 მილიარდი სმარტფონის დატენვას, წელიწადში

შედარებისთვის, ვთავაზობთ სათბური გაზების მთლიან ემისიას საქართველოში (იხ. ცხრ. 14). ცხრილიდან კარგად ჩანს რომ 1990 წლიდან 2000 წლამდე, სათბური გაზების (და საკუთრივ ნახშირორჟანგის) ემისია მკვეთრად კლებულობს (რაც სავარაუდოდ, 90-იან წლებში საქართველოში წარმოების მოცულობის მოცულობის მკვეთრ ვარდნას უკავშირდება), ხოლო 2000 წლიდან 2017 წლამდე მატების ტენდენციას აჩვენებს და ეს მატება თითქმის 61%-ზე მეტს შეადგენს.

**ცხრილი 14.** სათბურის გაზების მთლიანი ემისია საქართველოში. წყაროები: საქართველოში სათბურის გაზების ეროვნული ინვენტარიზაციის ანგარიში 1990-2015 (2019); Fourth National Communication of Georgia Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (2021); წყარო: Georgia Carbon (CO<sub>2</sub>) Emissions 1990-2021, online URL: <https://www.macrotrends.net/countries/GEO/georgia/carbon-co2-emissions>

გაზი/წელი	1990	2000	2010	2017
სათბურის გაზების მთლიანი ემისია (LULUCF/LUCF <sup>63</sup> -ის გამოკლებით)*, ტონა	45,607,000	10,479,000	13,207,000	16,980,000
LULUCF/LUCF სექტორი (შთანთქმები), ტონა	(6,923,000)	(5,213,000)	(5,101,000)	(4,924,000)
ნახშირორჟანგის CO <sub>2</sub> -ის მთლიანი ემისია, ტონა	33,490,000	4,770,000	5,320,000	9,630,000

თბილისის ურბანული პარკებისა და ბრაუნფილდების (მათი გამწვანების შემთხვევაში) ხე-მცენარეების მიერ ემისიების შთანთქმის ეს მონაცემები (70,000 ტ-მდე შთანთქმული ნახშირორჟანგი, წელიწადში), შემოთავაზებული დაანგარიშებით გვამღევეს შემდეგს:

<sup>63</sup> LULUCF/LUCF – მიწათსარგებლობა, ცვლილებები მიწათსარგებლობაში და სატყეო მეურნეობა.

- ქ. თბილისის რამდენიმე მსხვილი პარკისა (ჯამური ფართობი 590 ჰა) და თბილისში არსებული „ბრაუნფილდების“ გამწვანების შემთხვევაში (ჯამური ფართობით დაახლ. 800 ჰა), მწვანე ინფრასტრუქტურის მიერ ქალაქისთვის გაწეული ეკოსისტემური სერვისების ჯამური ღირებულება, შესაძლოა შეადგენდეს დაახლ. \$ 9,920,466.00 აშშ დოლარის ექვივალენტს წელიწადში (იხ. ცხილი 11).

*ნიაღვრული წყლების შთანთქმული მოცულობა* - ხე-მცენარეების მიერ შთანთქმული და თავიდან აცილებული ნიაღვრული ზედაპირული წყლების მოცულობის ჯამური, ექსტრაპოლირებული მონაცემი გახლავთ 100,510 კუბ. მ წყალი, წელიწადში. მისი მონეტარული შეფასება (ევალუაცია), ქ. ფილადელფიის პარკებისთვის ჩატარებული ზემოთ აღნიშნული ანგარიშის მიხედვით (Nowak et al., 2015), შეადგენს დაახლ. \$160,000 აშშ დოლარს, წელიწადში. აშშ-ს 2013 წლის სააგენტოთაშორისი სამუშაო ჯგუფის მეთოდოლოგიით, თანხობრივად, თავიდან აცილებული ზედაპირული წყლების მოცულობა გადაითვლება ნიაღვრული წყლების მართვის გადასახადით საფუძველზე, მექსიკის ყურის ქალაქებისათვის (ქ. ჰიუსტიონის ჩათვლით) და ეს რეგიონული ხარჯი შეადგენს \$0.045 კუბ. ფუტზე (Nowak et al., 2017), ანუ \$1.59, ერთ კუბურ მ წყალზე, რაც ჯამურად წელიწადში გვაძლევს დაახ. \$160,000 აშშ დოლარის ექვივალენტურ თანხას. საქართველოში დღეს არსებული ტარიფების მიხედვით, სს „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერი“ (GWP) მიმდინარე საფასური 1მ<sup>3</sup> ჩამდინარე სითხის გატარება-გაწმენდის მომსახურებისთვის (არასაყოფაცხოვრებო მომხმარებლისათვის) არის 1.423 ლარი<sup>64</sup>. თუ ამ ციფრს გამოვიყენებთ ზედაპირული ნიაღვრული წყლების გატარება-მომსახურებისთვის, ჰიდროლოგიური ინფრასტრუქტურის მიერ, მივიღებთ დაახლ. 143,000 ლარს, წელიწადში. შედარებისათვის, 100,500 მ<sup>3</sup> წყალი ნიშნავს სახლის ონკანის 7 დღით მოშვებულად დატოვებას (ხარჯი: 10 ლ/წთ), ან საყოფაცხოვრებო სარეცხი მანქანის 1 400-ჯერ გამოყენებისათვის საჭირო წყალს; 15 მმ ატმოსფერული ნალექის შემთხვევაში, 100,510 მ<sup>3</sup>

<sup>64</sup> „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერის“ ვებ-გვერდის ინფორმაცია: ტარიფები, ვებ-გვერდი: <https://www.gwp.ge/ka/prices/>

წყალს მიიღებს დაახლ. 760 ჰექტარი ტერიტორია<sup>65</sup>. ქ. ფილადელფიის პარკების სისტემის ანგარიში (2009 წ.), სადაც ჰიპოთეტიურად დაიანგარიშეს რომ ფილადელფიის საქალაქო პარკების სისტემის არარსებობის შემთხვევაში, ქალაქის ხარჯები, ნიაღვრული წყლების გატარებასა და მართვაზე, ყოველწლიურად, დაახლოებით 6 მილიონ აშშ დოლარი იქნებოდა (Harnik & Welle, 2009).

*ატმოსფერული ჰაერიდან სხვადასხვა დამაბინძურებლების შთანთქმის შეფასება* - ჰაერიდან სხვადასხვა აიროვანი და მყარი დაბინძურებლების შთანთქმის დაანგარიშება, როგორც წესი ეფუძნება მათ ეკონომიკურ ღირებულებას (მაგალითად, დაავადების ხარჯები, ხელფასის დანაკარგი, სტატისტიკური სიცოცხლის ღირებულება, გადახდისთვის მზაობა და სხვა), რომელიც დაკავშირებულია ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი გავლენის თავიდან აცილებაზე, ანუ იმ ხარჯების შემცირებაზე, რომლებიც ჰაერის დაბინძურების შედეგად განვითარებულმა დაავადებებმა შეიძლება გამოიწვიონ. ზემოთტყმულის დაანგარიშება ასევე ხდება i-Tree Eco-ს მიერ და ეს დაანგარიშებები ემყარება აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტოს (EPA-ს) მიერ შემუშავებულ პროგრამას (BenMAP - Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - გარემოსდაცვითი სარგებლის კარტოგრაფირებისა და ანალიზის პროგრამა)<sup>66</sup>, რომელიც გათვლებისათვის იყენებს იმ მონეტარულ ღირებულებას, რომელიც დადგება ატმოსფერულ ჰაერში ხეების მიერ შთანთქმული NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, და SO<sub>2</sub> -ის კონცენტრაციების ცვლილებისგან (შემცირებისგან). ეს პროგრამა იყენებს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებისა და მოსახლეობის რაოდენობის ადგილობრივ მონაცემებს, მათ ცვლილებას, ადამიანის ჯანმრთელობაზე გარემოს გავლენის შესასწავლად და ანგარიშობს ამ ცვლილებებთან ასოცირებულ ეკონომიკურ ღირებულებას. აღნიშულ მეთოდზე დაყრდნობით და ქ. ჰიუსტონის პარკების ტყეების

<sup>65</sup> წვიმა და ევაპოტრანსპირაცია, გაეროს საკვებისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაცია (FAO), თავი 4) - (Rainfall and evapotranspiration, FAO, Chapter 4), ვებ-გვერდი: <https://www.fao.org/3/r4082e/r4082e05.htm> accessed 01.12.2021.

<sup>66</sup> აშშ-ს გარემოს დაცვის სააგენტო, 2012. გარემოსდაცვითი სარგებლის კარტოგრაფირების და ანალიზის პროგრამა (BenMAP) - (U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 2012. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP), ვებ-გვერდი: <http://www.epa.gov/air/benmap/>

მონეტარული შეფასებების გამოყენებით, თბილისში გამოკვლეული პარკების ეკოსისტემების სერვისების რაოდენობების და მოცულობების გათვალისწინებით 1 პირობით ჰექტარზე, დავიანგარიშეთ თბილისში არსებული პარკებისა და ბრაუნფილდების (მათი გამწვანების შემთხვევაში) ჯამური მონაცემები, ჰაერის შემდეგი დამაბინძურებლებისთვის: ა) მყარი ნაწილაკების (PM2.5) შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ); ბ) მიწისზედა ოზონის (O<sub>3</sub>-ის) შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ); გ) აზოტის ორჟანგის (NO<sub>2</sub>)-ის შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ); დ) SO<sub>2</sub>-ის შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ); ე) CO-ს შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ). (იხ. ცხრილი 12 და ცხრილი 15).

**ცხრილი 15.** შერჩეული პარკების მიერ ატმოსფერული ჰაერიდან ნახშირორჟანგის, ჰაერის დამაბინძურებლების შთანთქმა და თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების მოცულობა, გაანგარიშებული თბილისის შერჩეული ცხრამეტი პარკის ხე-მცენარეებისთვის (ექსტრაპოლაცია), შეფასება (აშშ-ს პარკების შეფასების კრიტერიუმების და ღირებულების გამოყენებით).

ეკოსისტემების სერვისები თბილისის პარკისათვის <sup>67</sup> (ექსტრაპოლაცია)	ჯამი	გაწეული სერვისის ღირებულება- შეფასება/წელიწადში, აშშ დოლარი	პარკების საერთო ფართობი, ჰა	ეკოსისტემების სავარაუდო ღირებულება, \$ აშშ	გაწეული სერვისის 1 ჰა მწვანე საპარკო სივრცეზე, აშშ დოლარი წელიწადში
ნახშირბადის შენახვა ხის ღეროში და სეკვესტრირება, გაერთიანებული (ტონა/წელი)	29,499	\$ 3,924,922.5	590.17	\$ 133.05/ტ	\$ 6,840.75
მყარი ნაწილაკების (PM2.5) შთანთქმა (კგ/წ)	1,458	185,992		\$ 127.56/კგ	\$ 315.149
მიწისზედა ოზონის (O <sub>3</sub> -ის) შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ);	10,234	29,270		\$ 2.86/კგ	\$ 49.595
აზოტის ორჟანგის (NO <sub>2</sub> )-ის შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ);	5,177	3,153		\$ 0.609/კგ	\$ 5.34
SO <sub>2</sub> -ის შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ);	1,723	405		\$ 0.235/კგ	\$ 0.686
CO-ს შთანთქმა ჰაერიდან (კგ/წ)	401	არ არის ცნობილი		n/a	n/a

<sup>67</sup> ეკოსისტემების სერვისების შეფასებისათვის თბილისის 19 შერჩეულ პარკი მოიცავს შემდეგს: 1. “წითელი ბაღი“ (ვასო გომიაშვილის პარკი); 2) „ექსპო ჯორჯიას პარკი“; 3) „9 აპრილის ბაღი“; 4)“გიორგი ლეონიძის ბაღი“; 5)“დედაენის ბაღი“; 6) „9 მარტის ბაღი“; 7) „თბილისის ბოტანიკური ბაღი“; 8) „მუშტაიდის ბაღი“; 9) პარკი „მზიური“; 10) პარკი „რიყე“; 11) „ვაკის პარკი“; 12) „მთაწმინდის პარკი“; 13) „ვერის პარკი“; 14) „კიკვიძის პარკი“; 15) თბილისის დენდროლოგიური პარკი („თბილისი ზღვაზე“); 16) იპოდრომის ყოფილი ტერიტორია (ე.წ. „ცენტრალური პარკი“); 17) “ზუდადოვის ტყე“; 18) „ძველი ზოოპარკის“ გამწვანებული ტერიტორია; 19) „ახალი ზოოპარკი“ („თბილისის ზღვაზე“).



თავიდან აცილებული ნიაღვრული წყლების მოცულობა, (მ3/წ)	42,670	67,809		1.589	114.89
მთლიანი ღირებულება, ჯამი, აშშ დოლარი		\$ 4,323,840.00		n/a	\$ 7,326.43

აუცილებლად უნდა აღვნიშნოთ რომ ურბანული პარკების სისტემის და ზოგადად, ამ პარკების რეალური ეკონომიკური ღირებულების ზუსტად დათვლა შეუძლებელია. მაგალითად, ვერავინ „იანგარიშებს“ ტყიან პარკში სეირნობის ფსიქოლოგიურ ან თუნდაც, მენტალური ჯანმრთელობისთვის სარგებლიანობას. ასევე მრავალგვარი და ჯერ კიდევ შეუთანხმებელია, ვთქვათ ნახშირბადის ჰაერიდან სეკვესტრაციის შეფასების მეთოდოლოგია ურბანულ ტერიტორიებზე განლაგებული პარკებისთვის. ამავე დროს, არსებობს რიგი ფაქტორები - უძრავი ქონების ღირებულება, პარკების ან სარეკრეაციო სივრცეების პირდაპირი გამოყენებით მიღებული შემოსავალი, სუფთა ჰაერი ან წყალი, ჯანმრთელობისთვის სასარგებლო აქტივობები, სხვა, რისი შეფასება, ამ ცნების ეკონომიკური გაგებით, შესაძლებელია. პარკების სარგებლიანობის პირველი და მთავარი არგუმენტი (ეკონომიკის კუთხით) არის ის რომ მათთან სიახლოვე, პირდაპირ აისახება უძრავი ქონების ფასებზე. სახლი, ან ბინა, გამწვანებული პარკის ხეების ხედით სულ მცირე 10-20% მეტი ღირს, ვიდრე იგივე ბინა/სახლი, ხედის გარეშე (Crompton, 2001).

