

ივანე ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ელენე გვაზავა

„მწვანე ქიმია“
დოქტორანტის სემინარი II

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:
ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი, საქართველოს მეცნიერებათა
ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი
ბეჟან ჭანკვეტაძე

თბილისი 2019

აბსტრაქტი

ფარმაცევტული წარმოების როლი ჩვენს ცხოვრებაში დიდია. გაზრდილი ფარმაცევტული წარმოება მოითხოვს გამხსნელების მოხმარების გაზრდილ რაოდენობას, რასაც დიდი გავლენა აქვს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე. ფარმაცევტული კომპანიები კი განსაკუთრებული გამოწვევების წინაშე დგას.

ქიმიურმა წარმოებამ ეკოლოგიური ცვლილებები განიცადა. „მწვანე ქიმიის“ , ან „მდგრადი განვითარების“ კონცეფცია, გახდა უფრო მნიშვნელოვანი ვიდრე მანამდე. ეს ნაშრომი მოიცავს მედიკამენტების წარმოების პროცესების უფრო მდგრადად, ეფექტურად და ნაკლები დაბინძურებით განვითარების მიმოხილვას.

ABSTRACT

The role of pharmaceutical industry is obvious in our lives. Increased pharmaceutical production requires consumption of vast amount of solvents, which has big ecological footprint, and the challenges facing pharmaceutical companies are unique.

Chemical industry experiences ecological challenges, the concept of Green Chemistry (also called Environmentally Benign Chemistry), or Sustainable Development, become more important than before. This work presents a review on the current status of the production process going more sustainable and developing more efficient, less polluting processes amongst pharmaceutical production.

1. შესავალი

მიუხედავად იმისა, რომ სწრაფად განვითარებადი ქიმიური წარმოება ადამიანების ყოველდღიურობას ავსებს, ის ასევე ტოვებს დიდ კვალს გარემოზე. აუცილებელია, რომ ეს გავლენა შემცირდეს. ფრაზა - „გარემოსთან მეგობრული“ (environmentally friendly) გახდა უფრო ხშირად გამოყენებადი და მნიშვნელოვანი.

ტერმინი - „მწვანე ქიმიის“ წარმოშობა დაკავშირებულია „Responsible Care®“-თან (ქიმიური ასოციაციის საერთაშორისო საბჭო) [1] და „Brundtland report“-თან (გარემოს და განვითარების მსოფლიო კომისია) [2]. კონცეფციას დასრულებული და სრულყოფილი სახე მიეცა დაბინძურების პრევენციის აქტით (რომელიც დამტკიცდა ამერიკულ კონგრესზე [3]) და, ასევე, ანასტას და ვარნერის „მწვანე ქიმიის 12 პრინციპის“ შექმნით [4,5].

ზოგადად, მწვანე ქიმია შეიძლება მოვიაზროთ მეცნიერულ და ეკონომიკურ კონტექსტში, სადაც მეცნიერება, წარმოება და სახელმწიფო აეთიანებს ძალებს მდგრადი ცივილიზაციის განვითარებისათვის. ამასთანავე, ასეთი შედეგის მისაღწევად სხვადასხვა ქიმიკოსთა ჩართულობა, ცხადია, გარდაუვალია.

ამ ნაშრომში მწვანე ქიმიის მიღწევები „მწვანე“ გამხსნელებისა და კატალიზატორების გამოყენების მიმართულებით იქნება განხილული ფარმაცევტულ წარმოებაში. ინტერესს ამ შემთხვევაში მოხმარებული გამხსნელების რაოდენობა იწვევს.

მედიკამენტების წარმოება დაფუძნების დღიდან ცვლილებებს განიცდის. ყოველდღიურად აღმოაჩენენ, იღებენ და ამუშავებენ მეტ და მეტ წამალს პაციენტებისათვის. ასეთ სარგებლიანობასთან ერთად, ქიმიური ნივთიერებების მდგრადი და ეფექტური წარმოება ნაკლები ზიანით გარემოზე რთულ პრობლემად რჩება.

გამოწვევები, რომელთა წინაშეც დღეს წარმოება დგას, მოითხოვს ახალი პროცესების განვითარებას - ეკონომიურად ხელსაყრელისა და ამავედროულად „მწვანეს“ [17].

