

# მოსახლეობის მიგრაციის ბრავიტაციული მოდელების შესახებ

ევროპული ინტეგრაცია და  
საქართველო

ეკონომიკისა და ბიზნესის  
აქტუალური პრობლემები  
გლობალიზაციის  
თანამედროვე პირობებში

საერთაშორისო სამეცნიერო-  
პრაქტიკული კონფერენცია

თეორია, მეთოდოლოგია,  
სისტემური პრობლემები

## გოჩა თუთხარიძე

ეკონომიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,  
ევროპის სასწავლო უნივერსიტეტის პროფესორი, პრორექტორი

## ქათივან ფიფია

სამცხე-ჯავახეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დოქტორანტი

## გივი რაქვიაშვილი

ფიზიკა-მათემატიკის აკადემიური დოქტორი,  
ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი

## პაატა კუნჭულია,

ეკონომიკის აკადემიური დოქტორი,  
თბილისის ღია სასწავლო უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი

### საკვანძო სიტყვები:

მოსახლეობის მიგრაცია, ბრავიტაციული მოდელი, საქართველოს მოსახლეობის  
დინამიკა

სტატიის მიზანია მიგრაციის ფენომენის განხილვა ფიზიკური მეთოდებით. ინტერეგიონალურ, ინტერსახელმწიფოებრივ და ინტერკონტინენტალურ მიგრაციებს აქვთ ისტორიული და პოლიტიკური მნიშვნელობა, მაგრამ განსაკუთრებით საინტერესოა ის ეკონომიკური შედეგები, რომლებსაც იწვევს ადამიანთა ამ მასების მოძრაობა მათ სამშობლო ქვეყანასა და რეგიონში, და შემდეგ, იმ ქვეყანაში, სადაც ისინი მიდიან და ხშირად სამუდამოდაც. ეს პროცესები დაკავშირებულნი არიან ეკონომიკური განვითარების პროგრესთან და ხშირად - რეგრესთანაც, განსაკუთრებით, იმ ქვეყანაში, საიდანაც მიგრაცია ხდება. ყველაზე დამლუპველია განვითარებადი ქვეყნებიდან მაღალი ხელფასისა და მუშაობის უკეთესი პირობების საძიებლად განვითარებულ ქვეყნებში კვალიფი-

ციური მუშახელის - მეცნიერების და ა.შ. მიგრაცია, რამაც მიიღო სახელწოდება “ტვინების გადინება”. ჩვენ არ ვეხებით ამ პრობლემის ეთიკურ ასპექტებს, კერძოდ, ქვეყნის მიერ იმ სპეციალისტების დაკარგვას, რომელზეც ქვეყანამ ბევრი ფული დახარჯა, და, მიუხედავად იმისა, რომ ეს გასვლა მცირერიცხოვანია, მას სერიოზული უარყოფითი შედეგები აქვს.

მასობრივი მიგრაციის, განსაკუთრებით, შრომითი მიგრაციის მიზეზები მრავალგვარი და უალრესად დივერსიფიცირებულია. ქვემოთ ჩვენ ჩამოვთვლით მიგრაციის ძირითად ტიპებს მცირე შექცევადი მიგრაციების - მაგ., სეზონური, ტურისტული და სხვა გამოკლებით. თუ არ ჩავთვლით ისტორიის უდიდეს მიგრაციებს (მაგ., ბარბაროსთა შემოსევებს), და მიგრაციებს, რომლებიც გამონვეულია ბუნებრივი

სამეცნიერო-პრაქტიკული ჟურნალი

კატასტროფებით, სოციო-პოლიტიკური კონფლიქტებით, ომებით და ა.შ., მაშინ შეიძლება ვთქვათ, რომ არსებობს მიგრაციის ორი ძირითადი სახეობა:

- 1) მიგრაცია, რომლის მიზანია ცხოვრების უფრო მაღალი სტანდარტი, უკეთესი განათლება, საქმიანობის შეცვლა და ა.შ;
- 2) დაუსაქმებელი ან არაკვალიფიციური ან დაბალკვალიფიციური პოპულაციის მიგრაცია, რომელსაც ადგილი აქვს ძირითადად ეკონომიკური რეცესიის დროს;

მიგრაციის ამ ორი კატეგორიის შემთხვევაში, საზოგადოდ, ადამიანი მიგრირებს სამუშაოს საშოვნელად ან ცხოვრების უფრო მაღალი სტანდარტის გამო, მაღალი ხელფასისთვის, უკეთესი უმაღლესი განათლების მისაღებად და ა.შ.

ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნის შუახანებში ამერიკელი სოციოლოგი ფ. ჰკერი აღნიშნავდა ანალოგიას გრავიტაციულ ძალებსა და საზოგადოებრივ მოვლენებს შორის [2, გვ.137, 2005]. 1929 წელს ვ. რეილმა (აშშ) შემოიტანა საცალო ვაჭრობის გრავიტაციის კანონი, რომლის მიხედვითაც ქალაქის საცალო ვაჭრობა იზიდავს კლიენტურას მის გარშემო არსებულ ტერიტორიებიდან “ძალით”, რომელიც ქალაქის სიდიდის პროპორციულია და უკუპროპორციულია მანძილის კვადრატისა ქალაქის ცენტრიდან კლიენტამდე [2, გვ. 137]. იქვე ნაჩვენებია, რომ გრავიტაციული მოდელი შეიძლება დაეუდოთ საფუძვლად ქალაქის განსახლების, სატრანსპორტო ქსელის გამტარუნარიანობას, მრეწველობის სანარმოების განლაგებას და სხვა. გრავიტაციის კანონი დაუდო ავიაგადაზიდვების მოდელირებას საფუძვლად ნიმიკმა [3, 2003]. ეკონომიკისა და დემოგრაფიის რიგი პრობლემების მოდელირებაში გამოიყენება ფაზური გადასვლები [4], თერმოდინამიკა, კვანტური მექანიკა, არანრფივი დინამიკა [5, 6] და სხვა.

მუშა ძალის, მონეტარული ნაკადების, სამომხმარებლო საქონლის და სხვა მიგრაციები ეკონომიკური მიზიდულობის ცენტრებისკენ ანუ ატრაქტორებისკენ, შეიძლება აღწეროს გრავიტაციული და ელექტროსტატიკური მოდელების საშუალებით. გრავიტაციულ მოდელებისგან განსხვავებით ელექტროსტატიკურ მოდელების საშუალებით შეიძლება განზიდვის მოდელირებაც, თუმცა ამას არა აქვს პრინციპული მნიშვნელობა. აქვე შეიძლება ავლნიშნოთ, რომ

რაც უფრო მეტია მანძილი ატრაქტორამდე (აქ მანძილი გვესმის არა მარტო პირდაპირი მნიშვნელობით, არამედ როგორც სიძნელეები ტრანზიტში, ეკოლოგიური, ეკონომიური და პოლიტიკური ბარიერები და სხვა), მით უფრო მეტია მისაზიდი ელემენტების დანახარჯები.

მიგრაციის გრავიტაციული მოდელი აგებულია, მაგ., [7, 8]-ში. რაც შეეხება მიგრაციის ელექტროსტატიკურ მოდელს, ჩვენი განხილვის საგანი იქნება [9]-ში შემოთავაზებული მოდელი

$$M_{ij} = k \frac{q_i \rho_j}{\epsilon R^2}, \quad (1)$$

სადაც

$M_{ij}$  არის მიგრანტების მასა  $i$  ლარიბი ქვეყნიდან  $j$  მდიდარ ქვეყანაში;

$q_i$  არის ლარიბი ქვეყნის მოსახლეობის რაოდენობა;

$\rho_j$  არის მდიდარი ქვეყნის მოსახლეობის რაოდენობა;

$a$  არის მდიდარი რეგიონის ზომა (რადიუსი);

$R$  არის მანძილი ამ ორ ქვეყანას შორის;

$k$  არის პროპორციულობის კოეფიციენტი;

$\epsilon$  არის ქვეყნის “შელწევადობა”, ანუ სხვადასხვა დაწესებული ბარიერი.