გარდა ამისა, პარკებთან მდებარე ქონების მფლობელები, მათი უფრო მაღალი ფასების შედეგად, ქონებაზე უფრო მეტ გადასახადს იხდიან, რაც ქმნის ამ ქონების აგრეგირებულ ღირებულებას და პირდაპირ მოქმედებს მიწის ფასზე პარკების მიმდებარე ტერიტორიებისთვის. შესაბამისად, შესაძლებელია იმ ეკონომიკური სარგებლის გამოთვლა, რაც პარკთან ახლოს მდებარე უძრავი ქონების ფასების ზრდას შეუძლია გამოიწვიოს საშემოსავლო, ქონებისა და სხვა გადასახადებზე, თუმცა ეს წმინდა ეკონომიკური საკითხია და ურბანული პარკების ეკონომიკური პოტენციალის ან კუმულატიური ეფექტის გამოთვლა სხვა ტიპის დამატებით კვლევებს საჭიროებს.

ბოლო წლებში, განსაკუთრებით გაიზარდა იმ სამეცნიერო კვლევების რაოდენობა, რომლებიც ურბანული პარკების და ზოგადად, ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის ეკონომიკურ სიკეთეებს შეისწავლის და განიხილავს ქალაქის მართვის, დაგეგმარებისა და მენეჯმენტის ფუნდამენტური გადაწყვეტილებების მიღებისას. ქალაქგეგმარებაში ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის განვითარება, როგორც გეგმარების სტრატეგიული მიმართულება უკვე ხორციელდება ევროკავშირის ბევრ ქალაქში (ქ. სეგედი, უნგრეთი; ქ. ბარსელონა, ესპანეთი; ქ. ედინბურგი, დიდი ბრიტანეთი; ქ. ბერლინი, გერმანია; ქ. მალმო, შვედეთი; ქ. უტრეხტი, ნიდერლანდები) (Hansen et al., 2017).

აღსანიშნავია რომ 2017 წელს, თბილისის მუნიციპალიტეტმა სამოქმედოდ მიიღო და დაამტკიცა “მწვანე ქალაქის სამოქმედო გეგმა, 2017-2030“ (იხილეთ ბმული თბილისის მერიის ვებ-საიტზე: <https://tbilisi.gov.ge/page/green-city>), დაფინანსებული ევროპის რეკონსტრუქციისა და განვითარების ბანკის (EBRD) მიერ. ალბათ უნდა ითქვას რომ ეს გეგმა, ქალაქ თბილისის მიწათსარგებლობის გეგნერალურ გეგმასთან ერთად, საშუალებას იძლევა უფრო მაღალ სტანდარტზე ავიდეს ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურის განვითარება და ურბანული ეკოლოგიისა და მდგრადობის საკითხებს ქალაქის სტრატეგიული განვითარებისთვის ბევრად მაღალი მნიშვნელობა მიენიჭოს ვიდრე აქამდე ჰქონია. „მწვანე თბილისის“ გეგმის მიხედვით, ქალაქის მუნიციპალიტეტის ერთ-ერთი მთავარი პრიორიტეტი გახდება თბილისის მწვანე სივრცეების ინვენტარიზაცია (როგორც ადრე აღინიშნა, ბოლო ინვენტარიზაცია ქალაქში 1988 წელს ჩატარდა).

ასეთი ტიპის სამეცნიერო კვლევები საშუალებას გვაძლევენ შევისწავლოთ ქალაქები, როგორც მრავალი ელემენტის მქონე ეკოლოგიური სისტემები და მეტი გავიგოთ ქალაქში არსებული ეკოსისტემების იმ ურთიერთქმედებების შესახებ რომლებიც მიმდინარეობს ქალაქის ბუნების ბიოტურ და აბიოტურ სისტემების, კლიმატის, ატმოსფერული ჰაერის, ნიადაგების და ადამიანის მიერ შექმნილ ეკონომიკურ და სოციალურ სისტემებს შორის და საზოგადოება-ბუნების ვექტორის მიმართულებით. ეს კვლევები ხელს შეუწყობს ქალაქის მწვანე სივრცეების სოციალური

და ეკოლოგიური ფუნქციების დადგენას ზოგადად ურბანულ კონტექსტში და მათი სოციალურ-ეკოლოგიური და ეკონომიკური ფუნქციების და მნიშვნელობის უკეთ გაგებას.

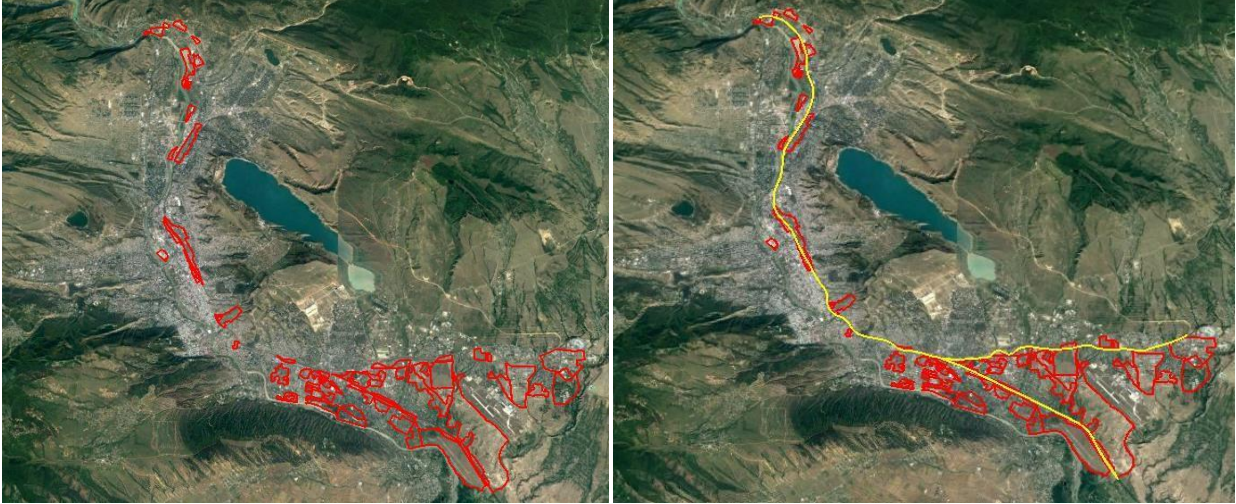
უნდა აღინიშნოს რომ საკითხები, რომლებიც უკავშირდებიან ურბანული პარკების როლს ადამიანის ჯანმრთელობასა და კეთილდღეობაში, ნაკლებად შესწავლილი და გამოკვლეულია, თუმცა დღეს უკვე არსებობს საკმარისი მასალა იმის დაადასტურებლად რომ ურბანული პარკები და ტყეები დადებითად მოქმედებენ ადამიანის ფიზიკური და მენტალური ჯანმრთელობაზე (Jasmani, 2013).

ქალაქის მცხოვრებლებისათვის მწვანე სივრცეების მიერ ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობის მომტანი სიკეთეებიდან აღსანიშნავია რამდენიმე: გაზრდილი ფიზიკური აქტივობების შესაძლებლობა პარკებში, გაზრდილი სიცოცხლის ხანგრძლივობა, ჯანმრთელობის შემცირებული პრობლემები და ფსიქოლოგიური, მენტალური და ემოციური ჯანმრთელობის ხელშემწყობი გარემოს ჩამოყალიბება (Lafortezza et al., 2013).

#### 6.4. თბილისში ახალი მწვანე სივრცეების განვითარების პერსპექტივები

„ბრაუნფილდები“ (Brownfields) - ქალაქებში მდებარე ყოფილი საწარმოო ან კომერციული ტერიტორიები, რომლებიც არ არიან ჩართულნი მშენებლობა განვითარების პროცესში. თბილისის შემთხვევაში, ადგილობრივი „ბრაუნფილდების“ უმეტესობა, რომლებიც მდ. მტკვრის ხეობის მარცხენა ნაპირზეა თავმოყრილი (იხ. ნახ. 12) და მათი თითქმის ნახევარი, ისანი-სამგორის რაიონებშია თავმოყრილი. ბრაუნფილდები წარმოადგენენ ეკოლოგიურად დაბინძურებულ ტერიტორიებს, რომლებიც ამჟამად ველურად გაზრდილი, ბუჩქოვანი და ბალახოვანი მცენარეულით ან არაგამჭოლი (ხშირად კონტამინირებული) ზედაპირებით (ბეტონი, ასფალტი, ქვა, ბიტუმი, სხვა) არის დაფარული.

**ნახატი 12.** თბილისში არსებული ძირითადი „ბრაუნფილდების“ მდებარეობა (წითლად შემოსაზღვრულია ბრაუნფილდების ტერიტორიები). მარჯვენა სურათზე, ბრაუნფილდებთან ერთად, დატანილია თბილისში არსებული რკინიგზის მთავარი მაგისტრალები (ყვითელი ხაზი). წყარო: რუკები აღებულია ჯონ ბეროუზის მიერ ჩატარებული კვლევიდან „ყოფილი საწარმოო ტერიტორიები („ბრაუნფილდები“) თბილისში“, კვლევა მომზადებულია თბილისის მუნიციპალიტეტის დაკვეთით და მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით, 2017 წელი) (ჯ. ბეროუზი, 2017).<sup>68</sup>



თანამედროვე ქალაქებში, სადაც არსებობდა წარმოება, ურბანული ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ფართობები ეკავათ (ან კვლავ უკავიათ) სხვადასხვა ტიპის წარმოებას. საწარმოების დახურვის შედეგად, ქალაქებში გაჩნდა ყოფილი ინდუსტრიული ტერიტორიები, ე.წ. „ბრაუნფილდები“, რომლებიც ქალაქის ურბანული ქსოვილის დანაწევრების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზად იქცნენ. მაგალითად, ქ. ნიუ-იორკში, „ბრაუნფილდების“ რაოდენობა 3,000-ზე მეტია და მათი გამოყენება, თავიდან დატვირთვა და ინტეგრაცია ქალაქის განვითარების პროგრამის ნაწილს წარმოადგენს<sup>69</sup>. ნიუ-იორკის მერიის ვებ-საიტზე განთავსებული ინფორმაციით, ბრაუნფილდების გამოყენება და „ახალი“ ფუნქციებით დატვირთვა მოიცავს ახალი სამუშაო ადგილების, იაფიანი სოციალური საცხოვრისის და რაც მთავარია, ჯანმრთელი, გამწვანებული, ღია თუ მცენარეულით დაფარული სივრცეების შექმნას.

<sup>68</sup> იხ. ვებ-გვერდი შემდეგ ბმულზე: ინტერნეტ-ბმული:

<https://www.tas.ge/DownloadServlet?downloadCase=56&docId=52056>

<sup>69</sup> ქ. ნიუ-იორკის მერის ოფისი, კლიმატისა და გარემოსდაცვითი სამართლიანობისათვის, ბრაუნფილდები (NYC Mayor’s Office of Climate & Environmental Justice, Brownfields), ვებ-გვერდი:

<https://www1.nyc.gov/site/sustainability/initiatives/brownfields.page>

ბრაუნფილდები, სავარაუდოდ, მუდმივად იარსებებენ ქალაქებში. მათი ჩამოყალიბებისა და განვითარების ისტორია, ფუნქცია, როლი და დანიშნულება დროსთან ერთად იცვლება და ერთ დროს წარმატებული ინდუსტრიული ზონები, შესაძლოა სამომავლოდ გაკოტრდნენ, გაჩერდნენ, ფუნქცია დაკარგონ ან შეიცვალონ. ამავე დროს, ისინი, პრობლემასთან ერთად კარგ შესაძლებლობასაც გვაძლევენ: ერთის მხრივ, ქალაქის ასეთი ფრაგმენტებად დაყოფა ართულებს სხვადასხვა ურბანული სისტემის (სატრანსპორტო, საინჟინრო და სოციალური ინფრასტრუქტურა) ოპტიმალურ დაგეგმვასა და ოპერირებას, მეორეს მხრივ - ბრაუნფილდები, როგორც ქალაქის ურბანულ კონტურში მდებარე მიწის ნაკვეთები, წარმატებით შეიძლება იქნენ თავიდან გამოყენებული (სამრეწველო მიწის ნაკვეთების რე-ციკლირება და/ან რე-უტილიზაცია) ქალაქის შიდა ტერიტორიული განვითარებისათვის. ისინი ქალაქის მნიშვნელოვან ტერიტორიულ რესურსს წარმოადგენენ.