2. მწვანე ქიმია

2.1. განმარტებები და ამოცანები

ამერიკის შეერთებული შტატების გარემოს დაცვის სააგენტოს განმარტების მიხედვით (United States Environmental Protection Agency (US EPA)), მწვანე ქიმია არის ქიმია, რომელის დროსაც ქიმიური პროცესები და ნივთიერებების წარმოება ხდება გარემოზე ზიანის გარეშე, ანუ, დაბინძურებისაგან თავის არიდებით. [3]. ქიმიური პროდუქტები უნდა იქნას მიღებული გარემოში დარჩენის გარეშე და გარემოსათვის უსაფრთხო კომპონენტებად დაშლით.

ისეთი დანაზოგები, როგორცაა - ეფექტური სინთეზი „ეგზოტიკური“ რეაგენტების გარეშე, ენერჯის მოხმარების შემცირება, ორგანული გამხსნელების წყლით ჩანაცვლება, ძალიან მნიშვნელოვანია ლაბორატორიულ დონეზე, რადგან მას შეუძლია მილიონების დანაზოგის გაკეთება წარმოების მასშტაბების შემთხვევაში.

მწვანე ქიმია არ არის გამოყოფილი ცალკეულ მეცნიერულ მიმართულებად, მაგრამ ის ინტერდისციპლინური მეცნიერული მიღწევაა, რომელსაც საფუძვლად უდევს ქიმიური, ეკოლოგიური და სოციალური პასუხისმგებლობა.

2.2 მწვანე ქიმიის 12 პრინციპი

წინამდებარე საუბრიდან გამომდინარე, გამოჩნდა, რომ არსებობს მწვანე ქიმიის განსაზღვრული ძირითადი პრინციპები. 1998 წელს, პაულ ანასტასმა და ჯონ ქ. ვარნერმა გამოაქვეყნეს წიგნი - მწვანე ქიმია: თეორია და პრაქტიკა (Green Chemistry: Theory and Practice), სადაც გამოყვეს მწვანე ქიმიის 12 პრინციპი. სწორედ იმ დროიდან, ის მეცნიერების სახელმძღვანელოს წარმოადგენს მსოფლიოს მასშტაბით [4].

2.2.1. ნარჩენების პრევენცია

ყველა ადამიანს, რომელსაც გადაუქცევია საჭმლით სავსე კონტეინერი იატაკზე, კარგად იცის, რომ სჯობს არ დააბინძურო, ვიდრე ყველაფერის გაწმენდა მოგიწიოს, როდესაც უკვე დაბინძურებულია. ამ პრინციპს თუ მივუსადაგებთ მწვანე ქიმიას, მივიღებთ ძირითად კანონს ნარჩენების პრევენციის შესახებ. დაბინძურების თავიდან აცილება ბევრად მარტივია, ვიდრე მისი დალაგება. ამ მარტივი პრინციპისაგან გადახვევა იწვევს ყველაზე დიდ პრობლემებს მავნე ნარჩენების სახით მსოფლიოში.

2.2.2. ატომის ეკონომია

ნარჩენების დაგროვებისაგან თავის არიდების ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ გზას წარმოადგენს იმაში დარწმუნება, რომ ის ნივთიერებები, რომლებიც აღებული იყო სარეაქციოდ, მაქსიმალურად სრულად გარდაიქმნება პროდუქტად. ამიტომაც, მწვანე ქიმიის პრაქტიკა მეტადაა ორიენტირებული საწყისი მასალის პროდუქტში გადასვლაზე, თუკი, რა თქმა უნდა, ეს შესაძლებელია.

ამ პრინციპზე დაფუძნებით გამოქვეყნებულ იქნა უამრავი შრომა. ბარი ტროსტმა სტენდფორდის უნივერსიტეტიდან გამოაქვეყნა ატომის ეკონომიის კონცეფცია მეცნიერებაში (1991 წელი) [6]. 1998 წელს, მან მიიღო პრეზიდენტის ჯილდო (“Presidential Green Chemistry Challenge Award”) [7].

ტროსტმა განავითარა პალადიუმისა და რუთენიუმის კატალიზატორი, რომელმაც შესაძლებლობა მოგვცა სინთეზის პროცესები მარტივი რეაქციებით წარმართულიყო [8].

