

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შოშრო № IHM-14-18- GTU-2436

„ვაგტკიცებ“

დირექტორი

ტექ. აკად. დოქტორი

----- თ.ცინცაძე

25 დეკემბერი 2014

ამინდის საპროგნოზო მოდელების დამუშავება საქართველოს
პირობებისათვის

(დასკვნითი ანგარიში)

ამინდის პროგნოზირების, ბუნებრივი
და ტექნოგენური კატასტროფების
მოდელირების განყოფილების გამგე
ფიზ.-მათ. აკადემიური დოქტორი

მ. ტატიშვილი

თბილისი - 2014

თემის შემსრულებლები:

1. მარია ტატიშვილი
თემის ხელმძღვანელი. განყოფილების გამგე,
ფიზ.-მათ. აკად. დოქტორი
2. ირინე მკურნალიძე
მეცნ. თანამშრომელი
3. ნაილი კაპანაძე
უფროსი მეცნ. თანამშრომელი
4. რამაზ მესხია
უფროსი მეცნ. თანამშრომელი

რ ე ფ ე რ ა ტ ი

ანგარიში 60 გვ., ნახაზი 30.

ამინდის საპროგნოზო რიცხვითი მოდელი, არასტაციონარული პროცესები, ჩადგმული ბადე, ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებები, მონაცემთა ვარიაციული ასიმილაცია.

მიმდინარე სამეცნიერო ანგარიშში წარმოდგენილი გამოკვლევები, რომლებიც გაგრძელდება ამინდის პროგნოზირების, ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფების მოდელირების განყოფილებაში გასულ წლებში შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოებისა, შეეხება ლოკალური ატმოსფერული პროცესების მოდელირების სისტემის განვითარებას საქართველოს ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით.

ამინდის კვლევისა და პროგნოზირების მოდელი (WRF) ეს არის ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირებისა და ატმოსფეროს სიმულირების სისტემა, რომელიც შექმნილია როგორც კვლევითი, ასევე ოპრეტიული გამოყენებისათვის. მოდელი დამუშავებულია: აშშ ატმოსფეროს კვლევის ეროვნული ცენტრის (NCAR) მეზომასშტაბური და მიკრომასშტაბური მეტეოროლოგიის განყოფილებაში (MMM), ოკეანისა და ატმოსფეროს ადმინისტრირების (NOAA) ცენტრებში გარემოს პროგნოზირებისათვის (NCEP) და დედამიწის სიტემის კვლევის ლაბორატორიაში (ESRL), სამხედრო-საჰაერო თავდაცვის დეპარტამენტის ამინდის სააგენტოში (AFWA) და ნავალის კვლევით ლაბორატორიაში (NRL), შტორმების ანალიზისა და პროგნოზირების ცენტრში (CAPS), ავიაციის ფედერალურ ადმინისტრაციაში (FAA) სხვადასხვა უნივერსიტეტების მეცნიერთა მონაწილეობით. გამოყენების სფეროებია: რიცხვითი პროგნოზირება რეალურ დროში, მონაცემთა ასიმილაცია, კვლევები ფიზიკურ პარამეტრიზაციაზე, რეგიონული კლიმატური სიმულაციები.

შესრულებული იქნა WRF EMS (ARW) მოდელის დინამიკურ ბირთვში რიგი პროგრამული ფაილების რედაქტირება და 5-კმ-იანი ამოხსნის მქონე „ქვეარის ჩადგმა“ ორი სხვადასხვა მეთოდით. მეორე მეთოდი (*2-way nesting*) ითვალისწინებს „ქვეარიდან“ ძირითად არეში ინფორმაციის დაბრუნებას, ანუ უკუკავშირს. ძირითადი არე უზრუნველყოფს სასაზღვრო პირობების მიწოდებას ქვეარისათვის ძირითადი არის ყოველ დროით ბიჯზე, ამასთანავე, ქვეარე დროში წინსწრებით ინტეგრირებას უკეთებს და ძირითად არეს უკანვე აწვდის შედეგებს. პირველი მეთოდის (*1-way nesting*) შემთხვევაში უკუკავშირის მექანიზმი გამორთულია და ამდენად, ძირითადი არე უზრუნველყოფს სასაზღვრო პირობების მიწოდებას ქვეარისათვის, მაგრამ არ ხდება ინფორმაციის გაცვლა ქვეარიდან ძირითად არეში. რამდენადაც WRF EMS (NMM) მოდელში დინამიკური სქემების პაკეტი შერჩეულია ოპერატიული მიზნების გათვალისწინებით და მოდელის ავტორების მიერ არ არის რეკომენდირებული მათი შეცვლა და გარდა ამისა, დაშვებულია მხოლოდ მარტივი ე.წ. *1-way* ასინქრონული მეთოდი, რომლის საშუალებითაც ძირითადი არე მხოლოდ თვლის შემდეგ უზრუნველყოფს საწყის და სასაზღვრო პირობებს ქვეარისათვის, ამიტომ დინამიკური სქემების ტესტირება ხდებოდა მხოლოდ WRF EMS (ARW)

ბირთვისათვის. ასევე გამოყენებულია მხოლოდ ერთი ქვეარის ჩადგმის პროცედურა, რომელიც მოიცავს საქართველოს ტერიტორიას. ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ეს მეთოდი საკმაოდ ეფექტურია და განსაკუთრებით ღირებულია ამინდის ექსტრემალური პირობების (ძლიერი წვიმა, ჰაერის ანომალური ტემპერატურები, ძლიერი ქარები და სხვ.) პროგნოზირების მიზნით. ვიყენებდით „ქვეარის ჩადგმის“ ორივე მეთოდს, რამაც მათი შედარებითი დახასიათების შესაძლებლობა მოგვცა.

WRF EMS (ARW) და **WRFv3 (ARW)** მოდელების გამოყენებით სხვადასხვა ექსპერიმენტის შედეგად მიღებულია პროგრამული ფაილები და საპროგნოზო რუკები. მოდელის გამოთვლებზე დაყრდნობით შედგენილია პროგნოზები და შეფასებულია მათი ხარისხი და გამართლებადობა.

შინაარსი

1. რიცხვითი მოდელების როლი ამინდის პროგნოზირებაში.	6
2. ამინდის რიცხვითი მოდელი WRF EMS	9
3. ამინდის რიცხვითი მოდელი WRF ARW მოდელის კომპონენტები	14
3.2.3. მოდელის ადაპტაცია ოროგრაფიულ თავისებურებებთან.	23
3.2.4. მოდელის ძირითად არეში ქვეარის ჩადგმა.	24
3.3 WRF გაშვების შემდგომი სამუშაოების შესასრულებელი სისტემა და ვიზუალიზაციის საშუალებები.	26
3.3.2. ვიზუალიზაციის სისტემა GRADS.	27
3.3.3. ვიზუალიზაციის პროგრამა RIP4.	34
4. ინფორმაციული ტექნოლოგიები თანამედროვე ამინდის საპროგნოზო რიცხვით მოდელებში.	36
5. აპარატურულ-პროგრამული პლატფორმა.	37
6. ვარიაციული ასიმილაციის კოდი	39
7. ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზი.	49
8. მოდელის შეფასების სისტემა (MET).	57
9. დასკვნა.	58
ლიტერატურა	59

1. რიცხვითი მოდელების როლი ამინდის პროგნოზირებაში.