*ბრაუნფილდების ხელახლა გამოყენება და კონვერსია* - თბილისის ბრაუნფილდების უმეტესი ნაწილი, ქალაქს მთელს სიგრძეზე, მტკვრისა და რკინიგზის გრძივ დერეფნებს მიუყვებიან. ისინი , როგორც წესი, სხვა ინდუსტრიულ ზონებს ეკვრიან (რკინიგზა, მაგისტრალები, სხვა ინდუსტრიული ობიექტები) და უარყოფითად მოქმედებენ მიმდებარე ტერიტორიების განვითარების პოტენციალზე. ამავე დროს, ბრაუნფილდების მოხერხებული, ზოგჯერ ცენტრალურ ადილებში მდებარეობა, მათ ქალაქისათვის ღირებულ რესურსად აქცევს. ეს განსაკუთრებით აქტუალურია მჭიდრო განაშენიანების საცხოვრებელ და დასაქმების არეალებში, სადაც თავისუფალი მიწის რესურსი მწირია, ხოლო მოთხოვნა სხვადასხვა ფუნქციებზე - მაღალი. თბილისური კონტექსტის გათვალისწინებით, ბრაუნფილდების ზონირების ცვლილება ხელს უწყობს მიწათსარგებლობის ოპტიმიზაციას და მიწათსარგებლობის ზონების ფუნქციების დაბალანსებას.

ბრაუნფილდები, როგორც ურბანული „ინფილინგის“ (infilling)<sup>70</sup> მთავარი რესურსი, უნდა განხილულ იქნას თბილისის ეკოლოგიური მოთხოვნილებებისა და საჭიროებების კუთხითაც: ქალაქის მიწის შეზღუდული რესურსი ისედაც ძალიან მცირე შესაძლებლობებს გვაძლევს მწვანე, რეკრეაციული და საჯარო გამოყენების გამწვანებული ზონების გასავითარებლად. ამასთან, თბილისის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის თანახმად, „კომპაქტური“ ქალაქის კონცეფციის შესაბამისად, საჭიროა ექსტენსიური ტერიტორიული ზრდის შეზღუდვა და განვითარების მიმართვა ნაშენ, შიდასაქალაქო სივრცეზე. ნაშენი ქალაქის ფარგლებს გარეთ ტერიტორიების ათვისება (ე.წ. „ურბანული ცოცვა“) უნდა შეიზღუდოს შიდა არსებული რესურსის ამოწურვამდე, რაც გეგმის პროგნოზით, 2030 წლამდე არ არის ნავარაუდები. ჯონ ბეროუზის კვლევის რეკომენდაციებში, რომლებიც თბილისის ბრაუნფილდებს შეეხება, მოცემულია რამდენიმე საინტერესო რეკომენდაცია, რომელიც ეთანხმება ქალაქის სივრცის ეკოსისტემების სერვისების კუთხით გააზრებას (ჯონ ბეროუზი, 2017).

აქვე შეიძლება ვახსენოთ თბილისის ერთ-ერთი ყველაზე მსხვილი ინდუსტრიული ზონის, ან ზოლის, თბილისის გამჭოლი რკინიგზის პრობლემა, რომელიც ქალაქს, მტკვრის გასწვრივ, მთელ სიგრძეზე კვეთს და სერიოზულ ხარვეზებს და ბარიერებს ქმნის ქალაქის განივი კავშირებისთვის. აღსანიშნავია რომ სწორედ რკინიგზის გასწვრივ არის თავმოყრილი თბილისის ბრაუნფილდების და სხვადასხვა ტიპის სამრეწველო ტერიტორიების (სასაწყობო, სარემონტო, ტვირთის დამხარისხებელი და სხვა) მნიშვნელოვანი ნაწილიც, რომელთა შესაძლო ჩართვა ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურაში, დიდად წაადგება თბილისის მწვანე მაჩვენებლების გაუმჯობესებას. ეს სასარგებლო ბიძგს მისცემს ქალაქის ლანდშაფტურ-სარეკრეაციო ზონების განვითარებას მოცემულ ტერიტორიებზე, რომლებიც ადრე (და ნაწილობრივ დღესაც) ისტორიულ სამრეწველო ზონებს ქმნიან თბილისში (ჩრდილოეთ

<sup>70</sup> Infilling (ინგლი.) - ურბანული „ინფილინგი“ წარმოადგენს პროცესს, როდესაც მჭიდრო განაშენიანების მქონე ტერიტორიებზე, განვითარებაში ჩაერთვება არსებული „თავისუფალი ან ნაკლებად დატვირთული ან გამოუყენებელი მიწის (მაგ. „ბრაუნფილდების“) ნაკვეთები (ლ.ა.).

ნაწილში- ავჭალა, ღრმაღელე, ნაძალადევი და დიდუბე; აღმოსავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილებში კი - ნავთლული, ორხევი, ლილო და ფონიჭალა).

შეიძლება საინტერესო იყოს მსგავს პრობლემაზე ნიდერლანდების გამოცდილება, სადაც არქიტექტურულმა კომპანიამ, UNStudio-მ (რომელიც ქ. ქუთაისის დავით აღმაშენებლის სახელობის აეროპორტის პროექტის ავტორია, ლ.ა.), 2018 წელს, ქ. ჰააგას შესთავაზა იქ არსებული სამი სარკინიგზო სადგურის ინფრასტრუქტურული კვანძის განახლება და 1 კვ. კმ-ის ფართობის მქონე, სარკინიგზო ლიანდაგებით დაფარულ ტერიტორიის რეკონსტრუქცია ქალაქის ცენტრში. სტუდიის მიერ შეთავაზებული „სოციო-ტექნიკური ქალაქის“ (Socio-Technical City) (Baldwin, 2018) პროექტი გულისხმობდა ქალაქების წინაშე მდგარი ორი მთავარი გამოწვევის, ურბანიზაციისა და მდგრადი განვითარების ერთმანეთთან შეხამებას და ოპტიმიზაციას და თვითკმარი და ენერგია-ნეიტრალური დიზაინის შექმნას. პროექტის მიხედვით, უნდა განხორციელებულიყო რკინიგზის სამ სადგურს შორის არსებული სხვადასხვა საინჟინრო ინფრასტრუქტურის აღება, არსებული ლიანდაგების დატოვება და მის ადგილას ერთი დიდი სარკინიგზო ტერმინალის შექმნა. ამავე დროს, გამოთავისუფლებულ ტერიტორიაზე უნდა შექმნილიყო ახალი საჯარო სივრცე დასვენებისთვის, ვაჭრობისთვის და სხვა სოციალურ-კულტურული და ინფორმაციული საქმიანობებისათვის. რკინიგზის ლიანდაგების არსებობის გათვალისწინებით, ეს ახალი სივრცე მათ ზემოთ, მეორე, „აწეულ სართულზე“ განლაგდებოდა, სადაც ადამიანები ელექტრომამძრავი მოწყობილობებით გადაადგილდებოდნენ, „დაკიდებულ“ იარუსებზე მოეწყობიდა მწვანე სივრცეები, წყლის ავტონომიური ფილტრაციით, ქალაქური ფერმით, ვერტიკალური პარკით, წყლის არხებით, ჩანჩქერებით და გეოთერმული ენერგეტიკული დანადგარით, სისტემის ენერგომომარაგებისათვის. ამ პროექტის (იდეის) ერთ-ერთი მთავარი მიზანი არის ბუნებრივი, ხელოვნური და ტექნოლოგიური კომპონენტების ურთიერთშერწყმა, არსებული საინჟინრო ინფრასტრუქტურის კონფიგურაციების გათვალისწინებით.

თბილისის სარკინიგზო ხაზის პრობლემის მოგვარებისთვის, შესაძლოა ასეთი კონცეპტუალური ხედვა უფრო საინტერესო იყოს, ვიდრე არსებული რკინიგზის სხვაგან



გადატანა და ქალაქისათვის სარკინიგზო ფუნქციის რადიკალური ცვლილება ან ჩამორთმევა.

*სასაფლაოების მწვანე საფარი* -საინტერესოდ გვეჩვენება ქ. თბილისში არსებული სასაფლაოების ტერიტორიების (რომლებიც ძირითადად გამწვანებული, ხე-მცენარეულით დაფარული მდიდარი მასივებია) მიერ მოწოდებული ეკოსისტემური სერვისების მოცულობა. მითუმეტეს, იმის გათვალისწინებით რომ თბილისის მსხვილ, ოცდაერთ (21) სასაფლაოს ქალაქის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიის 517 ჰა-ზე მეტი უკავია, რაც თბილისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიის (502 კვ. კმ, ანუ 50 200 ჰექტარი) დაახლ. 1.03%-ს შეადგენს. სასაფლაოებზე არსებული ხე-მცენარეული მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების დაანგარიშება დღეს გართულებულია იმ მიზეზით რომ არასდროს ჩატარებულა სასაფლაოებზე არსებული ხე-მცენარეულის და იქ გაბატონებული სახეობების აღწერა და ინვენტარიზაცია. თუმცა, აშშ-ს ფედერალური სატყეო სააგენტოს პორტალზე არსებობს სოფტ-პროგრამა i-Tree Canopy, რომელიც საშუალებას იძლევა არსებული მცენარეული საფარის მიხედვით გამოთვლილ იქნას ურბანული ტერიტორიაზე არსებული ეკოსისტემების სერვისები, შერჩეულ პოლიგონზე 500-1000 შემთხვევითი წერტილის მონიშვნის მეშვეობით<sup>71</sup>.

ეს პროგრამა-ინსტრუმენტი, i-Tree canopy („აი-თრი ხის ფოთლოვანი თალი/ვარჯი“) მომხმარებელს საშუალებას აძლევს გამოთვალოს ქალაქში არსებულ შერჩეულ ნაკვეთებზე (პოლიგონზე) არსებული ხეების, ან ზედაპირის საფარის სხვა კლასები (ბალახი, ღია გრუნტი, შენობები, ქუჩები, სხვა) და აშშ-ს სატყეო სააგენტოში დაგროვილი მონაცემებსა და გამოცდილებაზე დაყრდნობით, მოახდინოს ზედაპირის საფარველის კლასიფიკაცია, „გუგლის“ რუკების მონაცემებზე დაყრდნობით, პოლიგონზე შემთხვევით შერჩეული 500-ზე მეტი საკვლევი წერტილის მიხედვით და წარმოადგინოს ანგარიში პოლიგონის ფართობზე არსებული ეკოსისტემების სერვისების მოცულობის შესახებ. ეს პროგრამა არ ითვალისწინებს ხეების სახეობებს და

<sup>71</sup> i-Tree-„ხის ფოთლოვანი თალი“, ვერსია 7.1., ტექნიკური ჩანაწერები (i-Tree Canopy! v7.1, i-Tree Canopy Technical Notes), ვებ-ვერსია, ონლაინ: <https://canopy.itreetools.org/references>,



გვამლევს გასაშუალოებულ მონაცემებს, რომლებიც ექსტრაპოლაციისა და განზოგადებისთვის შეიძლება იქნეს გამოყენებული.

თბილისის სასაფლაოების ეკოსისტემების სერვისები შესაძლო პოტენციური მოცულობის გამოსათვლელად, ექსპერიმენტის სახით ჩავატარეთ თბილისის ვაკის საქალაქო სასაფლაოს კვლევა, i-Tree Canopy v7.1-ის პროგრამის მეშვეობით, რომლის შედეგადაც მივიღეთ ეკოსისტემების სერვისების მოცულობის დაახლოებითი მონაცემები. კვლევისას, ვაკის სასაფლაოს საზღვრებში (პოლიგონზე), პროგრამის მიერ შემთხვევით შეირჩა 555 წერტილი შემდეგი საფარველი კლასების მიხედვით: ა) ბალახი/ბალახოვანი საფარი, ბ) არაგამჭოლი ზედაპირი (შენობა), გ) არაგამჭოლი ზედაპირი (გზა), დ) არაგამჭოლი ზედაპირი (სხვა), ე) ნიადაგი/ღია გრუნტი, ვ) ხე/ბუჩქნარი და ზ) წყლოვანი ზედაპირი. ამ კატეგორიებით, ვაკის სასაფლაოს ტერიტორიის (სულ 17.06 ჰა, პოლიგონის მიხედვით) ზედაპირების ფართობები ასე განაწილდა:

**ცხრილი 16.** *ქ. თბილისის ვაკის საქალაქო სასაფლაოს ტერიტორიის განაწილება ზედაპირის მიხედვით (საკვლევი ტერიტორია, google map-ზე შერჩეული პოლიგონი, რომელიც მთლიანად მოიცავს ვაკის სასაფლაოს ტერიტორიას).*

ზედაპირის კლასი	შემთხ. შერჩეული დაკვირვების წერტილების რ-ბა	მთლიანი ზედაპირის ფართობის %; +/- სტანდარტული ცდომილება (SE)	ფართობი (ჰა); +/- SE
ბალახი/ბალახოვანი	36	6.49 +/- 1.05	1.1 0.18
არაგამჭოლი, შენობა	5	0.90 +/- 0.40	0.15 0.07
არაგამჭოლი, გზა	14	2.52 +/- 0.67	0.43 0.11
არაგამჭოლი, სხვა	15	2.70 +/- 0.69	0.46 0.12
ნიადაგი/გრუნტი	100	18.02 +/- 3.07	3.07 0.28
ხე/ბუჩქნარი	385	69.37 +/- 1.96	11.84 0.33
წყლოვანი ზედაპირი	0	0	0
ჯამი	555	100	17.06

საკვლევის პოლიგონის ხეობით დაფარული ფართობისა და სტანდარტული ცდომილების (განაწილების სტანდარტული გადახრის, SE) დასაანგარიშებლად, გამოვიყენეთ შემდეგი გამოთვლები: ვაკის სასაფლაოს მწვანე საფარველის ეკოსისტემების სერვისების გამოსათვლელად, ჩვენი კვლევის თანახმად, შემთხვევით შერჩეული დაკვირვების წერტილების რ-ბა N უდრის 555 წერტილს.