2.2.3. ნაკლებად მავნე ქიმიური სინთეზი

ისეთი ნივთიერებების გამოყენება და წარმოება, რომლებიც ზიანს მიაყენებს ადამიანსა და გარემოს უნდა იქნას თავიდან აცილებული. ასეთი ნივთიერებები იწვევს ჯანმრთელობის პრობლემებს დასაქმებულთა შორისაც. ისინი, ძირითადად, ჰაერის, წინადაგის ან წყლის დამაბინურებლები ხდებიან და ზიანს აყენებს გარემოს ან ცოცხალ ორგანიზმებს გარემოში. აი, სწორედ, აქ არის კავშირი მწვანე და გარემოს ქიმიას შორის ყველაზე მყარი.

ქიმიკატები და ნივთიერებები, რომლებიც გამოიყენება ქიმიური გარდაქმნებისათვის ძალიან მნიშვნელოვანია. სწორედ ამიტომ, ქიმიკოსებმა მეტი ყურადღება უნდა მიაქციონ იმას, თუ რას ათავსებენ კოლბაში. ძალიან მარტივია დავივიწყოთ სხვა ყველაფერი და მთელი ჩვენი ენერჯია დავუთმოთ სინთეზის გზას სასურველი პროდუქტის მიღებამდე, მაგრამ, როდესაც დავივიწყებთ ზუსტად ამ „სხვა ყველაფერს“ გვიწევს ბევრად დიდი საფასურის გადახდა.

ხშირად, ქიმიკოსები მაინც აწარმოებენ ტოქსიკური, ან სხვა მავნე მოქმედების მქონე მოლეკულებს. ამიტომ, სწორედ უსაფრთხო მოლეკულების წარმოებასთანაა დაკავშირებული შემდეგი პრინციპი.

2.2.4. მეტად უსაფრთხო ქიმიური ნივთიერებების შექმნა

ქიმიური ნივთიერებები აუცილებელია იყოს მეტად ეფექტური თავისი დანიშნულებისამებრ, მაგრამ მინიმალური ტოქსიკურობით. ამ შედეგის მისაღწევად საჭიროა არა მხოლოდ ქიმიის ცოდნა, მაგრამ, ასევე, ტოქსიკოლოგიური პრინციპებისა და გარემოს მეცნიერებების კარგად გაცნობა. ხშირად, მაღალი რეაქციის უნარის მქონე ქიმიკატები გამოიყენება მოლეკულური გარდაქმნებისათვის, მაგრამ მათ, ასევე, მარტივად შეუძლიათ რეაქციაში შესვალა ბიოლოგიურ ნაწილებთან, რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს გვერდითი ეფექტები.

2.2.5. მეტად უსაფრთხო გამხსნელები და დამხმარეები

ქიმიური სინთეზი, ისევე, როგორც ბევრი საწარმოო ოპერაცია, იყენებს დამხმარე ნივთიერებებს, რომლებიც არ გარდაიქმნებიან საბოლოო პროდუქტად. ქიმიური სინთეზის დროს ასეთ ნივთიერებებს უმეტესწილად გამხსნელები წარმოადგენენ, სადაც ქიმიური რეაქცია მიმდინარეობს. მეორე მაგალითს წარმოადგენს ნარევეების დაყოფა, რასაც შეიძლება მოყვეს ნარჩენის სახით ნივთიერებების გამოყოფა. ამან, ხშირ შემთხვევაში, მავნე ეფექტები შეიძლება გამოიწვიოს. დამხმარე ნივთიერებების გამოყენებათა რიცხვი მინიმუმამდე უნდა იქნას დაყვანილი და, შემდეგისდაგვარად, სრულად თავიდან არიდებული.

დადგენილია, რომ გამხსნელებს მასის 50-80 პროცენტი უკავია სტანდარტულ ქიმიურ ოპერაციაში წყლის შემცველობაზე დამოკიდებულებით [9].

2.2.6. ენერჯის ეფექტურობა

ენერჯის დაზოგვა ამცირებს ეკონომიკურ და გარემოს ხარჯებს ყველა სინთეზის და წარმოების შემთხვევაში. ფართო გაგებით, ისეთი ენერჯის წყაროს გამოყენებას, როგორცაა ქვანახშირი, რომელიც მოიპოვება ნიადაგიდან, შეუძლია გარემოსათვის დიდი ზიანის მიყენება. ამიტომაც, ენერჯის მოთხოვნები მინიმუმამდე უნდა იქნას დაყვანილი.