უკნასკნელი ათწლეულის განმავლობაში გამოთვლითი ტექნიკის სწრაფმა განვითარებამ, ატმოსფერული ფიზიკური პროცესების უფრო რეალისტურმა პარამეტრიზაციამ, დაკვირვების ახალმა თანამგზავრულმა მონაცემებმა, საწყისი პირობების განსაზღვრის უფრო დახვეწილმა მიდგომებმა, საპროგნოზო განტოლებათა ინტეგრირების ეფექტურმა რიცხვითმა მეთოდებმა ატმოსფერულ მოდელებს ამინდის რიცხვით პროგნოზირებაში ფართო ოპერატიული გამოყენება მოუპოვა.

საქართველოში არსებობს ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირების გარკვეული სამეცნიერო გამოცდილება, ასევე თანამედროვე მოდელების საშუალებით მათი ოპერატიული პროგნოზირებისათვის გამოყენების საწყისი ტექნოლოგიური საფუძველი, თუმცა საქართველოს პირობებში ამინდის მოკლე და საშუალოვადიანი პროგნოზების შედგენისათვის, ძირითადად, გამოიყენება მსოფლიო წამყვანი საპროგნოზო ცენტრების მიერ გამოშვებული სხვადასხვა წინსწრების ფონური (ძირითადად შვიდდღიანი) პროგნოზები, რომლებიც ვრცელდება ინტერნეტისა და სხვა სპეციალური ტელესაკუმანიკაციო სისტემებისა და პროგრამების საშუალებით. შემდგომ, საპროგნოზო რეგიონისა და მიმდებარე ტერიტორიების ფარგლებში ტარდება ამ ინფორმაციის სინოპტიკური ანალიზი – პროცესებზე ადგილობრივი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების ზეგავლენის გათვალისწინებით. ამინდის პროგნოზის ჩამოყალიბების პროცესი, ძირითადად, სუბიექტურ ხასიოს ატარებს, რაც ვერ უზრუნველყოფს პროგნოზების სასურველი შედეგების სტაბილურობას, განსაკუთრებით კი ამინდის ექსტრემალური პირობების განვითარების დროს. ამიტომ, ბუნებრივია, რომ აქ საკმაოდ მწვავედ დგას პროგნოზების საიმედოობის ამაღლების საკითხი.

ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირების დროს, გამოთვლებისათვის ოპტიმალური ტექნოლოგიის დამუშავება სასურველია ეფუძნებოდეს კომპიუტერული სისტემების განპარალელებას. წამყვან ქვეყნებში, ამინდის პროგნოზირებისათვის გამოიყენება კომპიუტერული სისტემების მასიური პარალელიზმი (როგორც არის სუპერკომპიუტერები **CRAY**) – მრავალრიცხოვანი (მილიონობით და მილიარდობით) პარალელურად მომუშავე პროცესორით. ამ მხრივ, განხილული მიმართულების ამინდის პროგნოზირების ამოცანისათვის მისადაგება, შეიძლება ჩაითვალოს ყველაზე მოწინავედ მონაცემთა პარალელური დამუშავების ტექნოლოგიების გამოყენებაში. გასული საუკუნის 90-იან წლებში გამოთვლითი ტექნიკის ნახტომისებურმა განვითარებამ ხელი შეუწყო მონაცემთა პარალელური დამუშავების ტექნოლოგიების განვითარებას, შეიქმნა ახალი მიმდინარეობები, რომლებიც იყენებენ თანამედროვე მიკროპროცესორული ტექნიკის მიღწევებს. სამწუხაროდ, ეს პერიოდი საქართველოში დაემთხვა ტექნიკური დეგრადაციის პერიოდს, რამაც გამოიწვია ახლად შექმნილი მიმართულებების სრული იგნორირება ჩვენს ქვეყანაში (დღეისათვის, საქართველოში ფაქტიურად არ არსებობს პარალელური დაპროგრამების გამოცდილება, როგორც სამეცნიერო-კვლევით ასევე კომერციულ სექტორში).

ატმოსფეროს მათემატიკური მოდელების გამოყენებით, მთელი დედამიწის სფეროსათვის ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირება მოითხოვს მონაცემთა

უზარმაზარი მასივების გარდაქმნასა და ურთულეს გაანგარიშებებს, რაც შეუძლებელია განხორციელდეს მძლავრი კომპიუტერული ტექნიკის გარეშე. ასეთი სიმრავლის ინფორმაციის გამოყენება განაპირობებს შესასწავლი ატმოსფერული პროცესების შესაბამისი (დასაშვები) გარჩევის უნარის მქონე, რთული მოდელების საფუძველზე მისაღები შედეგების მართვას. ამინდის პროგნოზის დასმული ამოცანის აღნიშნული სპეციფიკა მოითხოვს ძვირად ღირებულ (რამდენიმე მილიონი აშშ დოლარი და უფრო მეტი) მაღალტექნოლოგიურ უზრუნველყოფას, რაც დღევანდელ პირობებში მხოლოდ განვითარებული ქვეყნებისთვისაა შესაძლებელი. ამინდის გლობალური მოდელები, რომლებიც ამინდის ფართომასშტაბიან (1000 კმ და მეტი) პროცესებს აღწერენ, იძლევიან პროგნოზს ერთი კვირის წინასწარობით. ანუ, იძლევიან ინფორმაციას ამინდის ფონური მდგომარეობის შესახებ, მაგრამ ვერ იჭერენ შედარებით მცირემასშტაბიან პროცესებს, მით უფრო, როდესაც ადგილობრივი ამინდი ყალიბდება ისეთი პროცესებით, როგორცაა მაგ. კონვექცია. ასეთი ატმოსფერული პროცესები ვერ აღიწერება გლობალური მოდელებით, რომელთა სათვლელი ბადის ზომა საკმაოდ დიდია და შესაბამისად, კონკრეტული ვადისათვის ამინდის ადგილობრივი თავისებურებების გარჩევის უნარი დაბალია. დღეისათვის არსებული მძლავრი კომპიუტერული სისტემების გამოყენების შესაძლებლობის მიუხედავად, ამინდის ადგილობრივი გამოვლენის გარჩევის მისაღები სიზუსტის მიღწევა დედამიწის მთელი სფეროსათვის, მხოლოდ გლობალური მოდელის საშუალებით, პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამგვარად, ადგილობრივი რეალური ამინდის წინასწარმეტყველებისათვის დღის წესრიგში დგება რეგიონული (შემოსახლვრული ტერიტორიის მქონე არის) მოდელების დამუშავების აუცილებლობა.