N - შემთხვევით შერჩეული დაკვირვების წერტილების რ-ბა

$$N = 555$$

n = იმ წერტილების რაოდენობას, რომლებიც ხე/ბუჩქნარად აღინიშნა;

$$n = 385$$

$$p = n/N \text{ (ანუ } 385/555 = 0.69)$$

$$q = 1 - p \text{ (ანუ, } 1 - 0.69 = 0.31)$$

$$SE \text{ (სტანდარტული ცდომილება)} = \sqrt{(pq/N)} \text{ (ანუ, } \sqrt{(0.69 \times 0.31 / 555)};$$

$$\sqrt{0.69 \times 0.31 / 555} = 0.0196, \text{ ან } 1.96 \% \text{-ს.}$$

შესაბამისად, ამ შემთხვევაში, ვაკის სასაფლაოს ხეების საფარველი დახლოებით 69%-ია, სტანდარტული ცდომილება 1.96%-ია.

i-Tree Canopy-ის პროგრამით ჩატარებული სიმულაციით მიღებული მონაცემებით, ვაკის საქალაქო სასაფლაოს მცენარეული და სხვა საფარის მიერ, გარემოსთვის გაწეულ იქნა შემდეგი ეკოსისტემების სერვისები (და მათი, სტანდარტულად დათვლილი, აშშ ფასებით, სავარაუდო ღირებულება, იხ. ქვემოთ ცხრილი 17):

**ცხრილი 17.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნახშირბადის სეკვესტრაცია და დაგროვება) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით, 2021.

ხეების მიერ გაწეული სერვისები (ნახშირბადი)	ნახშირბადი, ტ	სტანდარტული ცდომილება (+/-SE)	ნახშირორქანის ექვივალენტი, ტ	(+/-SE)	ღირებულება, აშშ დოლარი	ღირებულება 1 ტონაზე, აშშ დოლარი*	(+/-SE)
სეკვესტრირებული ხეების მიერ, წელიწადში	36.22	1.02	132.80	3.75	\$6,809	188	+/-192
შენახული ხის სხეულში	909.57	25.66	3,335.08	94.07	\$170,999	188	+/-4,823

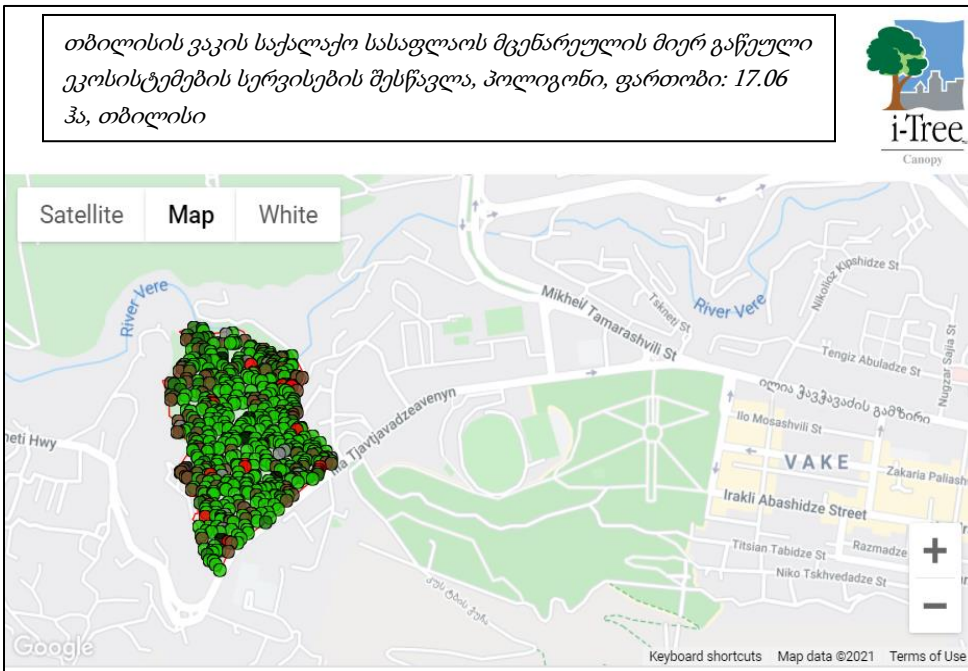
შენიშვნა: [\*] – 2021 წლისათვის, ნახშირბადის სოციალური ხარჯი \$188 აშშ დოლარად არის შეფასებული - ეს ფასი მოიცავს ნახშირბადის გაზრდილი ემისიის გავლენას ისეთ ფაქტორებზე როგორებიცაა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტიულობა, ადამიანის ჯანმრთელობა, ქონებისა და ზიანება და მასზე უარყოფითი გავლენა; ურბანული პარკების ხეების მიერ დაგროვებული და ჰაერიდან სეკვესტრირებული ნახშირბადის რაოდენობა გამრავლებულ იქნა \$188 აშშ დოლარზე, ყოველ ერთ ტონაზე (i-Tree Canopy v7.1).

**ცხრილი 18.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნიაღვრული წყლების შთანთქმა-შეკავება და თავიდან აცილება, ევაპოტრანსპირაცია) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით.

#	ხეების მიერ გაწეული სერვისები (ჰაერის დაბინძურება)	რაოდენობა, კგ	სტანდარტული ცდომილება (+/-SE)	ღირებულება, აშშ დოლარი	(+/-SE)
1	შთანთქმული CO (წელიწადში)	11.96	0.34	1	0
2	შთანთქმული NO2 (წელიწადში)	65.23	1.84	2	0
3	შთანთქმული O3 (ოზონი) (წელიწადში)	649.63	18.32	101	3
4	შთანთქმული SO2 (წელიწადში)	41.10	1.16	0	0
5	შთანთქმული PM2.5-ზე მცირე (წელიწადში)	31.57	0.89	208	6
6	შთანთქმული PM 2.5-10 (წელიწადში)	217.60	6.14	73	2

**ცხრილი 19.** ვაკის სასაფლაოს მცენარეულის მიერ გაწეული ეკოსისტემების სერვისები (ნიაღვრული წყლების შთანთქმა-შეკავება, თავიდან აცილება და ევაპოტრანსპირაცია) და მათი სავარაუდო შეფასება i-Tree Canopy-ის პროგრამის მიხედვით.

ხეების მიერ გაწეული სერვისები (ნიაღვრული წყლის ნაკადების შემცირება)	რაოდენობა, კილო-ლიტრი	სტანდარტული ცდომილება (+/-SE)
აორთქლება	4,726.73	133.32
ნალექის ნაკადის დაბრკოლება	4,753.18	134.07
ტრანსპირაცია, ხის მიერ სითხის გამოყოფა აორთქლის სახით	6,396.00	180.41
პოტენციური აორთქლება	35,816.53	1,010.26
პოტენციური ევაპოტრანსპირაცია	29,223.29	824.28



**ნახატი 13.** ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეული საფარველის მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების დანგარიშება i-Tree Canopy-ის მეთოდით (შემთხ. შერჩევა: 555 წერტილი)

თბილისის სასაფლაოების (ჯამური ფართობი, დაახლ. 517 ჰა, ცხრილი 20), როგორც ქალაქის ეკოსისტემების სერვისების რესურსის გააზრება და სამომავლოდ მისი შესწავლა, ვფიქრობთ საინტერესო იქნება თბილისის ეკოსისტემების სერვისების მთლიანი რესურსის მნიშვნელობისა და მოცულობის აღქმისთვის და მათი შეფასებისათვის. საინტერესოდ გვეჩვენება ვაკის სასაფლაოს მწვანე საფარზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების შედარება, i-Tree Eco-ს მეთოდით ჩატარებულ კვლევასთან აღნიშნულ ორი პარკში („წითელი ბაღი“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკი). ქვემოთ იხილეთ ცხრილი 21.

**ცხრილი 20.** თბილისის ძირითადი სასაფლაოები და მათი ფართობები (შედგენილია [www.tas.ge](http://www.tas.ge) -ის თბილისის მუნიციპალიტეტის ინტერაქტიული რუკის გამოყენებით).

x	თბილისის სასაფლაოების დასახელება	მთლიანი ფართობი, ჰა
1	ღრმაღელე	82.5
2	სოფ. გლდანის (ქერჩის ქუჩა) სასაფლაო	9.4
3	ზემო ავჭალის	9.3
4	კუკია 1	20.4
5	კუკია 2	43.5
6	ახალი ვაზისუბნის	6.3
7	პეტრე-პავლეს სახელობის	27.65
8	ზემო ვერის	3.9
9	ვაკის	17.61
10	საბურთალოს	45.29
11	დამპალოს	15.53
12	ვარკეთილის	12.42
13	წმ. ბარბარეს სახელობის	4.39
14	ფონიჭალის	2.4
15	მუხათგვერდის	160.74
16	ზაჰესის	10.125
17	ლოტკინის (ე.წ. „ქურთების“)	4.518
18	დიდმის საქალაქო	11.82
19	ვაშლიჯვრის საქალაქო	4.35
20	სოფ. დიდმის საქალაქო	12.26
21	ზემო საბურთალოს საქალაქო	12.67
	<b>ჯამი</b>	<b>517.07</b>

**ცხრილი 21.** ხეების მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების შედარება თბილისის ორ პარკში („წითელი ბაღი“ და „ექსპო ჯორჯიას“ პარკი), თბილისის ვაკის სასაფლაოს მწვანე საფარის მიერ გაწეული სერვისებისებთან.

დასახელება	საერთო ფართობი (ჰა)	ნახშირბადის შენახვა ხის ღეროში (ტონა)	ნახშირბადის სეკვესტრირება, (ტ/წ)	ნახშირბადის შენახვა ხის ღეროში, ტ/ჰა	ნახშირბადის სეკვესტრირება, (ტ/ჰა)	ეკოსისტემის სერვისის დაახ. ღირებულება, აშშ დოლარი (\$133.05/ტონაზე), #6 = #2* \$133.05	ეკოსისტემის სერვისის დაახ. ღირებულება, აშშ დოლარი, 1 ჰა-ზე
#	1	2	3	4	5	6	7
„წითელი ბაღი“	3.3	126.5	4.6	38.33	1.39	16,830.82	5,100.3
„ექსპო ჯორჯიას“ პარკი	3.2	198.4	4.7	62.00	1.47	26,397.12	8,249.1
ვაკის სასაფლაო, თბილისი	17.61	909.57	36.22	51.65	2.05	121,018.28	6,872.13

21-ე ცხრილის მონაცემების შედარება გვიჩვენებს რომ ეკოსისტემების ერთი სერვისის, ნახშირბადის ღეროში დაგროვების მიხედვით, თბილისის გამოკვლეული ორი პარკი, მნიშვნელოვან სერვისს აწვდიან თბილისს (126.5 ტ და 198.4 ტ, „წითელი ბაღი“ და „ექსპო-ჯორჯიას“ პარკი, შესაბამისად). აქვე აღსანიშნავია რომ მიუხედავად ამ პარკების თითქმის ერთნაირი ფართობებისა (3.2. და 3.3 ჰა, „წითელი ბაღი“ და „ექსპო-ჯორჯიას“ პარკი, შესაბამისად), „ექსპო ჯორჯიას“ პარკის ხეების მიერ ფართობის ერთეულზე ნახშირბადის შენახვის რაოდენობა, (62 ტ/ჰა) მნიშვნელოვნად აღემატება „წითელი ბაღის“ ხეებისას. ეს აიხსნება „ექსპო-ჯორჯიას“ პარკის ხეების უფრო დიდი ასაკით (პარკი 50-იან წლებში გაშენდა), ხეებით დაფარული მეტი ფართობით, რაც ადასტურებს ასაკოვანი ხეებისა და ნარგავების სიხშირის მნიშვნელობას ქალაქის ეკოსისტემებისთვის.

რაც შეეხება ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეულის შეფასებას, საინტერესოა რომ სასაფლაოს მცენარეულის მიერ ღეროში შენახული ნახშირბადის რაოდენობა 1 ჰა-ზე (51.65 ტ/ჰა), მნიშვნელოვნად აღემატება „წითელი ბაღის“ ხეების ანალოგიურ სერვისს (38.33 ტ), თუმცა ჩამორჩება „ექსპო-ჯორჯიას“ ხეების მიერ შთანთქმულ და შენახულ რაოდენობას (62 ტ). ასეთი განსხვავებებისა და შედეგის ახსნა ნაწილობრივ შესაძლებელია იმით რომ ვაკის სასაფლაოზე, ხეები ფარავნ სასაფლაოს ტერიტორიის თითქმის 70%-ს (იხ. ცხრილი 16.), მაშინ როდესაც მცენარეული საფარი, გამოკვლეული

პარკების მთლიანი ფართობის დაახლ. 45-56%-ია. გარდა ამისა, შესწავლილი ტერიტორიების ფუნქციებიდან გამომდინარე, სასაფლაოებზე, ხეების სიხშირისა და სივრცის განსხვავებულად ორგანიზების გამო, ხე-მცენარეულის ზრდისათვის უფრო ხელსაყრელი და ბუნებასთან მიახლოებული პირობებია შექმნილი (გამჭოლი, არადახშული ზედაპირების მცირე წილი, ნარგავების სიხშირის გამო ჰაერისა და ნიადაგის მაღალი ტენიანობა და ზოგადად, ნაკლები ზეწოლა სასაფლაოს გარემოზე, სხვა). სასაფლაოს მცენარეულის უპირატესობა ასევე გამოჩნდა ჰაერიდან ნახშირბადის სეკვესტრირების ფართობის ერთეულზე დათვლილ მაჩვენებელშიც: „წითელი ბაღი“ (1.39 ტ/ჰა), „ექსპო ჯორჯია“ პარკი (1.47 ტ/ჰა) და „ვაკის სასაფლაო“ (2.05 ტ/ჰა).