ასეთი შედეგის მიღწევის ერთ-ერთ ხერხს წარმოადგენს ისეთი პროცესების გამოყენება, სადაც რეაქცია წარიმართება გარემოსთან შესაბამის პირობებში. ამ მიზნით წარმატებულად გამოიყენება ბიოლოგიური პროცესები, რომლებიც ძირითადად

წარმართება ზომიერ ტემპერატურაზე და ტოქსიკური ნივთიერებების არ არსებობის შემთხვევაში.

2.2.7. განახლებადი საკვები რესურსების გამოყენება

დედამიწიდან მოპოვებული ნივთიერებები ამოწურვადია, რადგანაც არსებობს გარკვეული მარაგი, რომელიც არ აღდგება მისი გამოყენების შემდეგ. შედეგად, სადაც კი შესაძლებელია, აუცილებელია აღდგენადი მასალის ამოწურვადის მაგივრად გამოყენება.

ამოწურვადი რესურსებისათვის ხელახალი გადამუშავების ტექნიკა უნდა იქნას შემუშავებული, რათა შემცირდეს დანახარჯი. დედამიწა წარმოქმნის დაახლოებით 170 მილიარდ ტონა მცენარის ბიომასას ყოველწლიურად, საიდანაც დაახლოებით 3,5% გამოიყენება ადამიანების საჭიროებებისათვის. მიჩნეულია, რომ დაახლოებით 40 მილიარდი ტონა ბიომასა, ან ყოველწლიური წარმოქმნილიდან დაახლოებით 25 % შეიძლება გამოყენებული იქნას ბიო ეკონომიისათვის [10].

2.2.8. წარმოქმნილი ნივთიერებების შემცირება

ორგანული ნივთიერებების სინთეზისას, ხშირად აუცილებელი ხდება ჯგუფების მოდიფიცირება ან დაცვა. ეს ხშირად იწვევს არასასურველი პროდუქტების წარმოქმნას, რომელიც არ არის დაკავშირებული საბოლოო პროდუქტთან, რაც შეიძლება ნარჩენად მივიჩნიოთ. ამიტომაც, დამცველი ჯგუფების გამოყენება, შესაძლებლობის შემთხვევაში, სინთეზისას უნდა იქნას თავიდან აცილებული.

მწვანე ქიმიის ერთ-ერთ ძირითად პრინციპს წარმოადგენს დერივატივების შემცირება და კონკრეტული მოლეკულების ჯგუფების დაცვა. ამ მიზნის მისაღწევად ერთ-ერთ საუკეთესო მეთოდს ენზიმების გამოყენება წარმოადგენს. ენზიმები გამორჩეულად სპეციფიურები არიან, რომელთაც შეუძლიათ რეაქციაში შევდინენ მოლეკულის ერთ რომელიმე სპეციფიურ მხარესთან. ამიტომაც, ხშირ შემთხვევაში ჯგუფების დაცვა აღარც ხდება აუცილებელი.

2.2.9. კატალიზი

რეაგენტები, რაც შეიძლება მეტად სელექტიურები უნდა იყვნენ თავიანთი სპეციფიური ფუნქციის მიხედვით. ქიმიური თვალსაზრისით, ეს ხშირად მიჩნეულია

უპირატესობად სხვა არასელექტიურ რეაგენტებთან შედარებით. კატალიზატორების გამოყენება მწვანე ქიმიის ერთ-ერთი წესია და ის დაცული უნდა იყოს ქიმიკოსებისა და სამედიცინო მიმართულების მეცნიერების მიერ.

კატალიზატორების ორი სახე არსებობს ჰეტეროგენული და ჰომოგენური. ჰეტეროგენული კატალიზატორები ბევრად ეფექტურია სასურველი პროდუქტის მიღების თვალსაზრისით ვიდრე ჰომოგენული.