აღნიშნული აუცილებლობის რეალურ პირობებში მიღწევისა და დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად დამუშავებული მოდელის რეალიზაციისათვის მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება პროგრამულ-ტექნიკურ (ტექნოლოგიურ) უზრუნველყოფას. ამ მიმართულებით მონაცემთა პარალელური დამუშავების ტექნოლოგიების განვითარებამ და ფართომასშტაბური პარალელური პროცესირებისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნამ, გამოთვლითი ტექნიკის (მათ შორის: პერსონალური კომპიუტერის) შესაძლებლობები ბევრად გაზარდა და ეკონომიკური დანახარჯები მნიშვნელოვნად შეამცირა. ბევრი ქვეყნის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ სამსახურებში ოპერატიული მოკლევადიანი პროგნოზირებისათვის ხელმისაწვდომი გახდა შემოსახლვრული არის მქონე მოდელების გამოყენება. ამ მოდელების სპექტრი საკმაოდ მრავალფეროვანია, რომელთაგან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებენ მეზომასშტაბური მოდელები, აგრეთვე ატმოსფეროს დინამიკური მოდელები, რომელთაც აქვთ ხელოვნური საზღვრები, სადაც მოდელის ცვლადების მნიშვნელობები განისაზღვრება უფრო უხეშ ბადაზე გლობალური მოდელების გაშვების შედეგებიდან. ეს მოდელები აღწერენ გლობალური მოდელებისათვის შეუმჩნეველ ამინდის რეალურ პირობებს, რომლებიც ხშირად ყალიბდებიან ატმოსფეროში მიმდინარე მცირემასშტაბიანი პროცესებით.

თემის ფარგლებში დამუშავდა და ადგილობრივი პირობებისადმი ადაპტირებული იქნა ლოკალური ტერიტორიით შემოსახლვრული არის ისეთი მოდელები, რომელთა მეთოდოლოგიური საფუძვლები ეფუძნება საერთაშორისო პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებულ მიმართულებებს, როგორცაა **WRF-EMS** (გარემოს მოდელირების სისტემა) და **WRF-ARW** (ამინდის გაუმჯობესებული კვლევა). აღნიშნული მეთოდოლოგიის გამოყენება საშუალებას იძლევა, რომ

რეალურ დროში განხორციელდეს წამყვანი ქვეყნების ერთ-ერთი საპროგნოზო ცენტრის მიერ უკვე დანერგილი გლობალური მოდელის (GFS) ამოხსნის შედეგების გადათვლა შემოსახდვრული არისათვის ადგილობრივი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პარამეტრებისა და რიგი მეზო- და მიკრომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების გათვალისწინებით.

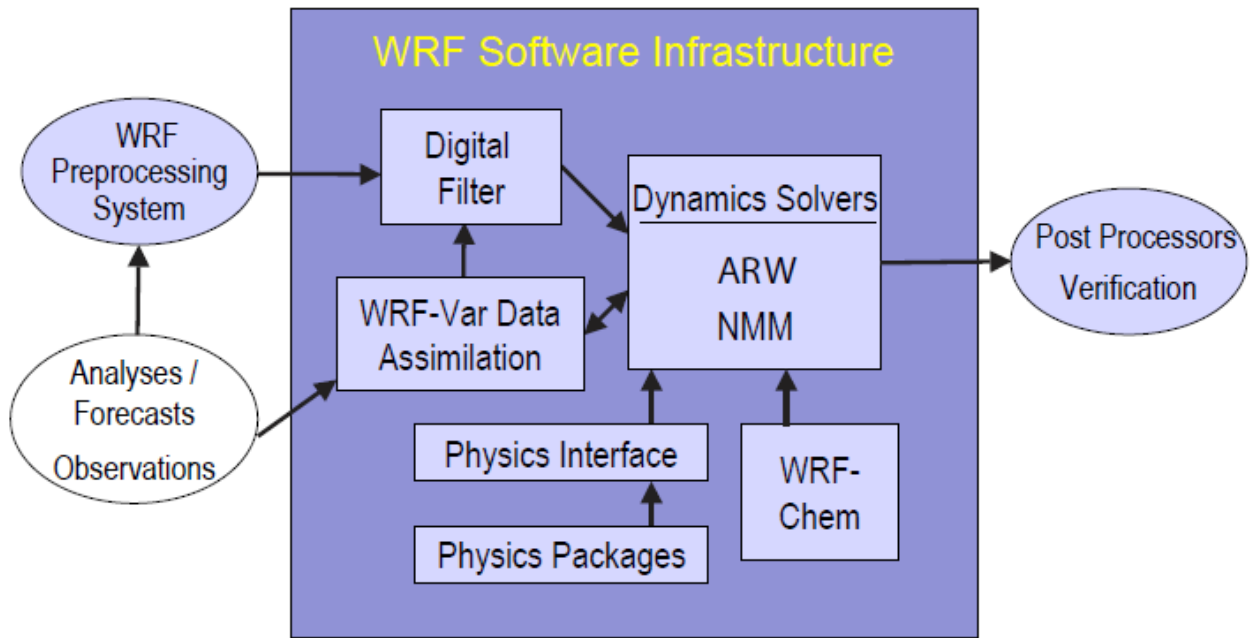
ლოკალური ტერიტორიის არის (სივრცის) მოდელის სტრუქტურა პირობითად შეიძლება გაყოფილი იქნას დინამიკურ ნაწილად და „ფიზიკურ პაკეტად“. მისი კონფიგურაცია კავკასიის რეგიონისათვის ითვალისწინებს შესაბამისი „ფიზიკური პაკეტის“ მორგებას, როგორცაა ადგილობრივი გეოგრაფიულ-ლანდშაფტური თავისებურებები (მათ შორის: რელიეფის პარამეტრები, მიწათსარგებლობისა და ნიადაგის ტიპები, სიღრმეებზე ნიადაგის ტემპერატურა, მცენარეულობის სეზონური განაწილება, ადგილის არეკვლისუნარიანობა და სხვა). დინამიკური ნაწილი – კავკასიის რთული რელიეფის, შავი და კასპიის ზღვების სიახლოვის გავლენით ატმოსფეროში მიმდინარე იმ ზოგადცირკულაციური პროცესების ტრანსფორმაციას უზრუნველყოფს, რომლის შედეგადაც ყალიბდება ადგილობრივი ამინდი. ამ პროცესების დაზუსტება შესაძლებელი გახდა ფიზიკური პროცესების აღმწერი სქემების ოპტიმალური კონფიგურაციის შერჩევით. გარდა ამისა, **ARW** უზრუნველყოფს მოდელირებისას უფრო მაღალი სივრცულ-დროითი გარჩევის უნარის მქონე დამატებითი ჰორიზონტალური ბადის (ან ბადეების) შემოტანის საშუალებას საინტერესო ქვერეგიონზე ფოკუსირების მიზნით, რაც მოდელის გარჩევისუნარიანობას მნიშვნელოვნად (15 კმ-დან 5კმ-დე) გაზრდის. პარალელურად განაწილებული მეხსიერების მქონე კომპიუტერული სისტემების გამოყენების ხარჯზე **ARW**-ში „ქვეარის ჩადგმის“ ინფრასტრუქტურა უზრუნველყოფს, ასევე, ასეთი ქვეარის მოძრაობის უნარიანობას.