როგორც ვხედავთ, თბილისის ერთი საქალაქო სასაფლაოს მცენარეულზე ჩატარებულმა მცირე ექსპერიმენტმა ნათლად გვიჩვენა მიწათსარგებლობის ამ ზონის (სპეციალური ზონა-2, „სასაფლაოები“ <sup>72</sup>) მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების მოცულობა და სავარაუდო ეკონომიკური ღირებულება (ღეროში შენახული 51.65 ტ ნახშირბადი/ჰა და შენახული ნახშირბადის ღირებულება \$ 6,872.13 აშშ დოლარი/ჰა, ჯამურად, მთელ პოლიგონზე: \$121,018.2 აშშ დოლარი) მნიშვნელოვანია.

თუ ვაკის სასაფლაოს ხე-მცენარეების ეკონომიკურ შეფასებას/ღირებულებას 1 ჰა-ზე (\$ 6,872.13 აშშ დოლარი), გამოვიყენებთ თბილისის შერჩეული 21 მსხვილი სასაფლაოს (ჯამური ფართობი: 517.07 ჰა) მცენარეულის იგივე სერვისის სავარაუდო შეფასებისთვის, მივიღებთ რომ სასაფლაოების მცენარეული, თავის სხეულში თბილისის ატმოსფერული ბალანსიდან დაახლ. 26,706 ტ ნახშირორჟანგს შთანთქავენ და ინახავენ, რაც მონეტარულ გამოსახულებაში დაახლ. 3.55 მილიონი აშშ დოლარის ღირებულების სერვისს შეადგენს.<sup>73</sup>

გასათვალისწინებელია კიდევ ერთი საკითხიც, მწვანე ურბანული სივრცეების განაწილება და ყველასთვის ხელმისაწვდომობა და ამ ბუნებრივი აქტივის ყველას მიერ

<sup>72</sup> ქ. თბილისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიების გამოყენებისა და განაშენიანების რეგულირების წესების დამტკიცების შესახებ, უნიციპალიტეტის საკრებულოს დადგენილება, დოკუმენტი #14-39, ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტი, 24/05/2016. ვებ-რესურსი:

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3292207?publication=0>

<sup>73</sup> 26,706 ტონა ნახშირბადი \* \$133.05 US = \$ 3,553,233.3 აშშ დოლარს.

გაზიარება, ბადებს გარემოსდაცვითი სამართლიანობის ეთიკურ საკითხებსაც, როგორებიცაა: მწვანე სივრცეების თანაბარი განაწილება და მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფებისთვის მისი ხელმისაწვდომობა (Selmi et al., 2020). თუმცა, ამ საკითხების კვლევა ჩვენი ნაშრომის მიზანს არ წარმოადგენდა და მას სხვა სახის კვლევა და კვლევის მეთოდოლოგია ჭირდება.

სამწუხაროდ, სოციალური და გარემოსდაცვითი სერვისები, რომლებსაც ურბანული პარკები თბილისის მოსახლეობას აწვდიან, სუსტად არიან შესწავლილი მათი ეკოლოგიური, ეკონომიკური, ესთეტიკურ-ფსიქოლოგიური, კულტურული და ზოგადად, ურბანისტული კუთხით. სამომავლოდ, ვფიქრობთ, აუცილებელი იქნება ისეთი საკვლევი საკითხების პრიორიტეტულად ჩამოყალიბება როგორებიცაა თბილისის დიდი ზომის პარკების (მთაწმინდის პარკი, თბილისის დენდროლოგიური პარკი) ეკოსისტემების სერვისების შესწავლა, ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურის არსებული მდგომარეობისა და მისი სამართლიანი განაწილება, მწვანე სივრცეების სამართლიანი დაგეგმარება და ხელმისაწვდომობა, სოციალური და გარემოსდაცვითი თანასწორობა და სამართლიანობა. ეს თემები პირდაპირ კავშირშია თბილისის მდგრადი განვითარების საკითხებთან და მათი შესწავლა საქართველოს კვლევითი ინსტიტუტებისა და უნივერსიტეტების ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა უნდა გახდეს.

## დასკვნები

- ქალაქის ურბანული მწვანე ინფრასტრუქტურა და პარკების ხეები ზოგადად, დიდ როლს თამაშობენ ქალაქში ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებაში, არბილებენ კლიმატის ცვლილებით გამოწვეულ უარყოფით ეფექტებს, დადებით გავლენას ახდენენ ქალაქის გარემოზე და ადამიანთა კეთილდღეობაზე. ლოკალურად, ქალაქების ტერიტორიებზე წარმოებული ეკოსისტემების სერვისებს დიდი გავლენა აქვთ ქალაქში საცხოვრებელი პირობების კომფორტულობაზე, ცხოვრების ხარისხზე და პარკების მიმდებარე რაიონებში უძრავის ქონების ფასებზე.

- ურბანული მწვანე მცენარეულის და ეკოლოგიური სისტემების დადებითი გავლენა და თვისებები კარგად არის ცნობილი, თუმცა ნაკლებად გამოიყენება მმართველობით გადაწყვეტილებებში, მიწათსარგებლობის პოლიტიკაში და კლიმატთან, ჯანმრთელობასთან და უსაფრთხოების საკითხებთან დაკავშირებულ ქმედებებში როგორ ქალაქის მუნიციპალურ, ისე - ადგილობრივი თვითმმართველობების დონეებზე. ურბანული ეკოსისტემების სერვისებისა და სიკეთების ოპტიმალური გამოყენებისთვის, აუცილებელია ქალაქებში (ამ შემთხვევაში, თბილისში) არსებული ყველა ნარგავისა და ზოგადად, მწვანე სივრცის სრული ინვენტარიზაცია. ეს საშუალებას მოგვცემს გავაანალიზოთ არსებული მდგომარეობა და დავსახოთ სამომავლო პერსპექტივები, რომლებიც დაგვეხმარებინან ქალაქის ეკოლოგიურ მდგრადობისა და ელსატიურობის გაუმჯობესებაში.

- ურბანული ეკოსისტემების სერვისების კვლევის შედეგად, რომელიც თბილისის ორ საქალაქო პარკში ჩატარდა, შესაძლებელი გახდა დაგვედგინა თბილისის საქალაქო პარკების ეკოსისტემების მიერ ქალაქისა და მისი მცხოვრებთათვის მიწოდებული სხვადასხვა სახის სერვისის მოცულობები და საერთაშორისო გამოცდილების საფუძველზე, შეგვეფასებინა ურბანული პარკების ეკონომიკური პოტენციალი. ეს სერვისები მოიცავს მრავალგვარ სერვისებს - ჰაერიდან ნახშირბადისა და ჰაერის სხვადასხვა დამაბინძურებელი აირების და ნაწილაკების შთანთქმას, კლიმატის რეგულაცია-შერბილებას, ნიაღვრული წყლების მოცულობის შემცირებას და ქალაქში კომფორტული საცხოვრებელი გარემოს შექმნას. კერძოდ, კვლევის შედეგად შეფასდა სერვისები, რომლებიც მოიცავენ ნახშირბადის შენახვას ხის ღეროში (ტონა/წელიწადში), ჰაერიდან ნახშირბადის სეკვესტრირებას (ტ/წელიწადში), მყარი ნაწილაკების (PM2.5 და PM10) შთანთქმას ჰაერიდან (კგ/წ), მიწისზედა ოზონის (O<sub>3</sub>-ის) შთანთქმას ჰაერიდან (კგ/წ), NO<sub>2</sub>-ის შთანთქმას ჰაერიდან (კგ/წ), SO<sub>2</sub>-ის შთანთქმას ჰაერიდან (კგ/წ), ზედაპირული ნიაღვრული წყლების შთანთქმას (მ<sup>3</sup>/წ) და ჰაერიდან ნახშირჟანგის (CO-ის) შთანთქმას (კგ/წ). კვლევის შედეგად დადგინდა რომ თბილისის



ორი პარკის მცენარეული საფარის ეკოსისტემების მიერ მოწოდებული სერვისების ჯამური ღირებულება შეადგენდა შემდეგს:

- „ექსპო ჯორჯიის“ და „წითელი ბაღის“ პარკების ხეებმა, 2018 წელს ჰაერიდან შთანთქმეს 4.6 და 4.7 ტ ნახშირორჟანგი (შესაბამისად), ხოლო ხეების სხეულში ინახავენ ნახშირბადის (C) შემდეგ რაოდენობებს (198.4 ტ და 126.5 ტ, შესაბამისად). ეს რაოდენობები შეესაბამება ატმოსფეროში ერთ წელიწადში 70-ზე მეტი მსუბუქი ავტომობილის მიერ ემიტირებულ ნახშირორჟანგს, ან 135,650 ლ ბენზინის დაწვას, ან თბილისში მცხოვრები 152 ოჯახის მიერ წლის განმავლობაში დახარჯულ ელექტროენერჯის ექვივალენტს (ეკოსისტემების სხვა სერვისების მოცულობების დეტალური მონაცემები ასახულია მე-12 ცხრილში).
- „ექსპო ჯორჯიას“ და „წითელი ბაღის“ ხეების მიერ ბიომასის სახით სხეულში „შენახული“ ნახშირბადის მიახლოებითი ღირებულება (\$133.05 აშშ დოლარი, ემიტირებული ნახშირბადის ყოველ ერთ ტონაზე), შეადგენდა დაახლოებით \$26,297 და \$16,830 (შესაბამისად) აშშ დოლარს; ერთი პირობითი ხე, 2018 წლისათვის, ამ პარკებში, „ინახავდა“ დაახლოებით \$38 („ექსპო-ჯორჯია,“) და \$16.3 („წითელი ბაღი“) აშშ დოლარის ღირებულების ნახშირბადს თავის სხეულში.

- კვლევის შედეგად და მონაცემების განზოგადების საშუალებით, შესაძლებელი გახდა დაგვედგინა და შეგვეფასებინა თბილისის 19 ურბანული პარკის (ჯამური ფართობით დაახლოებით 590 ჰა) მცენარეულის მიერ მოწოდებული ეკოსისტემების სერვისების დაახლოებითი მოცულობა და მოგვეხდინა მათი მოწოდებული სერვისების შეფასება. შეფასების შედეგად, შეგვიძლია დავასკვნათ რომ თბილისის შერჩეული ცხრამეტი ურბანული პარკის მიერ გაწეული სხვადასხვა სერვისის ღირებულება წელიწადში დაახლოებით \$ 4 მილიონ დოლარს აღწევს.

- საკვლევი პარკების ეკოსისტემების სერვისების კვლევის შედეგების გათვალისწინებით და მათი ექსტრაპოლაციით, შესაძლებელი გახდა დაგვეანგარიშებინა ეკოსისტემების სავარაუდო მოცულობა და ღირებულება,

რომლებიც გააჩნია თბილისის ყოფილი საწარმოო ტერიტორიებსა და დეგრადირებული ფართობებს (ე.წ. „ბრაუნფილდებს“, ჯამური ფართობით 800 ჰა-მდე), მათი „მწვანე კონვერსიის“ და მათზე მცენარეული საფარის განვითარებისა და გაშენების შემთხვევაში. შეფასების შედეგად, შეგვიძლია ვთქვათ რომ თბილისის ყოფილი საწარმოო ტერიტორიების („ბრაუნფილდების“) გამწვანების შემთხვევაში, ეკოსისტემების სერვისების ღირებულებამ, სამომავლოდ, შესაძლებელია წელიწადში დაახლოებით \$ 5.3 მილიონ დოლარი შეადგინოს.

- საკვლევი თემის ფარგლებში, მცირე ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად, შესაძლებელი გახდა შეგვეფასებინა ქალაქის კიდევ ერთი მწვანე რესურსის, საქალაქო სასაფლაოების ტერიტორიებზე არსებული მწვანე საფარის მიერ ქალაქისათვის მიწოდებული ეკოსისტემების სერვისების მოცულობა და დაგვედგინა მათი სავარაუდო ღირებულება. შეფასების შედეგად, შეგვიძლია ვთქვათ რომ თბილისის სასაფლაოების მწვანე საფარის მიერ ქალაქისათვის მიწოდებული ეკოსისტემების სერვისების ღირებულება, წელიწადში დაახლოებით \$ 3.5 მილიონ აშშ დოლარს შეადგენს.

- ჯამურად, თბილისის მწვანე სივრცეების ნაწილის მიერ მიწოდებული ეკოსისტემების სერვისების ღირებულება (პარკების, ბრაუნფილდების და სასაფლაოს მწვანე საფარის გათვალისწინებით) წელიწადში, შეადგენს დაახლოებით 12-13 მილიონ აშშ დოლარს, რაც თავისი მასშტაბით შეესაბამება და ხშირად აღემატება თბილისის 2018 წლის ბიუჯეტით გათვალისწინებულ ისეთ წლიურ საბიუჯეტო ხარჯებსა და კატეგორიებს, როგორებიცაა „გარემოს დაცვის ღონისძიებები“ (12.8 მილიონი ლარი), „ბიომრავალფეროვნება და ლანდშაფტის დაცვა“ (10.7 მილ. ლარი), „გარე განათების ხარჯები“ (18 მილ. ლარი), „შემოსულობა ძირითადი აქტივების გაყიდვიდან“ (15.9 მილ. ლარი), „ადგილობრივი მნიშვნელობის მუზეუმების განვითარება და პოპულარიზაცია“ (20.8 მილ. ლარი), „ახალგაზრდული ღონისძიებები“ (29.1 მილ. ლარი), „ქ. თბილისის მუნიციპალიტეტის სსიპ – თბილისის არქიტექტურის სამსახური<sup>74</sup> და სხვა.