გარდა კატალიზატორების ამ ორი ტიპისა, არსებობს კიდევ მესამე ტიპი - ნახევრად ჰეტეროგენული კატალიზატორები, რომელსაც ნაწილად კატალიზატორს უწოდებენ. მას გააჩნია უფრო ფართო ხვედრითი ზედაპირის ფართობი, რაც ხელს უწყობს კატალიზატორ-რეაქტანტის მეტ კავშირს.

2.2.10. შექმნილი დეგრადაციისათვის

პროდუქტები, რომელთა დისპერგირება უნდა მოხდეს გარემოში, უნდა იყოს შექმნილი ისე, რომ დროთა განმავლობაში უვნებელი გახდეს. მწვანე ქიმიის მიმდევრები ცდილობენ კომერციული გამოყენების გაუმჯობესებას რისკების და მავნელობის შემცირებასთან ერთად.

მწვანე ქიმიის 3, 4, 5 და 12 პრინციპები გვასწავლის რისკების შემცირებას, მაშინ, როდესაც პრინციპი 10 ფოკუსირებულია ისეთი ნივთიერებების წარმოქმნაზე, რომლებიც იშლება მაშინვე, როდესაც მიაღწევს სასურველ მიზანს. ეს ამცირებს რისკს და მნიშვნელოვანი ზარალის ალბათობას.

2.2.11. ანალიზი რეალურ დროში დაბინძურების პრევენციისათვის

დღესდღეობით, ქიმიური ანალიზები შეიძლება წარიმართოს „in-line“, „on-line“, ან „at-line“ ქიმიურ ქარხანაში, ისეთი სუბდისციპლინის გამოყენებით, როგორცაა პროცესის ანალიზური ქიმია. ასეთი ანალიზების დროს შეიძლება პროცესის ცვლადების განსაზღვრა (მაგ. ტემპერატურა ან pH) სხვადასხვა ეტაპებზე. ამიტომაც, ისეთი პრობლემები, როგორებიცაა კატალიზატორის მომწამვლავი თვისებები ან მავნე პროცესები შეიძლება შევნიშნოთ ნაადრევ ეტაპებზე.

რეალურ დროში ანალიზური პროცესების კონტროლი სასარგებლოა და უსაფრთხო ოპერირების საშუალებას იძლევა მინიმალური დანახარჯით.

2.2.12. ბუნებით უსაფრთხო ქიმია ინციდენტების თავიდან ასარიდებლად

უსაფრთხოება შეიძლება განიმარტოს, როგორც რისკების განსაზღვრა, იმისათვის, რომ მივაღწიოთ რისკის სასურველ დონეს. მწვანე ქიმიის 12-ე პრინციპი ცნობილია, როგორც „დაცულობის პრინციპი“. ის ყველაზე განუსაზღვრელი პრინციპია და ლოგიკურიცაა, რადგან გამომდინარეობს სხვა პრინციპებიდან. ისეთი ინციდენტები, როგორებიცაა - დასხმა, აფეთქება, ცეცხლის გაჩენა არის დიდი რისკები ქიმიურ წარმოებაში. საშიში არამხოლოდ ეს რისკებია, თუმცა ისინი ტოქსიკური ნივთიერებების გარემოში გატყორცნის წინაპირობაა. ამიტომაც საუკეთესო საშუალებაა თავიდან ავირიდოთ ისეთი ნივთიერებების წარმოქმნა, რომლებმაც შესაძლოა ცუდად იმოქმედონ: დაწვან, წარმოქმნან მაღალი წნევა ან გამოიწვიონ რაიმე უბედური შემთხვევა წარმოების პროცესში [17].

3. მწვანე პროცესები ფარმაცევტულ წარმოებაში

ისტორიის სხვადასხვა ეტაპზე, ფარმაცევტული ნივთიერებების აღმოჩენამ და სხვადასხვა სამედიცინო პრეპარაციამ მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა ადამიანების ცხოვრებაში. იმ საუკუნეში, რომელშიც ჩვენ ვცხოვრობთ, ფარმაცევტული ინდუსტრიის განვითარების სიჩქარე არსებითად დიდია. სწორედ, ეს პროცესი უკვალოდ არ წარიმართება გარემოსათვის, როგორც უკვე აღინიშნა. ეს ქიმიური პროცესების კომპლექსურობისა და მაღალი სისუფთავის საბოლოო პროდუქტების აუცილებლობის დამსახურებაა.