2. ამინდის რიცხვითი მოდელი WRF EMS

ამინდის კვლევისა და პროგნოზირების მოდელი (WRF) ეს არის ამინდის რიცხვითი მეთოდებით პროგნოზირებისა და ატმოსფეროს სიმულირების სისტემა, რომელიც შექმნილია როგორც კვლევითი, ასევე ოპრეტიული გამოყენებისათვის. მოდელი დამუშავებულია: აშშ ატმოსფეროს კვლევის ეროვნული ცენტრის (NCAR) მეზომასშტაბური და მიკრომასშტაბური მეტეოროლოგიის განყოფილებაში (MMM), ოკეანისა და ატმოსფეროს ადმინისტრირების (NOAA) ცენტრებში გარემოს პროგნოზირებისათვის (NCEP) და დედამიწის სისტემის კვლევის ლაბორატორიაში (ESRL), სამხედრო-საჰაერო თავდაცვის დეპარტამენტის ამინდის სააგენტოში (AFWA) და ნავალის კვლევით ლაბორატორიაში (NRL), შტორმების ანალიზისა და პროგნოზირების ცენტრში (CAPS), ავიაციის ფედერალურ ადმინისტრაციაში (FAA) სხვადასხვა უნივერსიტეტების მეცნიერთა მონაწილეობით. გამოყენების სფეროებია: რიცხვითი პროგნოზირება რეალურ დროში, მონაცემთა ასიმილაცია, კვლევები ფიზიკურ პარამეტრიზაციაზე, რეგიონული კლიმატური სიმულაციები, ჰაერის ხარისხის მოდელირება, ატმოსფერო-ოკეანის წყვილური მოდელირება, იდეალიზირებული სიმულაციები. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია WRF პროგრამული ჩარჩოს (WSF) ინფრასტრუქტურა.

WRF EMS წარმოადგენს აშშ ამინდის სამსახურის სამეცნიერო და ოპერატიული ოფისის სამეცნიერო და სასწავლო რესურს-ცენტრის (SOO/STRC) ამინდის კვლევისა და პროგნოზირების გარემოს მოდელური სისტემის (EMS) რიცხვითი პროგნოზირების პაკეტს. მისი ძირითადი უპირატესობანია:

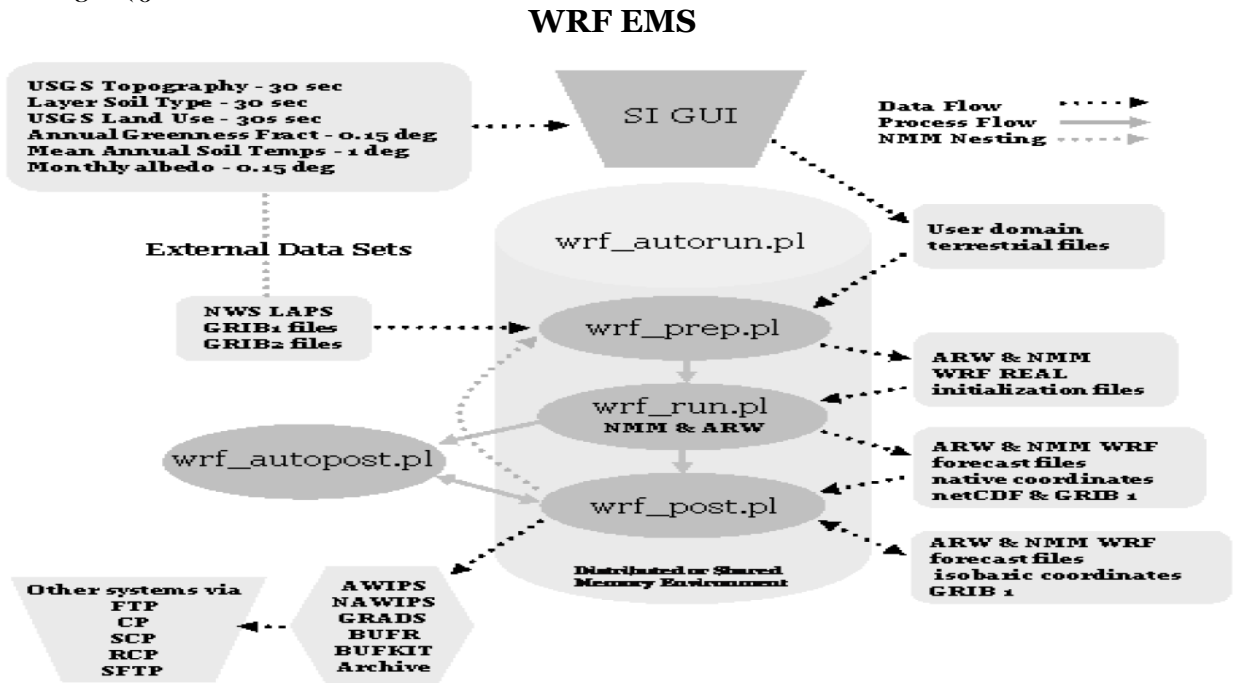
- სრული ფიზიკური პაკეტი;
- მოხმარებისა და კონფიგურირების სიმარტივე;