<sup>74</sup> „ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის 2018 წლის ბიუჯეტის დამტკიცების შესახებ“, ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის საკრებულოს დადგენილება №6-8, 2017 წლის 15 დეკემბერი

- შესაბამისად, ვფიქრობთ, რომ საჭიროა ურბანული ეკოსისტემების სერვისების გავლენისა და მნიშვნელობის გათვალისწინება, მათი დეტალური შესწავლა ყველა დონეზე (ერთეულის, რაიონის, მუნიციპალიტეტის ან რეგიონის) და მათი შესაძლო ეკონომიკური ეფექტების შეფასება, შემდგომი ადმინისტრაციული თუ პოლიტიკური გადაწყვეტილებების მიღებისას

- ვფიქრობთ, აუცილებელია სავალდებულო გახდეს რომ „გამწვანებული ტერიტორიების“ (მაგალითად, ბულვარი, პარკი, ბაღი, სკვერი, გაზონი, სხვა ბუნებრივი ცენოზი), რომლის ფართობის არანაკლებ 70%-ზე დაცულია წყალგამტარიანობა (კ-3), დაგეგმვისას, გათვალისწინებულ იქნას ტერიტორიაზე ხე-მცენარეულისა და მწვანე ნარგავების სახეობების შერჩევა სპეციალისტების მიერ, აუცილებელი ეკოსისტემების სერვისების პოტენციალის გათვალისწინებით და ამ სერვისების ეკონომიკური შეფასებით. ეს, ქალაქის განვითარებისას, საშუალებას მოგვცემს სამეცნიერო ცოდნის გამოყენებით, ოპტიმალურად დაიგეგმოს ქალაქის სამომავლო მწვანე ინფრასტრუქტურა, მის მიერ მოწოდებული სხვადასხვა ეკოსისტემების სერვისების (ჰაერის ტემპერატურის ოპტიმიზაცია, ნიაღვრული წყლების მოცულობის შემცირება, ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესება, რეკრეაციული და სპორტული/გამჯანსაღებელი პირობების შექმნა, ტერიტორიული ერთეულების ესთეტიური გაუმჯობესება, ურბანული ეკოსისტემებში ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნება, სხვა) მაქსიმიზაციის მიზნით.

- ვფიქრობთ აუცილებელია სათანადო ყურდღება მიექცეს თბილისის ყოფილი სამრეწველო დანიშნულების, დეგრადირებული და ამჟამად გამოუყენებელი ტერიტორიების, ე.წ. „ბრაუნფილდების“ (სავრავდო ფართობით 800 ჰა) კონვერსიას და მათ ჩართვას ქალაქის მწვანე ინფრასტრუქტურის განვითარებაში. „ბრაუნფილდების“ ფართობების გამოყენება და მათზე ახალი მწვანე ტერიტორიების შექმნა, სამომავლოდ (20-30-წლიან პერსპექტივაში), მნიშვნელოვნად გაზრდის ქალაქში ეკოსისტემების სერვისების მოცულობას, თითქმის გააორმაგებს ერთ სულ მცხოვრებზე მწვანე

ნარგავების არსებულ ფართობს და ხელს შეუწყობს მწვანე ინფრასტრუქტურის შედარებით თანაბარ გადანაწილებას ქალაქის მჭიდრო განაშენიანების მქონე რაიონებში. ზოგადად, მწვანე ფართობების ზრდა, ყოფილ სამრეწველო რაიონებში, დიდად წაადგება ქალაქის ჰარმონიულ ურბანულ განვითარებას, იმის გათვალისწინებით რომ „ბრაუნფილდების“ გარშემო არსებული ტერიტორიების დიდი ნაწილი, მათი მიწათსარგებლობის ტიპიდან და ისტორიიდან გამომდინარე, ისედაც განიცდიან მწვანე ინფრასტრუქტურის ნაკლებობას.

- წინამდებარე კვლევაში პირველად საქართველოში, გამოვიყენეთ i-Tree Eco-ს მოდელი, რომელიც წარმატებით გამოიყენება გარემოსდაცვითი კვლევისა და მართვისათვის მსოფლიოს ასზე მეტ ქვეყანაში. წარმოდგენილი კვლევის შედეგად, ქ. თბილისის კლიმატური და ჰაერის დაბინძურების 2018 წლის საათობრივი მონაცემები უკვე ინტეგრირებულია i-Tree Eco-ს კვლევით პლატფორმაში, რაც ყველა მკვლევარს მისცემს საშუალებას, თავისუფლად გამოიყენოს აღნიშნული პლატფორმა, თბილისის ეკოსისტემების მეცნიერული შესწავლისათვის.

- ქალაქში არსებული პარკების ხე-მცენარეების (ურბანული ტყეების) მიერ უზრუნველყოფილი ეკოსისტემების სერვისების შესწავლა აუცილებელია ქალაქის მწვანე სივრცეებისათვის ხეების სახეობების სწორად შერჩევის, ხეებით სამომავლო გამწვანების და ტყეების გაშენების რაციონალური დაგეგმვისა და მართვისათვის, რაც ქალაქის მდგარი განვითარების და ურბანული ეკოსისტემების მდგრადობის ერთ-ერთ მთავარ შემადგენელ კომპონენტად განიხილება.

## გამოყენებული ლიტერატურა

ბატონიშვილი, ვ. (1904). *საქართველოს გეოგრაფია*, მოგზაური.

ბეროლუხი, ჯ. (2017). *ყოფილი საწარმოო ტერიტორიები („ბრაუნფილდები“) თბილისში*.  
<https://drive.google.com/drive/u/0/my-drive>

გაეროს განვითარების პროგრამა (UNDP) და გლობალური გარემოსდაცვითი ფონდი (GEF) (2021). *საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების შესახებ გაეროს ჩარჩო კონვენციისადმი*.  
[https://www.ge.undp.org/content/georgia/en/home/library/environment\\_energy/unfccc-fourth-national-communication.html](https://www.ge.undp.org/content/georgia/en/home/library/environment_energy/unfccc-fourth-national-communication.html)

ელიზბარაშვილი, ე. (2007). *საქართველოს კლიმატური რესურსები*, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი.

ვარდოსანიძე, ვ. (2015). *ქალაქის კონტურები: ურბანისტული ლექციები ბიოლის ფონდში*. სეზანი.

ფიქტეკ (n.d.). ვახუშტი ბატონიშვილის თბილისის ინტერაქტიული გეგმა 1735.  
<https://www.gegma.ge/>

ლალიძე, ნ. (2015) [ქალაქ თბილისის საპარკო-რეკრეაციული ლანდშაფტების ფორმირების რეტროსპექტული ანალიზი, სადოქტორო სემინარი].  
<https://gtu.ge/Arch/Pdf/Disertaciebi/nino%20lagidze%202.pdf>

მელქაძე, მ. (2012). თბილისის ლანდშაფტის პრობლემები სამართლებრივ და ბიოკლიმატურ კონტექსტში, არქიტექტურისა და ქალათმშენებლობის თანამედროვე პრობლემები, 2, 109-111.  
[https://gtu.ge/Arch/Pdf/Arch\\_gamocema\\_3.pdf](https://gtu.ge/Arch/Pdf/Arch_gamocema_3.pdf)

საქართველოს მთავრობა (2018) *ტექნიკური რეგლამენტი – ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის სტანდარტების დამტკიცების შესახებ*.  
[https://air.gov.ge/media/pages/%E1%83%B0%E1%83%90%E1%83%94%E1%83%A0%E1%83%98%E1%83%A1%83%AE%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%98%E1%83%A1%E1%83%AE%E1%83%98%E1%83%A1%E1%83%A2%E1%83%90%E1%83%9C%E1%83%93%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%A2%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%98\\_1qVvUMS.pdf](https://air.gov.ge/media/pages/%E1%83%B0%E1%83%90%E1%83%94%E1%83%A0%E1%83%98%E1%83%A1%83%AE%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%98%E1%83%A1%E1%83%AE%E1%83%98%E1%83%A1%E1%83%A2%E1%83%90%E1%83%9C%E1%83%93%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%A2%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%98_1qVvUMS.pdf)

საქართველოს საგარეო საქმეთა მინისტრი (2014). *ასოციირების შესახებ შეთანხმება ერთის მხრივ, საქართველოსა და მეორეს მხრივ, ევროკავშირს და ევროპის ატომური ენერჯის გაერთიანებას და მათ წევრ სახელმწიფოებს შორის*.  
<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2496959>

ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის საკრებულო (2017). *ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის 2018 წლის ბიუჯეტის დამტკიცების შესახებ*. <https://tbilisi.gov.ge/page/43>

ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის საკრებულო (2015). *ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის გარემოსდაცვითი სტრატეგიის დამტკიცების შესახებ*.

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2985711?publication=0>

ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტი (2019). *დედაქალაქის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის დამტკიცების შესახებ*. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4508064?publication=0>

ქალაქ თბილისის მიწათსარგებლობის გენერალური გეგმის საპროექტო მომსახურება (2017). *გადაწყვეტილი მიდგომები, მიწათსარგებლობა და საპროექტო გადაწყვეტები*, ტომი 4.

<https://droa.ge/wp-content/uploads/2017/07/%e1%83%a2%e1%83%9d%e1%83%9b%e1%83%98-4-%e1%83%92%e1%83%90%e1%83%93%e1%83%90%e1%83%ac%e1%83%a7%e1%83%95%e1%83%94%e1%83%a2%e1%83%98%e1%83%97%e1%83%98-%e1%83%9b%e1%83%98%e1%83%93%e1%83%92%e1%83%9d%e1%83%9b%e1%83%94%e1%83%91%e1%83%98.pdf>

შავდია გ. (1995) თბილისის გენერალური გეგმის ისტორია და მიმოხილვა, *ურბანი*, 18-24.

შარდენი, ჟ. (1935). *მოგ ზაურობა საქართველოში*. სახელმწიფო გამომცემლობა.

ხოსიტაშვილი, მ. (2018). *თბილისისა და მისი საგარეუბნო ზონის ეთნოდემოგრაფიული, სოციალური და სამეურნეო პრობლემები, მეოცე საუკუნის მეორე ნახევრიდან დღემდე*, [სადოქტორო დისერტაცია], საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტი. <http://dl.sangu.edu.ge/pdf/dissertacia/mkhositashvili.pdf>

Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28, 1203–1212.

<https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>

Alpaidze, L. & Pace, R. (2021). Ecosystem Services Provided by Urban Forests in the Southern Caucasus Region: A Modeling Study in Tbilisi, Georgia. *Climate*, 9 (11), 157. <https://doi.org/10.3390/cli9110157>

Amundson, R., Berhe, A.A., Hopmans, J.W., Olson, C., Sztein, A.E. & Sparks, D.L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348 (6235). 647-655.

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1261071>

Ascenso, A., Augusto, B., Silveira, C., Rafael, S., Coelho, S., Monteiro, A., Ferreira, J., Menezes, I., Roebeling, P., & Miranda, A. I. (2021). Impacts of nature-based solutions on the urban atmospheric environment: a case study for Eindhoven, The Netherlands. *Urban Forestry & Urban Greening*, 57, 1–3.

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126870>

Badiu D.L., Iojă C.I., Pătroescu M., Breuste J., Artmann M., Niță M. R., Grădinaru S. R., Hossu C. A. & Onose D. A. (2016). Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecological Indicators*. 70, 53-66.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.044>

Baldwin, E. (2018, December 3). *UNStudio Designs a City of the Future for The Hague*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/907063/unstudio-designs-a-city-of-the-future-for-the-hague>

Barwise, Y. & Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 3, 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>

Beatley, T. (2009). Biophilic Urbanism: Inviting Nature Back to Our Communities and Into Our Lives. *William & Mary Environmental Law and Policy Review*, 34 (209), 210-215. [https://www.researchgate.net/publication/241807159\\_Biophilic\\_Urbanism\\_Inviting\\_Nature\\_Back\\_to\\_Our\\_Communities\\_and\\_Into\\_Our\\_Lives](https://www.researchgate.net/publication/241807159_Biophilic_Urbanism_Inviting_Nature_Back_to_Our_Communities_and_Into_Our_Lives)

Beddoe, R., Costanza, R., Farley, J., Garza, E., Kent, J., Kubiszewski, I., Martinez, L., McCowen, T., Murphy, K., Myers, N., Ogden, Z., Stapleton, K. & Woodward, J. (2009). Overcoming systemic roadblocks to sustainability: the evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 106(8):2483-9. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812570106>

Berianidze, N., Javakhishvili, N., & Mtchedlishvili, A. (2019). About the possibility of using the “METEOR 735CDP10” radar for monitoring volcanic formations, dust storms and smoke from large fires in atmosphere in South Caucasus. *International Scientific Conference „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation “182–186*. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8667/1/43\\_Conf\\_NDG\\_2019.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8667/1/43_Conf_NDG_2019.pdf)

Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and urban planning*, 162, 167-177. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204617300464>

Biocca, M., Gallo, P., Di Loreto, G., Imperi, G., Pochi, D. & Fornaciari, L. (2019). Noise attenuation provided by hedges. *Journal of Agricultural Engineering*, 50, 113–119. <https://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/889>

Braat, L.C. & de Groot, R. (2012). The Ecosystem Services Agenda: Bridging the Worlds of Natural Science and Economics, Conservation and Development, and Public and Private Policy. *Ecosystem Services* 1(1):4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011> ,

Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem Services in Urban Areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)

Brenner, J., Jimenez, J.A., Sarda, R. & Garola, A. (2010). An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain. *Ocean & Coastal Management*, 53(1), 27-38. <https://doi.org/10.1016/j>

Breuste, J., Schnellinger, J., Qureshi, S., & Faggi, A. (2013). Urban Ecosystem services on the local level: Urban green spaces as providers. *Ekologia*, 32(3), 290–304. <https://doi.org/10.2478/eko-2013-0026>

Buckley, T. N. (2019). How do stomata respond to water status? *New Phytologist*. 224, 21–36. <https://doi.org/10.1111/nph.15899>

Hansen, R., Rolf, W., Pauleit, S., Born, D., Bartz, R., Kowarik, I., Lindschulte, K., Becker, C. W., & Schröder, A. (2018). *Urban Green Infrastructure. A foundation of attractive and sustainable cities. Pointers for municipal practice*. Bundesamt für Naturschutz. [https://www.researchgate.net/publication/325386874\\_Urban\\_Green\\_Infrastructure\\_A\\_foundation\\_of\\_a\\_ttractive\\_and\\_sustainable\\_cities\\_Pointers\\_for\\_municipal\\_practice?channel=doi&linkId=5b09cb9f0f7e9b1ed7f7d186&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/325386874_Urban_Green_Infrastructure_A_foundation_of_a_ttractive_and_sustainable_cities_Pointers_for_municipal_practice?channel=doi&linkId=5b09cb9f0f7e9b1ed7f7d186&showFulltext=true)

Cairns, J. & Palmer, S.E. (1995). Restoration of urban waterways and vacant areas: The first steps toward sustainability. *Environmental Health Perspectives*, 103 (5), 452–453. <https://doi.org/10.1289/ehp.95103452>

Calfapietra, C., Fares, S., Manes, F., Morani, A., Sgrigna, G. & Loreto, F. (2013). Role of Biogenic Volatile Organic Compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: A review. *Environmental Pollution*, 183, 71–80, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.012>

Catelbranco, A. & Turchanina, O. (2017). Sustainable Development, an intellectual framework. In *Proportion & Urbanism & Environment* (Castelbranco, A. & Turchanina, O. ed., pp. 7–9). ARCHI&BOOK'S.