მოდელის შესაფასებლად, როგორც წესი, (1)-ის მაგივრად იყენებენ მის ლოგარითმს და თან უმატებენ ახალ პარამეტრებს; ამ დროს მიიღება ე.წ. განზოგადებული გრავიტაციული მოდელი. მაგალითად, [10]-ში განხილულია მოდელი

$$\ln(M_{ij}) = a_0 + a_1(pop_i \cdot pop_j) + a_2(rely_{ij}) + a_3(dist_{ij}) + a_4(stock_{ij}) + a_5 LANG_{ij} + a_6 CONT_{ij} + a_7 LINK_{ij} + u_{ij}$$

სადაც

$M_{ij}$  არის მიგრანტების მასა  $i$  ლარიბი ქვეყნიდან  $j$  მდიდარ ქვეყანაში;

$pop_i$  და  $pop_j$  არის შესაბამისი ქვეყნების მოსახლეობის რაოდენობა;

$rely_{ij}$  არის  $j$  ქვეყნის ერთ სულზე შემოსავლის რაოდენობის შეფარდება  $i$  ერთ სულ მოსახლეზე შემოსავალთან;

$dist_{ij}$  არის მანძილი ქვეყნებს შორის;

$stock_{ij}$  არის  $i$  ქვეყნიდან უკვე ემიგრირებული მოსახლეობის რაოდენობა  $j$  ქვეყანაში (რაც უფრო მეტია იგი, მით უფრო ადვილია ადაპტაცია);

$LANG_{ij}$  აღნიშნავს ამ ორი ქვეყნის სახელმწიფო ენების სიახლოვეს;

$CONT_{ij}$  არის ამ ორ ქვეყანას შორის საერთო საზღვრის პარამეტრიც;

$LINK_{ij}$  აღნიშნავს კოლონიალურ ბმას ამ ორ ქვეყანას შორის;

$u_{ij}$  არის ლოგარითმულად ნორმალური განაწილების ცდომილების ფუნქცია.

ჩვენ აქ მოველით, რომ, მაგალითად,  $a_3$  -ს აქვს უარყოფითი ნიშანი.

ჩვენ ამ სტატიაში გავაანალიზებთ (1) მოდელს და შევეცდებით გამოვთქვათ ზოგიერთი მოსაზრება, თუ როგორ შეიძლება მისი გაუმჯობესება.

**პირველი შედეგი.** ავლნიშნოთ

$$\lambda = k \frac{\rho_j}{\varepsilon} \frac{a^2}{R^2}$$

და ჩავთვალოთ, რომ  $\lambda$  მუდმივია; ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, ცხადია რომ  $\lambda < 1$ . მაშინ  $t$  დროში მოსახლეობის დანაკარგი იქნება

$$S = \lambda q_i t$$

და  $t = 1/\lambda$  დროის გასვლის შემდეგ  $i$  ქვეყანაში მოსახლეობა აღარ დარჩება. მაგრამ პრაქტიკულად ასეთი რამ შეუძლებელია. ეკონომიური რეცესიის დამთავრება, ახალი ბარიერების შემოღება, მოსახლეობის შემცირების გამო  $i$  ქვეყანაში ერთ სულ მოსახლეზე შემოსავლის ზრდა გარკვეული დროის შემდეგ ემიგრაციაში წასვლის მსურველთა რაოდენობის შემცირებას იწვევს, რასაც წონასწორობის დამყარება მოჰყვება. დაახლოებით ასეთი რამ მოხდა ახლახან საქართველოში – მოსახლეობის აღწერამ გამოავლინა, რომ ჩვენ გაცილებით ცოტანი დავრჩენილვართ, ვიდრე გვეგონა და ქვეყანაში საშუალო ეკონომიკურმა მაჩვენებლებმა საგრძნობლად მოიმატეს.

**მეორე შედეგი.** (1) ფორმულა დროის ფაქტორს არ ითვალისწინებს. ეს ფაქტორი გავითვალისწინოთ შემდეგნაირად: ჩავთვალოთ, რომ დროის გარკვეულ შუალედში (რომელსაც ჩვენ ერთეულად ჩავთვლით) პოპულაციის გადინება (1)-ით გამოისახება. მაშინ დროის ერთი ერთეულის (შუალედის) გავლის შემდეგ ქვეყანაში დარჩება

$$S_1 = M_j - \lambda M_j = M_j (1 - \lambda)$$

აღამიანი. დროის ორი შუალედის შემდეგ ქვეყანაში დარჩება

$$S_1 - \lambda S_1 = M_j - \lambda M_j - \lambda (M_j - \lambda M_j) = M_j (1 - \lambda)^2$$