ნახ. 1

- შეიცავს 32- და 64-ბიტის **Linux**-ის სისტემაზე ოპტიმიზირებულ წინასწარ კომპილირებულ ბინარულ სისტემას, რაც არ მოითხოვს კომპილერებას. ამასთან, ეშვება როგორც განაწილებული, ასევე გაყოფილი მექსიერების მქონე გარემოში ლოკალურ კლასტერებზე;
- საინსტალაციო სკრიპტი უზრუნველყოფს ოპერატიული პროგნოზირებისთვის მოდელის გაშვებათა წინასწარ გაწერას;
- უზრუნველყოფილია სისტემის ავტომატური განახლების შესაძლებლობა;
- რეალურ დროში პროგნოზირებისას სისტემას გააჩნია ინიციალიზაციის მონაცემთა მოპოვების პრობლემების მინიმიზების საშუალება ალტერნატიული სერვერების, მონაცემთა ბაზების მოძიების ან ინტეგრების საწყისი საათის შეცვლის გზით;
- მოდელის ყველა პარამეტრი ამოიცნობა და იწერება კონფიგურაციის ფაილებში, რომლებიც თითოეული დინამიკური ბირთვისთვის შეიცავენ სტანდარტულ პარამეტრებს;
- მოდელურ სისტემას საშუალება აქვს მოდელის ინიციალიზაციისათვის გამოიყენოს **NFS**, **FTP**, და **HTTP** გაფართოების ფაილები, განსაზღვროს თუ მონაცემთა რომელი ნაკრებია შესაძლებელი სხვადასხვა მოდელის გაშვების შემდეგ მოცემულ დროს. ასევე, მონაცემთა სხვადასხვა ნაკრებების გამოყენება შესაძლებელი საწყისი და სასაზღვრო პირობებისთვის;
- **WRF EMS** შეუძლია დათვალოს შესაბამისი დროითი ბიჯით მოდელის სხვადასხვა დინამიკისა და ფიზიკური სქემებისთვის.
- მოდელში უზრუნველყოფილია 1-გვარის ქვეარის ჩადგმა **WRF NMM** ბირთვისათვის და 2-გვარისა – **WRF ARW** ბირთვისათვის.

- **WRF EMS** პაკეტი უზრუნველყოფს საპროგნოზო ფაილების დამუშავებას ვიზუალიზაციის პროგრამებით რეალურ დროში, ანუ მოდელის თვლის პროცესში.
- მოდელის თვლის შემდგომი სამუშაოები ხორციელდება სხვადასხვა პროგრამული უზრუნველყოფების მიერ. მათ შორის: **AWIPS, BUKIT, NCL, GRADS, GEMPAK, NAWIPS**.
- საპროგნოზო ველების მოცემა შესაძლებელია წნევის 47 დონეზე დაწყებული 2-დან 1013 მბ-მდე ყოველი 25 მბ-ის შემდეგ.
- დამუშავებული პროგნოზების გადაცემა შესაძლებელია **FTP, cp, SCP**, ან **rcp**-ის საშუალებით.



ნახ. 2

WRF EMS მოდელი ორი სახვადასხვა დინამიკური ბირთვისაგან შედგება, რომლებიც დამოუკიდებელ მოდელებს წარმოადგენენ.

1) **NMM** (არაჰიდროსტატიკური მეზომასშტაბური მოდელი) დამუშავებულია გარემოს პროგნოზირების ცენტრში (**NCEP**), გამოიყენება ოპერატიული მიზნებისათვის. იგი იყენებს რუკის მბრუნავ პროექტორს (*rotated latlon*), წნევა იზომება ეტა-კოორდინატებში, გარჩევის უნარიანობა 12 კმ-ია, ითვალისწინებს ნიადაგის 4 ფენას, განტოლებათა სისტემის ამოხსნისას სარგებლობს არაკავას **E** ბადით, სადაც ბადის კვანძებში გამოითვლის სინქარის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მნიშვნელობებს, ხოლო ცენტრში პოტენციალურ ტემპერატურას.

2) **ARW** დამუშავებულია აშშ ატმოსფეროს კვლევის ეროვნული ცენტრში (**NCAR**), გამოიყენება კვლევითი მიზნებისათვის. იგი გამოიყენებს რუკის ე.წ. ლამბერტის კომფორმულ პროექტორს (*lambert conformal*), წნევა იზომება ეტა-კოორდინატებში, გარჩევის უნარიანობა 15 კმ-ია, ითვალისწინებს ნიადაგის 4 ფენას, განტოლებათა სისტემის ამოხსნისას სარგებლობს არაკავას **C** ბადით, სადაც

ბადის კვანძებში გამოითვლის სინქარის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მნიშვნელობებს, ხოლო ცენტრში ტემპერატურას.

1) ოპერატიული მოდელისათვის (**WRF NMM**) გამოცდილი იქნა შემდეგი ფიზიკური სქემები:

„გროვა ღრუბლების“ პარამეტრიზაცია – ბეტს-მილერ-ჯენიკის სქემა: მარეგულირებელი სქემა ღრმა და არაღრმა კონვექსიისათვის, (ჯენიკი, 1994, 2000).

მიკროფიზიკური სქემა – ფერიეს ახალი სქემა: რაციონალური სქემა პროგნოსტიკული შერეული ფაზის პროცესებისათვის. ყინული ნაჯერად ითვლება -30°C -ზე ნაკლებ ტემპერატურებზე და არა -10°C -ზე.

სასაზღვრო ფენის სქემა – მელორ-იამადა-ჯენიკის სქემა: ერთ-განზომილებიანი პროგნოსტიკული ტურბულენტური კინეტიკური ენერჯის სქემა ლოკალური ვერტიკალური შერევით (ჯენიკი, 1990, 1996, 2002).

დედამიწის ზედაპირის ფიზიკა – **NMM**-ის ხმელეთის ზედაპირის მოდელი (**LSM**): ეფუძნება 2005 წლის მაისის **NOAH**-ის ხმელეთის ზედაპირის მოდელს 4-ფენიანი ნიადაგის ტემპერატურითა და სინოტივით, ფრაგმენტული თოვლის საფარითა და ნიადაგის წაყინვის ფიზიკით (ეკი და სხვ. 2003).

ზედაპირის ფენების ფიზიკა – ჯენიკის მსგავსების სქემა: ეფუძნება მონინ-ობუხოვის სქემას ზილიტინკევიჩის თერმული არაერთგვაროვნების სიგრძისა და მსგავსების სტანდარტული ფუნქციების გამოყენებით (ჯენიკი 1996b; ჩენი და სხვ. 1997).

გრძელტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – **GFDL** მოდელის გრძელტალღიანი რადიაციის სქემა: მოიცავს ღრუბლების მიკროფიზიკასაც (შვარცკოფი და ფელსი, 1975, 1985, 1991).

მოკლეტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – **GFDL** მოდელის მოკლეტალღიანი რადიაციის სქემა: ორი სპექტრული, **k**-განაწილების სქემა, განიხილავს ოზონსა და წყლის ორთქლს, როგორც ძირითად შტანმტქმელ აირებს (ლაკისი და ჰანსენი, 1974). მოიცავს ღრუბლების მიკროფიზიკასაც.

2) კვლევითი მოდელისათვის (**WRF ARW**) გამოცდილი იქნა შემდეგი ფიზიკური სქემები:

„გროვა ღრუბლების“ პარამეტრიზაცია – კეინ ფრიჩის ახალი სქემა **NAM** მოდელიდან: აღნიშნული სქემა აღწერს ღრმა და არაღრმა კონვექციურ პროცესებს დაღმავალი მასური ნაკადების მიდგომით (კაინი 2004, კაინი და ფრიტჩი 1990, 1993).