Chen, L., Liu, C., Zhang, L. Zou, R. & Zhang, Z. (2017). Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>). *Scientific Reports*, 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03360-1>

Chiesura, A. & de Groot, R.S. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44, 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00275-6)

Churkina, G., Grote, R., Butler, T.M. & Lawrence, M. (2015). Natural selection? Picking the right trees for urban greening. *Environmental Science & Policy*. 47, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.014>

Clark, G. (2009). Contours of the World Economy, 1–2030 AD: Essays in Macro-Economic History. By Angus Maddison. Oxford: Oxford University Press, 2007. *The Journal of Economic History*, 69(4), 1156–1161. <https://doi.org/10.1017/s0022050709001442>

Cömertler, S. (2017). Greens of the European Green Capitals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, 052064. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/245/5/052064>



Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260, <https://doi.org/10.1038/387253a0> ,

Costanza, R. (1989). What is ecological economics? *Ecological Economics*, 1(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0921-8009(89)90020-7)

Coville, R., Endreny, T. & Nowak, D. J. (2020). Modeling the impact of urban trees on hydrology. In: Levia, D., Carlyle-Moses, D., Iida, S., Michalzik, B., Nanko, K., Tischer, A. eds. *Forest-water interactions*. Chapter 19, 459–487. Cham, Switzerland. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26086-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26086-6_19)

Crompton, J. L (2001). The Impact of Parks on Property Values: A Review of the Empirical Evidence. *Journal of Leisure Research*, 33:1, 1-31. <https://doi.org/10.1080/00222216.2001.11949928>

Daily, G. C. (2013). In *The Future of Nature, Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. (pp. 454-464). Yale University Press. <https://doi.org/10.12987/9780300188479-039>

Dominguez-Taylor, P., Ruiz-Suarez, L.G., Rosas-Perez, I., Hernandez-Solis, J.M. & Steinbrecher, R. (2007). Monoterpene and isoprene emissions from typical tree species in forests around Mexico City. *Atmospheric Environment*, 41 (13), 2780-2790. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.11.042>

Ehrlich, P. R. (1985). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Ballantine Books.

Ehrlich, P. R. & Mooney, H.A. (1983). Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. *BioScience*, 33, (4), 248–254. [www.jstor.org/stable/1309037](http://www.jstor.org/stable/1309037).

Endreny, T. A. (2018). Strategically growing the urban forest will improve our world. *Nature Communications*, 9, 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03622-0>

Endreny, T., Santagata, R., Perna, A. De Stefano, C., Rallo, R.F. & Ulgiati, S. (2017). Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing. *Ecological Modelling*, 360, 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.016> .

Endlicher, W., Langner, M., Hesse, M., Mieg, H. A., Kowarik, I., Hostert, P., Kulke, E., Nuetzmann, G., Schulz, M., van der Meer, E., Wessolek, G., & Wiegand, C. (2007). Urban Ecology - Definitions and Concepts. In *Shrinking Cities: Effects on Urban Ecology and Challenges for Urban Development* (pp. 2–8). Lange Verlag. [https://www.researchgate.net/publication/232906753\\_Urban\\_Ecology\\_-\\_Definitions\\_and\\_Concepts](https://www.researchgate.net/publication/232906753_Urban_Ecology_-_Definitions_and_Concepts)

Engels, F. (1950, January 1). *The part played by labour in the transition from ape to man*. STARS. <https://stars.library.ucf.edu/prism/610/>

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities': (full version)*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582>

European Commission, Directorate-General for Environment, (2021). *EU biodiversity strategy for 2030: bringing nature back into our lives*, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/048>

Fang, X., Fan, Q., Liao, Z., Xie, J., Xu, X. & Fan, S. (2019). Spatial-temporal characteristics of the air quality in the Guangdong–Hong Kong–Macau Greater Bay Area of China during 2015–2017. *Atmospheric Environment*, 210, 14–34. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.037>

Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T. N., Samson, R., & le Thiec, D. (2017). Carbon Sequestration by Urban Trees. *Future City*, 31–39. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4)

Fitzky, A.C.; Sandén, H., Karl, T., Fares, S., Calfapietra, C., Grote, R., Saunier, A. & Rewald, B. (2019). The Interplay Between Ozone and Urban Vegetation—BVOC Emissions, Ozone Deposition, and Tree Ecophysiology. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 1–17, <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00050>

Forsyth, A., & Musacchio, L. (2005). *Designing Small Parks: A Manual for Addressing Social and Ecological Concerns* (1st ed.). Wiley.

Gadrani, L., Lominadze G. & Tsitsagi, M. (2018). Assessment of landuse/landcover (LULC) change of Tbilisi and surrounding area using remote sensing (RS) and GIS. *Annals of Agrarian Science*, 16, Issue 2, 163-169, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.02.005> .

Gaprindashvili, G., Gaprindashvili, M., & Tsereteli, E. (2016). Natural Disaster in Tbilisi City (Riv. Vere Basin) in the Year 2015. *International Journal of Geosciences*, 7 (09), 1074–1087. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.79082>

Garcia-Nieto, A. P., Geijzendorffer, I.R., Baro, F.; Roche, P.K., Bondeau, A. & Cramer, W. (2018). Impacts of urbanization around Mediterranean cities: Changes in ecosystem service supply. *Ecological Indicators*, 91, 589–606, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.082>

Gómez-Baggethun E., Gren, Å., Barton, D.N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z. & Kremer, P. (2013). Urban Ecosystem Services. In: Elmqvist T. et al. (eds) *Urbanizaion, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*, 175-251, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11)

Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P.L. & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69 (6), 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>

Grantz, D. A., Gunn, N. S. & Vu, H. B. (2006). O<sub>3</sub> impacts on plant development: a meta-analysis of root/shoot allocation and growth. *Plant, Cell and Environment*, 29(7), 1193–1209.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01521.x>

*Gross Domestic Product (GDP) - National Statistics Office of Georgia*. (2021).  
<https://www.geostat.ge/en/>. Retrieved March 26, 2022, from  
<https://www.geostat.ge/en/modules/categories/23/gross-domestic-product-gdp>

Haase, D., Frantzeskaki, N. & Elmqvist, T. (2014). Ecosystem Services in Urban Landscapes: Practical Applications and Governance Implications. *AMBIO*, 43:407–412.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-014-0503-1>

Hansen, R., Rall, E., Chapman, E., Rolf, W. & Pauleit, S. (eds., 2017). *Urban Green Infrastructure Planning: A Guide for Practitioners*. GREEN SURGE. Retrieved from  
<http://greensurge.eu/working-packages/wp5/>

Harnik, P. & Welle, B. (2009). *Measuring the Economic Value of a City Park System*. *The Trust for Public Land*. <https://community-wealth.org/content/measuring-economic-value-city-park-system>

Heisler, G. M. (1986), Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture*, 12(5): 113-125,  
<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/34773>

Heisler, G.M. (1990) Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. *ASHRAE Transactions*, 96(1): 1389-1396, <https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/37282>

Hirabayashi, S. (2013, January 30). *iTree Eco*. <https://www.itreetools.org/>. Retrieved March 27, 2022, from <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>

Hoorweg, D., Sugar, L., & Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environment and Urbanization*, 23 (1), 207–227. <https://doi.org/10.1177/0956247810392270>

Hubacek, K. & Kronenberg, J. (2013) Synthesizing different perspectives on the value of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 109, Issue 1, 1-6,  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.010> . Accessed 24.11.2021

International Organization for Migration (IOM). (2015). *WORLD MIGRATION REPORT 2015, Migrants and Cities: New Partnerships to Manage Mobility*.  
<https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbd1486/files/country/docs/syria/IOM-World-Migration-Report-2015-Overview.pdf>

i-Tree. (2022, March). *About i-Tree*. Retrieved January 26, 2022, from <https://www.itreetools.org/about>

Jasmani, Z. (2013, June). *Small urban parks and resilience theory: how to link human patterns and ecological functions for urban sustainability* [Review of *Small urban parks and resilience theory: how to link human patterns and ecological functions for urban sustainability*]. <https://People.utm.my/>; An interdisciplinary PhD course in Stockholm.

[https://people.utm.my/zanariahjasmani/files/2012/10/Urban-parks-and-resilience-theory\\_zanariah.pdf](https://people.utm.my/zanariahjasmani/files/2012/10/Urban-parks-and-resilience-theory_zanariah.pdf)

Kabisch, N., Haase, D., Elmqvist, T. & McPhearson, T. (2018). Cities Matter: Workspaces in Ecosystem-Service Assessments with Decision-Support Tools in the Context of Urban Systems. *BioScience*, *68* (3), 164–166. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix153>

Kabisch N., Strohbach M., Haase D. & Kronenberg J. (2016) Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*, *70*, 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.029>

Kiss, M., Takács, A., & Gulyás, Á. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, *23* (3), 36-46. <https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0016>

Kochladze, M. (2018, June). *Ambient Air Pollution in Georgia - Challenges of European Integration*. <https://Osgf.Ge/>. <https://osgf.ge/wp-json/wi/validate/v1/file?wifile=wp-content/uploads/2018/09/Angarishi-A4-Air-ENG.pdf>

Kosiba, A. (2015). *Key Findings from i-Tree Report City of Winooski*, Vermont, Winooski Natural Resources Conservation District, [https://www.uvm.edu/femc/attachments/project/999/reports/2014\\_Winooski\\_i-Tree\\_KeyFindings.pdf](https://www.uvm.edu/femc/attachments/project/999/reports/2014_Winooski_i-Tree_KeyFindings.pdf).

Kremer, P., Hamstead, Z., Haase, D., McPhearson, T., Frantzeskaki, N., Andersson, E., Kabisch, N., Larondelle, N., Rall, E. L., Voigt, A., Baró, F., Bertram, C., Gómez-Baggethun, E., Hansen, R., Kaczorowska, A., Kain, J.-H., Kronenberg, J., Langemeyer, J., Pauleit, S., Rehdanz, K., Schewenius, M., van Ham, C., Wurster, D. & Elmqvist T. (2016). Key insights for the future of urban ecosystem services research. *Ecology and Society*, *21*(2):29, 1-11. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08445-210229>

Kristensen, P. (2004). *The DPSIR Framework, Paper presented at the workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach*, UNEP Headquarters, Kenya, Nairobi. <https://wwz.ifremer.fr/dce/content/download/69291/913220/.../DPSIR.pdf>

Kuehler, E., Hathaway, J. & Tirpak, A. (2017). Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. *Ecohydrology*, *10*(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eco.1813>

Kwak, M.J., Lee, J., Kim, H., Park, S., Lim, Y., Kim, J.E., Baek, S.G., Seo, S.M., Kim, K.N. & Woo, S.Y. (2019). The Removal Efficiencies of Several Temperate Tree Species at Adsorbing Airborne Particulate Matter in Urban Forests and Roadsides. *Forests*, *10*, 960. <https://doi.org/10.3390/f10110960>