აღამიანი. მათემატიკური ინდუქციით ადვილად მტკიცდება, რომ დროის  $n$  შუალედის შემდეგ  $i$  ქვეყნის მოსახლეობა შეადგენს

$$S_n = M_j (1 - \lambda)^n$$

კაცს.  $S_n$ -ის ფორმულიდან ჩანს, რომ როცა  $n$  მიისწრაფვის უსასრულობისაკენ, მაშინ  $S_n$  მიისწრაფვის ნულისკენ, რადგან  $1 - \lambda < 0$ , ანუ ზღვარში ქვეყანაში მოსახლეობა აღარ დარჩება, თუმცა, ცხადია, ასეთი ინტერპრეტაციისას ქვეყნის დაცარიელება უფრო ნელა ხდება, ვიდრე პირველ შედეგში.

ახლა სრულად გავითვალისწინოთ (1)-ში დროის ფაქტორი. (1)-ის რამდენიმე პარამეტრი შეიძლება იყოს ცვლადი, დროზე დამოკიდებული: იცვლება ლარიბი და მდიდარი ქვეყნების მოსახლეობის რაოდენობა, მანძილი ამ ორ ქვეყანას შორის (რადგან, როგორც ავლნიშნეთ, აქ მანძილი პირადაპირი აზრით არაა გაგებულ), იცვლება ქვეყნის “შელწევადობა”, მაგალითად, ვიზალბერალიზაციის ან პირიქით, ახალი ბარიერების დაწესების გამო. ამიტომ, თუ (1)-ს ჩავთვლით პოპულაციის მიგრაციის სიჩქარედ, მაშინ  $t_0$  დროის გასვლის შემდეგ  $i$  ქვეყნიდან მოსახლეობის გადინება უნდა გამოისახოს შემდეგი განსაზღვრული ინტეგრალით:

$$S = ka^2 \int_0^{t_0} \frac{q_i(t) \rho_j(t)}{\varepsilon(t) R(t)^2} dt \quad (2)$$

არაა გამორიცხული, რომ გარკვეულ პირობებში  $k$  და  $a$  პარამეტრებიც იცვლებოდეს.

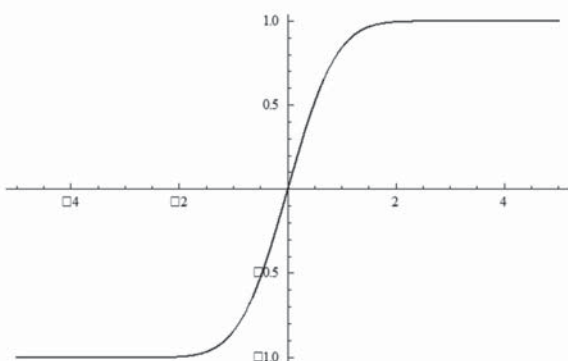
ამრიგად, (1) მოდელში დროის ფაქტორის გავითვალისწინებას მივყავართ მოსახლეობის მიგრაციის მოდელამდე, რომელიც (2) განსაზღვრული ინტეგრალით გამოისახება. ამ ინტეგრალს ისეთივე ნაკლი აქვს, როგორც პირველ და მეორე შედეგებს, ანუ წინასწარმეტყველებს მოსახლეობის მუდმივ გადინებას. ამიტომ ინტეგრალქვეშა გამოსახულება უნდა გავამრავლოთ ფუნქციაზე, რომელიც ამ ნაკლს სგამოასწორებს. ამისთვის  $u_i(t)$ -თი ავლნიშნოთ  $i$  ქვეყნის მშპ ერთ სულ მოსახლეზე,  $u_j(t)$ -თი  $j$  ქვეყნის მშპ ერთ სულ მოსახლეზე, ხოლო მათი შეფარდება იყოს