მიკროფიზიკური სქემა – ლინისა და სხვ. სქემა: ამ პროცესების აღსაწერად მოდელში გამოყენებულია 5-კლასის სიმულაციური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს თოვლისა და ყინულის არსებობას და მოსახერხებელია რეალური მონაცემების მაღალი გარჩევისუნარიანობით (5კმ-ზე ნაკლები) ამოხსნისას (ლინი და სხვ. 1983; 12როგნოსი და ჰობსი, 19984; ტაო და სხვ. 1989; ჩენი და შანი, 2002).

სასაზღვრო ფენის სქემა – იონსის უნივერსიტეტის სქემა: არალოკალური **k**-სქემა, არაცხადი გადატანითი ფენითა და არასტაბილურ შერეულ სქემაში **k**-პარაბოლური პროფილით (სკამაროკი და სხვ. 2005).

დედამიწის ზედაპირის ფიზიკა – **NOAH**-ის ხმელეთის ზედაპირის მოდელი: უნიფიცირებული **NCEP/NCAR/AFWA**-ის სქემა 4-ფენიანი ნიადაგის ტემპერატურისა და სინოტივის, ფრაგმენტული თოვლის საფარისა და ნიადაგის წაყინვის ფიზიკის გამოყენებით.

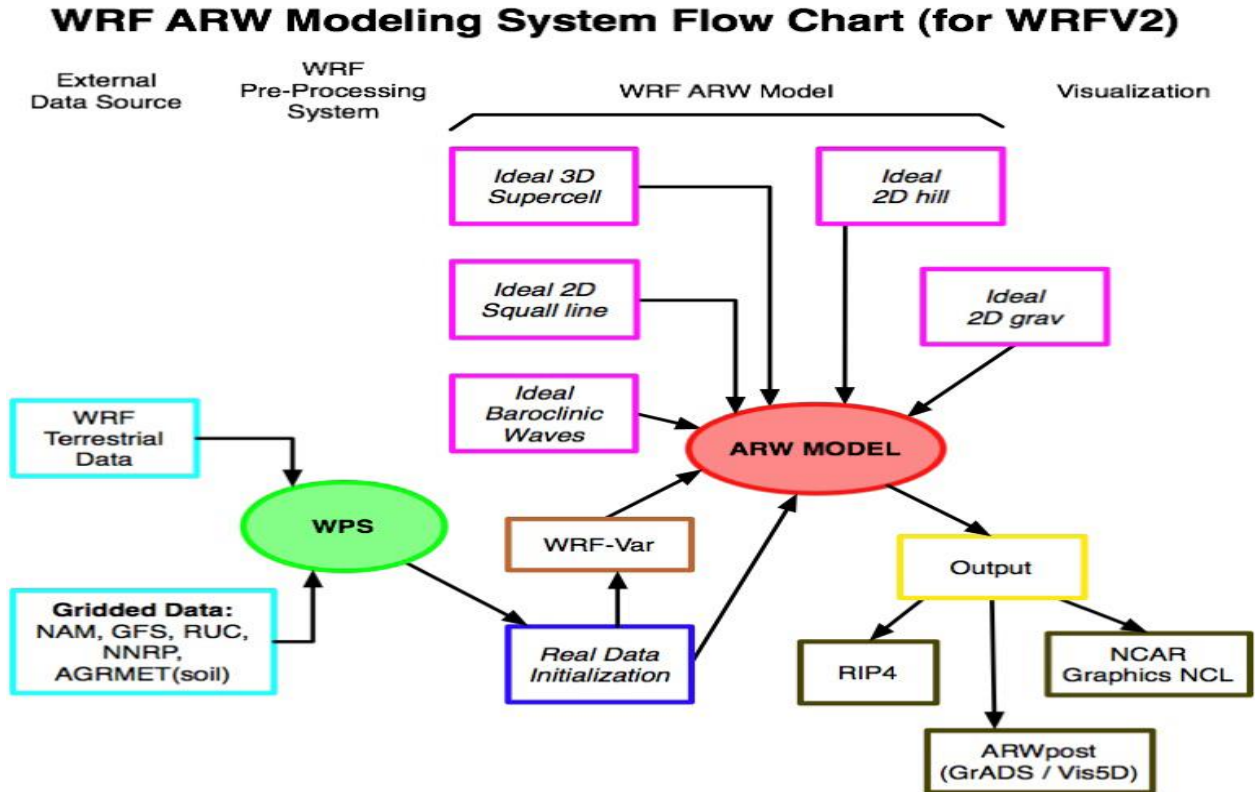
ზედაპირის ფენების ფიზიკა – მეზომასშტაბური მოდელის (MM5) მსგავსების სქემა: ეფუძნება მონინ-ობუხოვის სქემას კარლსონ-ბოლანდის ვისკოზური ქვე-ფენისა და მსგავსების სტანდარტულ ფუნქციებს (სკამაროკი და სხვ. 2005).

გრძელტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – რადიაციის სწრაფი გადატანის (RRTM) სქემა: დაზუსტებული სქემა, ითვალისწინებს რთულ ნარევებს, მცირე გაზურ მინარევებს და ნაწილაკების მიკროფიზიკას, ასევე, ღრუბლებთან ურთიერთქმედებას (მლავერი და სხვ. 1997).

მოკლეტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – დუდიას სქემა: მარტივი დადამავალი ინტეგრირების სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ღრუბლებისა და მოწმენდილი ცის მიერ შთანთქმისა და გაბნევის პროცესებს. არ ითვალისწინებს აეროზოლებს (დუდია 1989).