მწვანე ქიმიის გამოყენების მოთხოვნები ფარმაცევტულ ქიმიაში და სხვა წარმოებებში მზარდად სასიცოცხლო ხდება. შეერთებული შტატების გარემოს დაცვის სააგენტომ (EPA) მავნე/ტოქსიკური ნარჩენების შესამცირებლად, აქედან გამომდინარე, გარემოზე ზემოქმედების შესამცირებლადაც, შემოგვთავაზა მწვანე ქიმიის მიღწევები ინოვაციურ ტექნოლოგიებში. ამიტომაც, მწვანე ქიმია წარმოადგენს უდიდესი მზარდი პოტენციალის მქონე მეცნიერული კვლევის მიმართულებას.

EPA-ს შემდეგ, მწვანე ქიმიის 12 პრინციპმა მიიპყრო ფარმაცევტული კომპანიების მეტი ყურადღება 1998 წელს. ამ კომპანიებმა განაცხადეს, რომ სურდათ მწვანე ქიმიის გამოყენების გზით გარემოზე ზემოქმედების შემცირება. არა მხოლოდ ფარმაცევტულმა კომპანიებმა, ასევე, ქიმიურმა წარმოებებმა უფრო სერიოზულად შეხედეს ამ საკითხს და დაიწყეს მწვანე ქიმიის მიმართულებით ნაბიჯების გადადგმა ხარჯებისა და ნარჩენების შემცირების თვალსაზრისით. მიჩნეულია, რომ ამ - „გარემოსთან მეგობრული“ მიღწევებით წარმოებამ შეიძლება დაზოგოს USD 65.5 მილიარდი 2020 წლისათვის [11]. ეფექტური გამოყენების შემთხვევაში, მწვანე ქიმიას შეუძლია შეამციროს ნარჩენების წარმოება და რესურსების ხარჯები. ამასთან, მწვანე ქიმიას შეუძლია პერსონალური რისკების შემცირებაც. უკანასკნელ ათწლეულში, რამდენიმე დიდი ფარმაცევტული წარმოება მსოფლიოს გარშემო ფოკუსირებულია მწვანე პროცესების გამოყენებაზე წამლების აღმოჩენის, შესწავლისა და წარმოებისას. მათშორისაა ისეთი ფირმები, როგორებიცაა: Amgen, Merck Group, Abbott, Eli Lilly, Johnson & Johnson, და Roche [12].

მწვანე ქიმია მოთავსებულია იმ სამკუთხედის ცენტრში, რომელიც მოიცავს ხარჯებს, კაცობრიობას და პლანეტას. ამერიკის შეერთებულ შტატებში დაარსებულ იქნა ამერიკული ქიმიური საზოგადოების მწვანე ქიმიის ინსტიტუტის ფარმაცევტული მრგვალი მაგიდა. 2008 წლისდანი ბევრი მედიკამენტების კომპანია გახდა მისი წევრი, რაც გულისხმობს მეტად ეფექტური და ნაკლებად დამაბინძურებელი პროცესების გამოყენება-განვითარებას. საბედნიეროდ, მწვანე ქიმია იზეიმებს განვითარების 28 წლისთავს 2019 წლისათვის [12].

ქიმიკოსებს და სამედიცინო მიმართულების მეცნიერებს შეუძლიათ ადამიანების ჯანმრთელობის და გარემომოს რისკების შემცირება იმ პრინციპების გამოყენებით, რომლებიც მეორე თავში ავლნიშნეთ. ყველაზე მარტივი და პირდაპირი გზა ამ პრინციპების მედიკამენტების წარმოებაზე მოსარგებად არის ეკოლოგიურად მეგობრული (eco-friendly), არამავნე, აღდგენადი და ეფექტური გამხსნელებისა და კატალიზატორების გამოყენება. გამხსნელები და სტექიომეტრული რეაგენტების გამოყენება ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრებია, რომლებიც უნდა იქნეს გათვალისწინებული მწვანე სტრატეგიების შერჩევისას, რასაც ასრულებენ ისეთი ფარმაცევტული კომპანიები, როგორებიცაა - Sanofi-Aventis [13] და GlaxoSmithKline [14]. ამ კომპანიებმა შემოგვთავაზეს ისეთი სტანდარტული გამხსნელების, როგორებიცაა: ჰალოგენირებული, ნავთობპროდუქტებზე დაფუძნებული, უფრო „მწვანე“ გამხსნელებით შეცვლა, მაგალითად: გლიცეროლით, ეთილ ლაქატით და წყლით [15, 17].