$$u_j(t) = \frac{u_i(t)}{u_j(t)}$$

დავუძახოთ მას ფარდობითი მშპ. მოსალოდნელია, რომ როცა  $u_j(t)$  დაბალია, მაშინ მოსახლეობის მიგრაციისადმი მიდრეკილება დიდია, ხოლო როდესაც  $u_j(t)$  უახლოვდება ერთს, ეს მიდრეკილება მცირდება და მეტიც, თითქმის ნული ხდება. ავლნიშნოთ  $\chi_1$ -ით ფარდობითი მშპ ის მნიშვნელობა, რომელსაც აქვს თვისება, რომ როცა  $u_j(t)$  მას უახლოვდება, მაშინ მოსახლეობის მიგრაციისკენ სწრაფვა მცირდება, და  $\chi_2$ -ით ფარდობითი მშპ ის მნიშვნელობა, რომელსაც აქვს თვისება, რომ როცა  $u_j(t)$  მას უახლოვდება, მაშინ მოსახლეობის მიგრაციისკენ სწრაფვა თითქმის ნულია ( $\chi_1$ -ის და  $\chi_2$ -ის მნიშვნელობები უნდა დავადგინოთ ემპირიულად ან ჰიპოთეზის სახით, რომელიც შემდეგ შეიძლება შემოწმდეს). მაშასადამე, უნდა ავაგოთ ფუნქცია, რომელიც, როცა  $u_j(t)$  მცირეა  $\chi_1$ -ზე, თითქმის ერთს ტოლია, ხოლო როცა  $u_j(t)$  უახლოვდება  $\chi_2$ -ს, თითქმის ნული ხდება. საფუძვლად ავიღოთ ე.წ. შეცდომის, ანუ გაუსის ფუნქცია  $erf(x)$ :

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt ,$$

რომლის გრაფიკს [-5;5] სეგმენტზე აქვს სახე



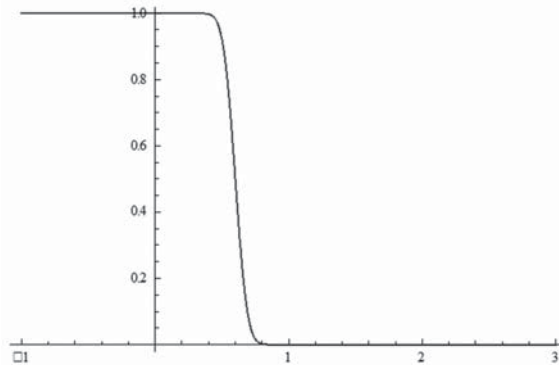
გრაფიკიდან ჩანს, რომ დაახლოებით  $x = -2$  მნიშვნელობის შემდეგ ფუნქცია მკვეთრად იზრდება და  $x = 2$  წერტილზე ხდება მისი მკვეთრი სტაბილიზაცია და ის ხდება თითქმის 1-ის ტოლი. ამის გათვალისწინებით ავაგოთ ფუნქცია

$$\varphi(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} erf\left(\frac{4}{\chi_1 - \chi_2} x + \frac{2(\chi_1 + \chi_2)}{\chi_2 - \chi_1}\right),$$

რომელიც აკმაყოფილებს საჭიროთვისებებს. მაგალითად, როცა  $\chi_1 = 0,4$  და  $\chi_2 = 0,8$  გვექნება, რომ

$$\varphi(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} erf(-10x + 6),$$

და მის გრაფიკს [-1;3] სეგმენტზე ექნება სახე



შევნიშნოთ, რომ გაეროს 2013 წლის მონაცემებით აშშ-ს მშპ ერთ სულ მოსახლეზე იყო 52391\$, ხოლო საქართველოსი კი 3715\$, ანუ 14-ჯერ ნაკლები; შესაბამისად,

$$u_j = \frac{3715}{52391} \approx 0,07(!)D$$

ამრიგად, შეგვიძლია დავუშვათ ჰიპოთეზის სახით, რომ ორ  $i$  და  $j$  ქვეყანას შორის მოსახლეობის მიგრაციის ელექტროსტატიკური მოდელი წარმოდგენილია შემდეგი ფორმულით