შესრულებული იქნა **WRF EMS (ARW)** მოდელის დინამიკურ ბირთვში რიგი პროგრამული ფაილების რედაქტირება და 5-კმ-იანი ამოხსნის მქონე „ქვეარის ჩადგმა“ ორი სხვადასხვა მეთოდით. მეორე მეთოდი (**2-way nesting**) ითვალისწინებს „ქვეარიდან“ ძირითად არეში ინფორმაციის დაბრუნებას, ანუ უკუკავშირს. ძირითადი არე უზრუნველყოფს სასაზღვრო პირობების მიწოდებას ქვეარისათვის ძირითადი არის ყოველ დროით ბიჯზე, ამასთანავე, ქვეარე დროში წინსწრებით ინტეგრირებას უკეთებს და ძირითად არეს უკანვე აწვდის შედეგებს. პირველი მეთოდის (**1-way nesting**) შემთხვევაში უკუკავშირის მექანიზმი გამორთულია და ამდენად, ძირითადი არე უზრუნველყოფს სასაზღვრო პირობების მიწოდებას ქვეარისათვის, მაგრამ არ ხდება ინფორმაციის გაცვლა ქვეარიდან ძირითად არეში. რამდენადაც **WRF EMS (NMM)** მოდელში დინამიკური სქემების პაკეტი შერჩეულია ოპერატიული მიზნების გათვალისწინებით და მოდელის ავტორების მიერ არ არის რეკომენდირებული მათი შეცვლა და გარდა ამისა, დაშვებულია მხოლოდ მარტივი ე.წ. **1-way** ასინქრონული მეთოდი, რომლის საშუალებითაც ძირითადი არე მხოლოდ თვლის შემდეგ უზრუნველყოფს საწყის და სასაზღვრო პირობებს ქვეარისათვის, ამიტომ დინამიკური სქემების ტესტირება ხდებოდა მხოლოდ **WRF EMS (ARW)** ბირთვისათვის. ასევე გამოყენებულია მხოლოდ ერთი ქვეარის ჩადგმის პროცედურა, რომელიც მოიცავს საქართველოს ტერიტორიას. ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ეს მეთოდი საკმაოდ ეფექტურია და განსაკუთრებით ღირებულია ამინდის ექსტრემალური პირობების (ძლიერი წვიმა, ჰაერის ანომალური ტემპერატურები, ძლიერი ქარები და სხვ.) პროგნოზირების მიზნით. ვიყენებდით „ქვეარის ჩადგმის“ ორივე მეთოდს, რამაც მათი შედარებითი დახასიათების შესაძლებლობა მოგვცა.

3. ამინდის რიცხვითი მოდელი WRF ARW მოდელის კომპონენტები

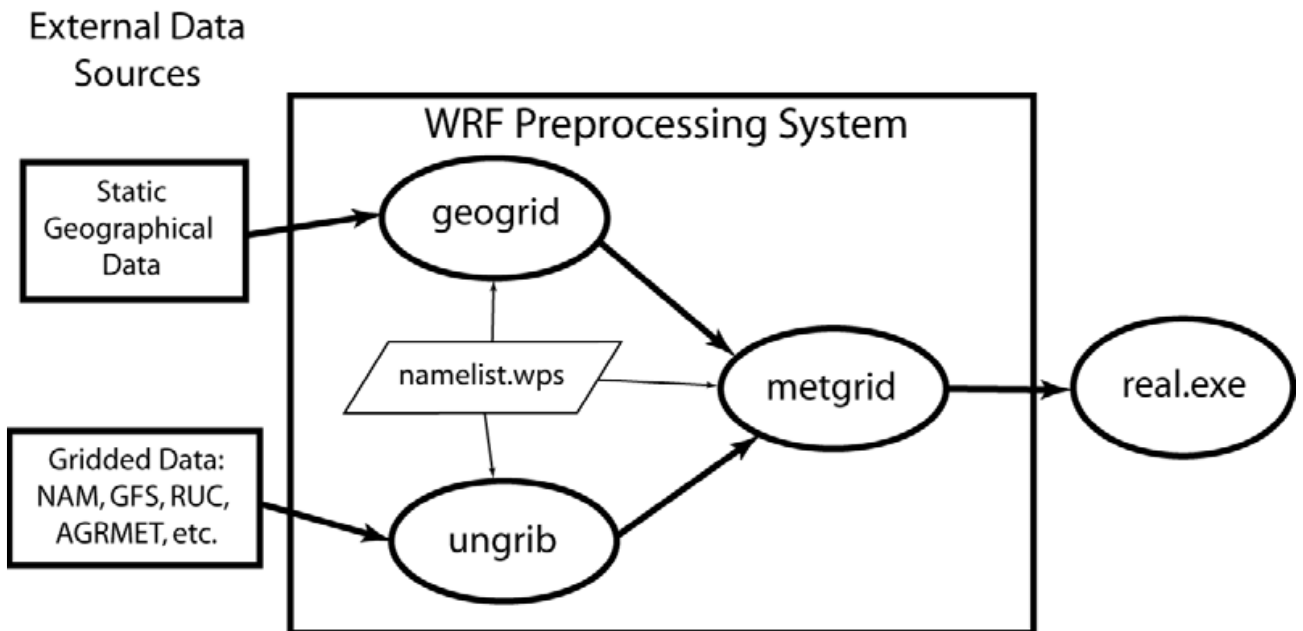


ნახ. 3

როგორც დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 3), **WRF** მოდელური სისტემა შედგება შემდეგი ძირითადი პროგრამებისგან: **WRF** გაშვების წინა სამუშაოების შესასრულებელი სისტემა (**WPS**), **ARW** დინამიკური ბირთვი, ვარიაციული ასიმილაციის კოდი (**WRF-Var**), გაშვების შემდგომი სამუშაოების შესასრულებელი (**PostProcessing**) პროგრამული პაკეტი და ვიზუალიზაციის საშუალებები.

3.1 WPS-ის ძირითადი ფუნქციებია სიმულაციის ძირითადი და ჩადგმული არეების განსაზღვრა; ბადის ყოველი კვანძისათვის გრძედის, განედის, რუკის მასშტაბის მამრავლის, კორიოლისის პარამეტრების გაანგარიშება; ხმელეთის სტატიკურ მონაცემთა (როგორცაა ხმელეთის სიმაღლე, მიწათსარგებლობის კატეგორიები, ნიადაგის ტიპი (ზედა და ქვედა ფენები), ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა, მცენარეული საფარის განაწილება თვეების მიხედვით, ზედაპირის ალბედო თვეების მიხედვით) ინტერპოლირება სიმულაციის არეზე; სიმულაციის მოცემულ არეზე სხვა მოდელიდან აღებული დროში ცვლადი მეტეოროლოგიური მონაცემების გარდაქმნა და ინტერპოლირება. ინტერპოლირების საშუალებებია: უახლოესი მეზობელი, 4-წერტილიანი ორმაგად წრფივი, 16-წერტილიანი გადაფარვითი პარაბოლური, 4-წერტილიანი საშუალო, 16-წერტილიანი საშუალო, ბადის უჯრის საშუალო.