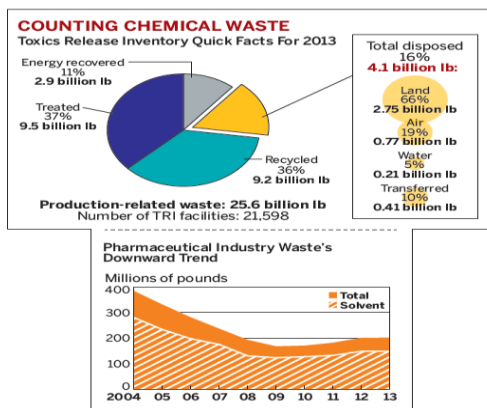
4. მონაცემები და მათი განხილვა

ქიმიური ნივთიერებების მიღება, ძირითადად, იმ მოლოდინებით ხდება, რომ შესაძლებელია რისკების რაიმე გზით გაკონტროლება. მწვანე ქიმია თითქმის სამი ათწლეულია რაც ჩვენს გარშემო არსებობს და საგრძნობი ცვლილებები მოახდინა ჩვენს მსოფლიოში. ბევრმა კარგად ცნობილმა კომპანიამ და ორგანიზაციამ მოიხრეო ეს დისციპლინა.

ყოველი პროცესის მორგება ყველა სინთეზზე არაა შესაძლებელი. მაგრამ ყოველ ორგანულ სინთეზს აქვს თავისი ალტერნატიული მწვანე მოთოდი. ამ ნაშრომის ძირითადი მიზანია სხვადასხვა მწვანე გადაწყვეტილებების არსებობის ხაზგასმა და მათი უპირატესობების წარმოჩენა.

ყველა აღნიშნული ტექნიკა მიმართულია მავნე და ტოქსიკური გამხსენებლის ჩანაცვლებისაკენ ქიმიურ პროცესებში - სინთეზურ ლაბორატორიაში და ქიმიურ წარმოებაში. მწვანე ქიმიის გლობალური ვაჭრობის ზრდა ექსპონენციალურადაა ნაწინასწარმეტყველები მომდევნო წლებისათვის. ახალგაზრდა დისციპლინის მიმართულებით უკვე ათასობით სწატია დაიბეჭდა. გაჩნდა კვლევითი კავშირები 30-ზე მეტ ქვეყანაში, რომელთაც შექმნეს სულ მცირე ოთხი ახალი საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი.

2004 და 2013 წლებში, EPA-ს ტოქსიკური ნარჩენების გამოყოფის აღწერის (TRI) მიხედვით, ნარჩენების რიცხვი ნიადაგში, ჰაერსა და წყალში 7 %-ით შემცირდა. ეს მონაცემები, ასევე, გვიჩვენებს, რომ ქიმიკატების გამოყოფა მარილმჟავას, ტრიქლორეთილენისა და მეთილ იზობუტილ კეტონის ჩათვლით შემცირდა 60 %-ზე მეტად, დროთა განმავლობაში. ნარჩენები, ფარმაცევტული წარმოების შემთხვევაში, კილოგრამ პროდუქტზე გადაანგარიშებით, მაღალი სისუფთავის კომპლექსური მოლეკულების წარმოქმნის დროს, თითქმის განახევრდა [16].



C&EN, 2015 93 (5) 32-33 -დან დაბეჭდილი

ფარმაცევტული წარმოება იყო იმ პირველთა შორის, რომელმაც ცნო მწვანე ქიმიის ღირებულება. 2005 წლისათვის ყველა ძირითადი მედიკამენტების კომპანია შეუერთდა ამერიკის ქიმიური საზოგადოების მწვანე ქიმიის ინსტიტუტის მრგვალ მაგიდას. ასეთი კომპანიები, ასევე, არჩევენ ნაკლებად მავნებელ რეაგენტებს, ამცირებენ რეაქციის საფეხურების რაოდენობას და აუმჯობესებენ კატალიზატორების გამოყენებას.