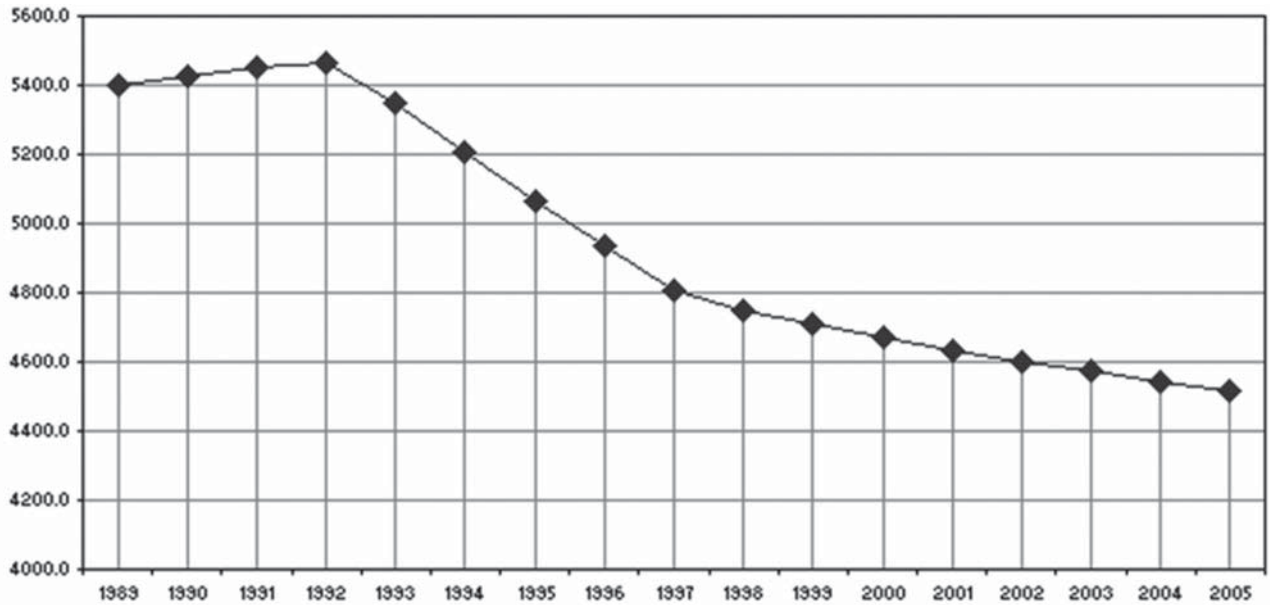
$$S = ka^2 \int_0^{t_0} \frac{q_i(t)\rho_j(t)}{\varepsilon(t)R(t)^2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} erf\left(\frac{4}{\chi_1 - \chi_2} x + \frac{2(\chi_1 + \chi_2)}{\chi_2 - \chi_1}\right) \right) dt$$

ცხადია, ფარდობითი მშპ-ს მაგივრად შეგვეძლო აგველო რომელიმე სხვა პარამეტრი ან პარამეტრები, რომელიც (რომლებიც), ჩვენი აზრით განსაზღვრავენ პოპულაციის მიგრაციას.

**შენიშვნა.** [11]-ში, გაეროს 2015 წლის ანგარიშის მიხედვით (იხ. [12]), შედგენილია საქართველოს მოსახლეობის დინამიკის ცხრილი (ვერტიკალურ ღერძზე გადაზომილია მოსახლეობის რაოდენობა ათასებში):