- Laforteza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, C. (2013). Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 102–108. <https://doi.org/10.3832/ifor0723-006>
- Lemke, P., Ren, J., Alley, R. B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R. H., & Zhang, T. (2007). *Chapter 4: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground - AR4 WGI*. [https://Archive.Ipcc.Ch/](https://archive.ipcc.ch/). [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch4.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch4.html)
- Li, J. & Zhou, Z.X. (2016). Natural and human impacts on ecosystem services in Guanzhong - Tianshui economic region of China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6803–6815. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5867-7>
- Lin, J., Kroll, C. N. & Nowak, D. J. (2021). An uncertainty framework for i-Tree eco: A comparative study of 15 cities across the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127062, 3-7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S161886672100087X>
- Lin, J., Kroll, C.N. & Nowak, D.J. (2020). Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture and Urban Forestry*, 46(4): 287–306. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/62066>
- Lindsey, L. (2020, August 14). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide* / NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- Lindsay, L., & Scott, M. (2020, September 8). *Climate Change: Arctic sea ice summer minimum* / NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-arctic-sea-ice-summer-minimum>
- Lovell, S., & Johnston, D. (2009, May 21). *Designing landscapes for performance based on emerging principles in landscape ecology*. *Ecology and Society*, 14(1): 44. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art44/>
- Maes, J., Zulian, G., Günther, S., Thijssen, M., & Raynal, J. (2019, February). *Enhancing Resilience of Urban Ecosystems through Green Infrastructure (EnRoute): final report*. Publications Office. European Commission. <https://doi.org/10.2760/689989>
- Manning, P. (2018, 26 October). *The City of Gardens: Three Garden Heterotopias of Old Tbilisi*. [PowerPoint slides] Ilia State University. Tbilisi. <https://iliauni.edu.ge/en/siaxleebi-8/gonisdziebebi-346/public-lecture-by-paul-manning-the-city-of-gardens-three-garden-heterotopias-of-old-tbilisi.page>
- Martínez-Bravo M. & Martínez-del-Río J. (2020). Urban Pollution and Emission Reduction. In: Leal Filho W., Marisa Azul A., Brandli L., Gökçin Özuyar P., Wall T. (eds) *Sustainable Cities and Communities. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95717-3\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95717-3_30)

McCarthy, M. P., Best, M. J. & Betts, R. A. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37 (9), 1-5. doi:[10.1029/2010GL042845](https://doi.org/10.1029/2010GL042845)

McPhearson, P. T. (2011). Toward a Sustainable New York City: Greening through Urban Forest Restoration. In: Slavin M.I. (eds) *Sustainability in America's Cities*, 181-203, Island Press. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-028-6\\_9](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-028-6_9)

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Minister of environmental protection and agriculture of Georgia (2019). *National Report on the State of the Environment of Georgia 2014-2017*. <https://mepa.gov.ge/En/Files/Download/35552>

Morani, A., Nowak, D., Hirabayashi, S., Guidolotti, G., Medori, M., Muzzini, V., Fares, S., Scarascia Mugnozza, G. & Calfapietra, C. (2014). Comparing i-Tree modeled ozone deposition with field measurements in a periurban Mediterranean forest. *Environmental Pollution*, 195, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.08.031>

Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2016). The Urban Environment Can Modify Drought Stress of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests*, 7(12), 71. <https://doi.org/10.3390/f7030071>

National Statistics Office of Georgia. (2018). (publication). *NATURAL RESOURCES OF GEORGIA AND ENVIRONMENTAL PROTECTION 2017*. Retrieved January 7, 2022, from [https://www.geostat.ge/media/21022/Environment\\_2017.pdf](https://www.geostat.ge/media/21022/Environment_2017.pdf).

Nielsen, A.B., van den Bosch, M., Maruthaveeran, S. & van den Bosch, C.K. (2014). Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosystems*, 17, 305-327. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0316-1>

Nowak, D. J. (2020). *Understanding i-Tree: summary of programs and methods*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200>

Nowak, D. J., Bodine, A. R., Hoehn, R. E., III, Ellis, A., Hirabayashi, S., Coville, R., Novem Auyeung, D.S., Sonti, N. F., Hallett, R. A., Johnson, M. L., Stephan, E., Taggart, T. & Endreny, T. (2018). *The urban forest of New York City*. Resource Bulletin NRS-117. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/57234>

Nowak, D. J., Bodine, A. R., Hoehn, R. E., Edgar, C. B., Riley, G., Hartel, D. R., Dooley, K. J., Stanton, S. M., Hatfield, M. A., Brandeis, T. J., & Lister, T. W. (2017). *Houston's Urban Forest*, 2015. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. <https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/54109>



Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A. & Hoehn, R.E. (2013). Modeled PM<sub>2.5</sub> removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395–402.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.050>

Nowak, D.J., Walton, J.T. Stevens, J.C.; Crane, D. E. & Hoehn, R.E. (2008). Effect of plot and sample size on timing and precision of urban forest assessments. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6): 386–390.

<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/19550>

Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems.

*Urban and Community Forestry in the Northeast*, 25–46. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2)

Nowak, D.J., Crane, D.E. & Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>

Nowak, D.J. & Crane, D.E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA.

*Environmental Pollution*, 116, 381–389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

Ostoić, S. K., Salbitano, F., Borelli, S. & Verlič, A. (2018). Urban forest research in the Mediterranean: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 185–196.

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.005> ,

Pace, R., Masini, E., Giuliarelli, D., Biagiola, L., Tomao, A., Guidolotti, G., Agrimi, M., Portoghesi, L., de Angelis, P., & Calfapietra, C. (2022). Tree Measurements in the Urban Environment: Insights from Traditional and Digital Field Instruments to Smartphone Applications. *Arboriculture & Urban Forestry*, 48(2), 113–123.

<https://doi.org/10.48044/jauf.2022.009>

Pace, R., Guidolotti, G., Baldacchini, C., Pallozzi, E., Grote, R., Nowak, D. J., & Calfapietra, C. (2021). Comparing i-Tree Eco Estimates of Particulate Matter Deposition with Leaf and Canopy Measurements in an Urban Mediterranean Holm Oak Forest. *Environmental science & technology*, 55(10), 6613–6622.

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.0c07679>

Pace, R., De Fino, F., Rahman, M.A., Pauleit, S., Nowak, D.J. & Grote, R. (2021). A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees. *International Journal*

*Biometeorology*, 65, 277–289. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02030-8>

Pace, R. & Grote, R. (2020). Deposition and Resuspension Mechanisms Into and From Tree Canopies: A Study Modeling Particle Removal of Conifers and Broadleaves in Different Cities. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 26.

<https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00026>

Pace, R., Biber, P., Pretzsch, H. & Grote, R. (2018). Modeling ecosystem services for park trees:

Sensitivity of i-tree eco simulations to light exposure and tree species classification. *Forests*, 9, 1–18.

<https://doi.org/10.3390/f9020089>

- Pakzad, P., & Osmond, P. (2016). Developing a Sustainability Indicator Set for Measuring Green Infrastructure Performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.009>
- Pataki, D.E. (2015) Grand challenges in urban ecology, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3 (57). <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00057>
- Pendrill, F., Persson, M. U., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S. & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, 56, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002> .
- Rahman, M. A., Moser, A., Anderson, M., Zhang, C., Rötzer, T. & Pauleit, S. (2019a). Comparing the infiltration potentials of soils beneath the canopies of two contrasting urban tree species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.002>
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T. & Pauleit, S. (2019b). Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. *Urban Ecosystems*, 22, 683–697. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00853-x>
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions. *Building and Environment*, 114, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.013>
- Rogers, K., Goodenough, J., Frediani, K. & Watson, J. T. (2018). *Hyde Park Tree Benefits*. The Royal Parks. <https://www.itreetools.org/documents/350/TreeconomicsHydeParkReport.pdf>
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. (2015). *VALUING LONDON'S URBAN FOREST*. Retrieved March 27, 2022, from <https://www.treeconomics.co.uk/wp-content/uploads/2018/08/London-i-Tree-Report.pdf>
- Rötzer, T., Rahman, M.A., Moser-Reischl, A., Pauleit, S. & Pretzsch, H. (2019). Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. *Science of the Total Environment*, 676, 651–664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.235>
- Saarikoski, H., Primmer, E., Saarela, S-R., Antunes, P., Aszalos, R., Baro, F., Berry, P., Blanco, G. G., Gomez-Baggethun, E., Carvalho, L., Dick, J., Dunford, R., Hanzu, M., Harrison, P.A., Izakovicova, Z., Kertesz, M., Kopperoinen, L., Köhler, B., Langemeyer, J., Lapola, D., Liqueste, C., Luque, S., Mederly, P., Niemelä, J., Palomo, I., Martinez Pastur, G., Peri, P. L., Preda, E., Priess, J. A., Santos, R., Schleyer, C., Turkelboom, F., Vadineanu, A., Verheyden, W., Vikström, S. & Young, J. (2018). Institutional challenges in putting ecosystem service knowledge in practice. *Ecosystem Services*, 29, 579-598. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.019>
- Salukvadze, J. & Golubchikov, O. (2016). City as a geopolitics: Tbilisi, Georgia—A globalizing metropolis in a turbulent region. *Cities*, 52, 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.11.013>



Selmi, W., Selmi, S., Teller, J. Weber, C., Rivière, N. & Nowak, D. (2020). Prioritizing the provision of urban ecosystem services in deprived areas, a question of environmental justice. *Ambio*, 50, 1035–1046. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01438-1>

Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L. & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>

Sicard, P., Agathokleous, E., Araminiene, V., Carrari, E., Hoshika, Y., De Marco, A. & Paoletti, E. (2018). Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities? *Environmental Pollution*, 243, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.049>

Simpson, G. B. & Jewitt, G. P. W. (2019). The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 7 (8), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>

European Commission. (n.d.). *Air Quality Standards* - <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

Stępniewska, M. (2016). Ecosystem Service Mapping and Assessment as a Support for Policy and Decision Making. *Clean Soil Air Water*, 44 (10), 1414-1422. <https://doi.org/10.1002/clen.201500777>

Sukopp, H. (1998). Urban Ecology — Scientific and Practical Aspects. In: Breuste J., Feldmann H., Uhlmann O. (eds). *Urban Ecology*, 3-16. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-88583-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-88583-9_1)

Tan, X., Hirabayashi, S., & Shibata, S. (2021). Estimation of Ecosystem Services Provided by Street Trees in Kyoto, Japa. *Forests*, 12(3), 311. <https://doi.org/10.3390/f12030311>

Taubenböck H., Reiter M., Dosch F., Leichtle T., Weigand M., M. & Wurm M. (2021). Which city is the greenest? A multi-dimensional deconstruction of city rankings. *Computers, Environment and Urban Systems*, 89, 101687. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101687>

Tbilisi City Hall, Economic Development Office. (2018). *Tbilisi in figures*. Tbilisi City Hall. <https://tbilisi.gov.ge/img/original/2018/6/12/tbilisiinfigures.pdf> .

Tobi, H., & Kampen, J. K. (2018). Research design: the methodology for interdisciplinary research framework. *Quality & quantity*, 52(3), 1209-1225. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-017-0513-8>

Turkelboom, F., Leone, M., Jacobs, S., Kelemen, E., Garcia-Llorente, M., Baro, F., Termansen, M., Barton, D.N., Berry, P., Stange, E., Thoonen, M., Kaloczkai, A., Vadineanu, A., Castro, A.J., Czucz, B., Röckmann, C., Wurbs, D., Odee, D., Preda, E., Gomez-Baggethun, E., Rusch, G. M., Martinez Pastur, G., Palomo, I., Dick, J., Casaer, J., van Dijk, J., Priess, J. A., Langemeyer, J., Mustajoki, J., Kopperoinen, L., Martin J. B., Peri, P. L., Mukhopadhyay, R., Aszalos, R., S.B. Roy, Luque, S. & Rusch, V. (2018).

When we cannot have it all: Ecosystem services trade-offs in the context of spatial planning. *Ecosystem Services*, 29, 566-578. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.011>

UNFCCC Georgia (2019) *Georgia's Second Biennial Update Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change*.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2019.06.13\\_BUR2\\_2019\\_Eng.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2019.06.13_BUR2_2019_Eng.pdf)

UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*.  
<https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division. (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights* (ST/ESA/SER.A/421). United Nations.  
[https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Feb/un\\_2018\\_wup\\_highlights.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Feb/un_2018_wup_highlights.pdf)

United Nations. (2017). *NEW URBAN AGENDA*. UN Habitat III Secretariat.  
<http://uploads.habitat3.org/hb3/NUA-English-With-Index-1.pdf>

Unterweger, P., Schrode, N. & Betz, O. (2017). Urban Nature: Perception and Acceptance of Alternative Green Space Management and the Change of Awareness after Provision of Environmental Information. A Chance for Biodiversity Protection. *Urban Science*, 1(3), 24.  
<https://doi.org/10.3390/urbansci1030024>

Violet-Chabrand, S., Matthews, J., McAusland, L., Blatt, M. R., Griffiths, H., & Lawson, T. (2017). Temporal Dynamics of Stomatal Behavior: Modeling and Implications for Photosynthesis and Water Use. *Plant physiology*, 174 (2), 603–613. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00125>

Wan, L., Ye, X., Lee, J., Lu, X., Zheng, L. & Wu, K. (2015). Effects of urbanization on ecosystem service values in a mineral resource-based city. *Habitat International*, 46, 54–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.020>

Wang, B., Zhang, Q. & Cui, F. (2021). Scientific research on ecosystem services and human well-being: A bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 125, 107449.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107449>

Westman, W.E. (1977). How Much Are Nature's Services Worth? *Science*, 197, Issue 4307, 960-964.  
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.197.4307.960>

Zwierzchowska, I. (2017). Urban ecosystems services – Assessment of potential at different spatial scale: an example of Poznan, General environmental and social problems. *Ekonomia i Środowisko*, 1 (60), 208-2011. [https://www.researchgate.net/publication/316286461\\_URBAN\\_ECOSYSTEM\\_SERVICES\\_-\\_ASSESSMENT\\_OF\\_POTENTIAL\\_AT\\_THE\\_DIFFERENT\\_SPATIAL\\_SCALE\\_AN\\_EXAMPLE\\_OF\\_POZNA](https://www.researchgate.net/publication/316286461_URBAN_ECOSYSTEM_SERVICES_-_ASSESSMENT_OF_POTENTIAL_AT_THE_DIFFERENT_SPATIAL_SCALE_AN_EXAMPLE_OF_POZNA)

Сванидзе Г. Г., Папинашвили, Л. К. (1992). *Климат Тбилиси*. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат.  
(Svanidze G.G. & Papinashvili, K.K. (1992). *The Climate of Tbilisi*. Sankt-Petergurg. Hidrometeoizdat.