როგორც ამ მონაცემებიდან შეგვიძლია დავინახოთ, მნიშვნელოვანი კვლევები შესრულდა მეცნიერების მიერ უფრო მეტად „მწვანე“ ქიმიკატების შეთავაზებისათვის. საბედნიეროდ, შედეგებზე დაყრდნობით, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მათი ძალისხმევა შედეგიანი აღმოჩნდა [17].

5. დასკვნები

დასკვნის სახით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ბევრი საწარმო დგას გლობალური გამოწვევების წინაშე, ამიტომაც, მწვანე ქიმია ფართოვდება მრავალმხრივ. მავნე ნივთიერებების წარმოების შესამცირებლად, ან საერთოდაც, ზოგიერთ შემთხვევაში, მათ აღმოსაფხვრელად დიდი შრომა იქნა გაწეული მწვანე ქიმიის დარგში. ცხადია, რომ ფარმაცევტული წარმოება მიისწრაფის უფრო სუფთა, უფრო მწვანე და მცირე ენერჯის მოხმარებით წარმოებისაკენ. ამიტომაც, შედეგად, ისინი ამცირებენ გარემოში ნარჩენების დაგროვებას, არიდებენ თავს წყლის, ნიადაგისა და ჰაერის დაბინძურებას - მწვანე გამხსნელები, ნანო-კატალიზატორები, ბიოკატალიზატორები იძლევა დიდ შესაძლებლობებს მეთოდების გამწვანებისათვის.

მწვანე ქიმია დაახლოებით სამი ათწლეულის განმავლობაში არსებობს ჩვენს ირგვლივ, რითაც უკვე დიდი დადებითი კვალი დატოვა მსოფლიოზე [17].

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Formerly “Chemical Manufacturers' Association(CMA)”.
<http://responsiblecare.americanchemistry.com/Home-Page-Content/Responsible-Care-Timeline.pdf>.
2. Bruntland’s report the World Commission on Environmental and Development: World Commission on Environment and Development, Our Common Future, 27 April 1987 ed.; Oxford University Press:Oxford, UK, 1987.
3. Pollution Prevention Act of 1990; US Government Printing Office:Washington, 1995; p 617.
4. Anastas, P. T.; Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice;Oxford University Press: New York, 1998.
5. Linthorst, J. A. Found. Chem. 2010, 12, 55–68.
6. Trost, B. M. Science 1991, 254, 1471-1477.
7. Trost, B. M. In The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program:Summary of the 1998 Award Entries and Recipients; EPA744-R-98-001, U.S.Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics:Washington, DC, 1998; p2.
8. Trost, B. M. Acc. Chem. Res. 2002, 35, 695-705.
9. David J. C. Constable, Ph.D., Director, ACS Green Chemistry Institute®
10. By Dr. Richard Wool, Professor of Chemical and Biomolecular Engineering and Director of the Affordable Composites from Renewable Materials program, University of Delaware.
11. Green Chemical Industry to Soar to USD 98.5 Billion by 2020, Navigant Research, Jun 20, 2011.
12. Stephen KR. C&EN Washington C&EN. Jul 4, 2016;94(27):22-25
13. Sheldon RA. Catalysis: The key to waste minimization. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 1997;68:381-388
14. Prat D, Pardigon O, Flemming H-W, Letestu S, Ducandas V, Isnard P, Guntrum E, Senac T, Ruisseau S, Cruciani P, Hosek P. Sanofi’s solvent selection guide: A step toward more sustainable processes. Organic Process Research & Development. 2013;17:1517-1525
15. Henderson RK, Jimenez-Gonzalez C, Constable DJC, Alston SR, Inglis GGA, Filsher G, Sherwood J, Binks SP, Curzons AD. Expanding GSK’s solvent selection guide – Embedding sustainability into solvent selection starting at medicinal chemistry. Green Chemistry. 2011;13:854-862
16. How Industrial Applications in Green Chemistry Are Changing Our World. © 2015 American Chemical Society.
17. Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons; International Cooperation and Assistance / ICB, Associate Programme 2018, GREEN CHEMISTRY AND LINKED PROCESSES, ID: AP2018/RP/XX, A. Agoyan, E. Gvazava