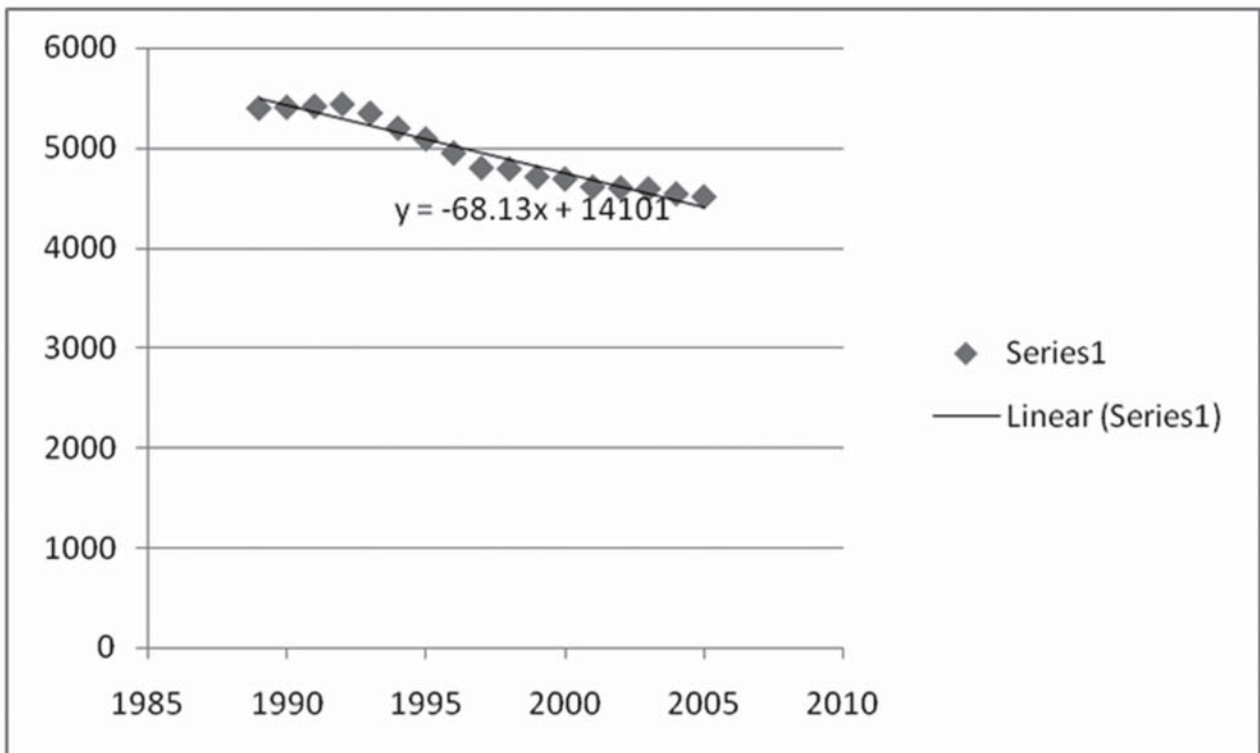
მისი საშუალებით Excel-ში ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი და წრფივი რეგრესიის განტოლება:  $y = -68,137x + 141017$ .

საქართველოს მოსახლეობა 1998-2005 (ათასი)

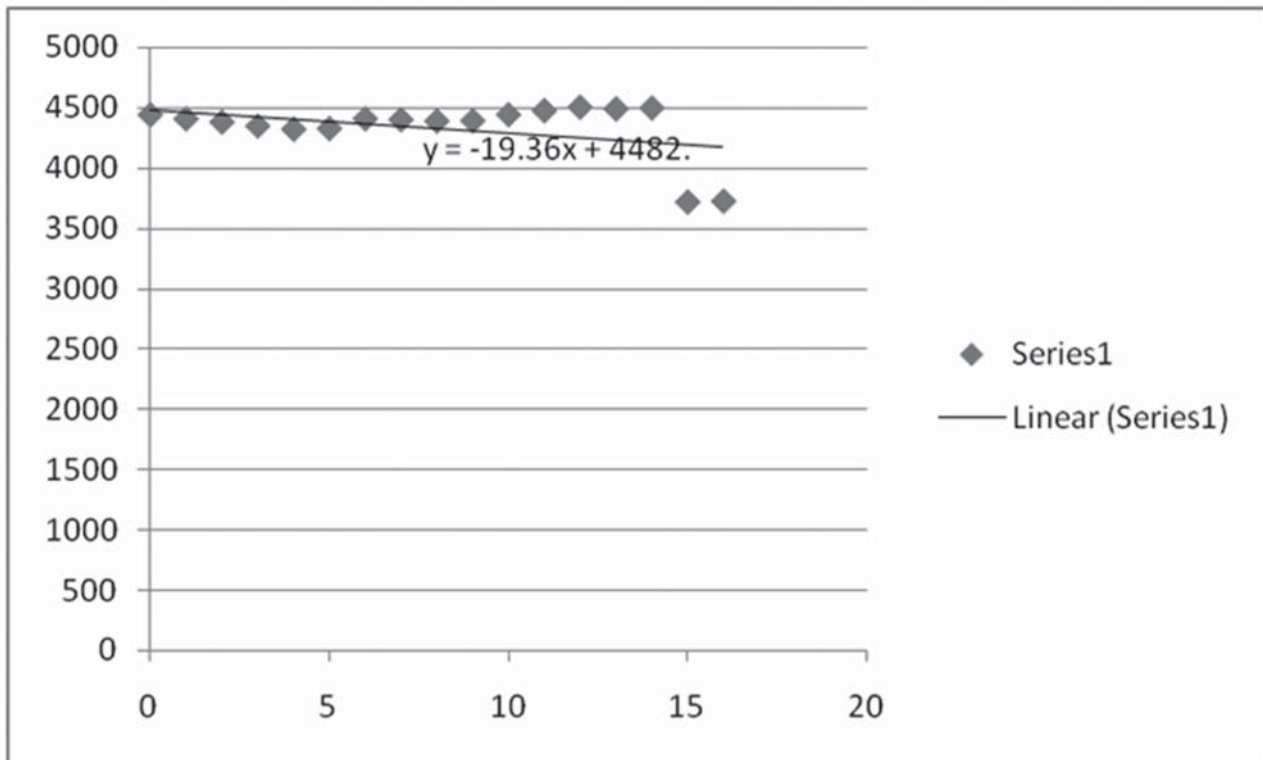


თუ ამ განტოლებაში შევიტანთ  $x=2016$ , მივიღებთ  $y=3652,808$ , რაც საკმაოდ კარგი მიახლოებაა ბოლო აღწერის მონაცემებთან, რომელიც 3729635 ადამიანს შეადგენს. ქვემოთ შედარებისთვის მოგვყავს საქართველოს სტატისტიკური სამმართველოს მონაცემებზე დაყრდნობით აგებული წრფივი რეგრესიის გან-

ტოლება, რომელსაც არავითარი კავშირი არა აქვს რეალობასთან.



$y = -68,137x + 141017$  წრფივი რეგრესიის განტოლების გრაფიკი



გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Chakrabarti, K. (2006). Econophysics and Sociophysics.
2. Власов, М.П., Шимко, П. Д. (2005). Моделирование экономических процессов.
3. Ныммик, А. (2003). Использование географических моделей в моделирование сети аэроперевозок. *TransportandTelecommunication, Vol 4, #1*, 39-44.
4. Словохотов, Ю. Л. (2010). Аналогии фазовых переходов в экономике и демографии. *Компьютерныеисследованияимоделирование, т. 2, # 2*, 209-218.
5. Lambertini, L. (2000). Quantum Mechanics and Mathematical Economics are Isomorphic. *UniversityofBologna*, 1-17.
6. Эконофизика. Современная физика в поисках экономических теорий (под ред. В. В. ХаритоновайА. А. Ежова), (2007). М.
7. Molho, I. (1986). Theories of Migration: A Review, *Scottish Journal of Political Economy*.
8. Sornette, D. A., Johansen, J. P., Bouchaud, J. and Phys I. (1996). Stock Market Crashes, Precursors and Replicas, (France) *6*, 167..
9. Gheorghiu, A., Spanolescu, I. An Econophysics Model of the Migration Phenomena, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1202/1202.0996.pdf>
10. Joshua, J. Lewer, Hendrik Van den Berg. (2008). A gravity model of immigration. *Economics Letters 99*, 164-167.
11. საქართველოს დემოგრაფია (ვიკიპედია). [https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველოს\\_დემოგრაფია](https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველოს_დემოგრაფია).
12. World Population Prospects.(2015). (The 2015 Revision). United Nations, New York. [http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)

## Population Migration Gravitational Models

**Gocha Tutberidze**

Doctor of Economic Sciences,  
European University Professor, Vice-rector

**Ketevan Pipia**

Samtskhe-Javakheti State University PHD Student

**Givi Rakviashvili**

Doctor of Mathematics,  
Ilia State University Associate Professor

**Paata Kunchulia**

Doctor of Economics,  
Tbilisi Open University Associate Professor

**Key words:**

MIGRATION, THE GRAVITATIONAL MODEL OF POPULATION DYNAMICS

### Summary

In the paper Anca Gheorghiu's and Ion Spanulescu's model is represented as integral of time  $t$  (i.e. it is taken into account the possible change in the parameters of the model over time) and in this integral inserted a factor, which guarantees the termination of the flow of migrants after the increase some economic indicators in the country's with the poor economic; therefore, in our opinion, the new model is closer to reality.