დიაგრამაზე წარმოდგენილია მონაცემთა ნაკადების მიმართულებები იმ სამ ძირითად პროგრამას შორის, რომელთა საშუალებითაც სრულდება ეს სამუშაოები. ეს პროგრამებია:



ნახ. 4

1) **geogrid** პროგრამის მიზანია სიმულაციის არის განსაზღვრა და მოდელის ბაღეზე ხმელეთის სხვადასხვა მონაცემთა ნაკრებების ინტერპოლირება. სიმულაციის არეები განისაზღვრება **WPS**-ის შემსვლელი ფაილის (**namelist.wps**) სპეციალურ ნაწილში მომხმარებლის მიერ. ამასთან, ბაღის ყოველ კვანძში გრძედის, განედის, რუკის მასშტაბის მამრავლისა და კორიოლისის პარამეტრების გასაანგარიშებლად **geogrid** პროგრამა ახდენს ნიადაგისა და მიწათსარგებლობის ტიპების, ხმელეთის სიმაღლის, სიდრმეებზე ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის, ვეგეტაციის თვის საშუალო განაწილების, თვის საშუალო ალბედოს, თოვლის მაქსიმალური ალბედოს და ფერდობების დახრის კატეგორიების ჰორიზონტალურ ინტეპოლირებას მოდელის ბაღეზე სტანდარტულად. თითოეული ზემოთ ჩამოთვლილი ველისათვის მონაცემები აიღება გლობალური ბაზებიდან და რამდენადაც ისინი დროში უცვლელია, საკმარისია მათი ერთხელ მორგება სიმულაციის არეზე. ბაზებში ეს მონაცემები არსებობს გარჩევის სხვადასხვა უნარით. ჩვენს შემთხვევაში მოდელის ძირითადი და ჩადგმული არეებისათვის გამოყენებული იქნა 5 და 2 არკმინუტიანი რეზოლუციის მონაცემები, შესაბამისად.

სტანდარტული ხმელეთის ველების გარდა **geogrid** პროგრამას შესაძლებლობა აქვს სიმულაციის არეზე ინტერპოლაცია გაუკეთოს უმრავლესობა უწყვეტ და კატეგორიულ ველებს ცხრილური ფაილის **GEOGRID.TBL** მეშვეობით, რომელშიც მოიცემა პროგრამით შექმნილი ყველა ველისა და ინტერპოლაციის მეთოდის აღწერა. პროგრამის გამომავალი ფაილები იწერება **WRF I/O API** ფორმატში და მარტივია ვიზუალიზაციის პროგრამებისათვის გამოსაყენებლად.

2) **ungrib** პროგრამა გამოიყენება **GRIB** ფორმატის ფაილების წასაკითხად, გასაშიფრად და მარტივ გარდამავალ ფორმატში გადასაყვანად. აღნიშნული ფორმატის ფაილები შეიცავენ დროში ცვლად მეტეოროლოგიურ ველებს და ძირითადად სხვა რეგიონული, ან გლობალური მოდელებიდან (ჩვენს შემთხვევაში

GFS) აიღება მოდელის ინიციალიზაციისათვის. პროგრამა იყენებს ე.წ. ცვლადთა ცხრილების (**Vtables**) ფაილს გლობალური ფაილიდან მოდელისთვის საჭირო ცვლადებისა და დონეების ამოსაჭრელად.

3) **metgrid** პროგრამა ჰორიზონტალურ ინტერპოლაციას უკეთებს **ungrib** პროგრამის მიერ გარდამავალ ფორმატში ჩაწერილ მეტეოროლოგიურ მონაცემებს. **metgrid**-ს შეუძლია ინტერპოლირება გაუკეთოს როგორც იზობარულ, ასევე ვერტიკალურ კოორდინატებში მოცემულ მონაცემებს. ყოველი სიმულაციისას **namelist.wps** ფაილის შესაბამისი ჩანაწერის მეშვეობით აუცილებელია იმ კონკრეტული თარიღების მითითება, რომლისთვისაც ხდება პროგნოზირება. თითოეულ მეტეოროლოგიურ ველზე კონტროლირება ხორციელდება ცხრილური ფაილის **METGRID.TBL** მეშვეობით. **metgrid** პროგრამის საშუალებით ხორციელდება ქარების მობრუნებაც **ARW** ბადეზე ისე, რომ **u** და **v** კომპონენტები პარალელური იყოს **x** და **y** ღეძებისა, შესაბამისად. ქარის სიჩქარეები შემდგომ ინტერპოლირდება ბადის უჯრის გვერდებზე, ხოლო სხვა მეტეოროლოგიური ველები – ცენტრში.

აღწერილი სამი ძირითადი პროგრამის გარდა **WPS**-ს მოყვება დამხმარე პროგრამებიც, რომლებიც გამოიყენება მონაცემთა გამოსაკვლევადა, ჩადგმული არეების მდებარეობის ვიზუალიზების მიზნით, წნევისა და ზედაპირის საშუალო ტემპერატურის ველების საანგარიშოდ.

დანერგილი იქნა **WRFv3 ARW** მოდელი. საინსტალაციო ცვლადთა ტიპური გარემოს შექმნის შემდეგ მოხდა **wrf** ჩარჩოს დანერგვა, რისთვისაც გადმოიტვირა **WPSv3.1.TAR.gz** და განხორციელდა კომპიუტერის კონფიგურაციის შესაბამისი კომპილირება და დაინსტალირება. საინსტალაციო სამუშაოების წარმატებით დასრულების შემდეგ შესაბამის დირექტორიებში შეიქმნა აღმასრულებელი ფაილები და მოხდა მათი ქმედითუნარიანობის შემოწმება. როდესაც **wrf** ჩარჩო დაინერგება, მხოლოდ შემდეგ ხდება გაშვების წინა (**WPS**) კოდის **WPS.tar.gz** ჩამოტვირთვა, კონფიგურირება და კომპილირება. საინსტალაციო სამუშაოების წარმატებით დასრულების შემდეგ იქმნება სამი აღმასრულებელი ფაილი (**geogrid.exe; ungrib.exe; metgrid.exe**). პირველ ჯერზე მოხდა მოდელის საცდელი გაშვება, რომლის შესაბამისი საწყისი მონაცემებისა და გეოგრაფიული არის შესაბამისი პარამეტრები თანდართული აქვს მოდელს.

რეალური მონაცემებისათვის მოდელის გაშვების შემდგომი ეტაპია საწყისი და სასაზღვრო პირობების ფაილის მომზადება. ამისათვის გამოიყენება აღმასრულებელი პროგრამა **real.exe**, რომელიც ამასთანავე ახდნს მოდელის და ნიადაგის დონეებზე მონაცემთა ვერტიკალურ ინტერპოლირებას, ამყარებს ვერტიკალურ (დინამიკურ) ბალანსს და ამოწმებს მაწათსარგებლობის არსებობას. შედეგად მიიღება გამომავალი ფაილი **wrfinput_d0X**.

საბოლოო ეტაპზე ხდება რიცხვითი ინტეგრების პროგრამის **wrf.exe** გაშვება. მოდელის თვლის შედეგები ინახება სტანდარტულ გამომავალ ფაილში **wrfout_d0X_YYYY-MM-DD_hh:mm:ss**.

ზემოთ ხსენებული ორივე პროგრამა (**real.exe, wrf.exe**) შედის მოდელის ბირთვში.

3.2. WRFv3 ARW წარმოადგენს **ARW** დინამიკურ ბირთვს **WRF** სისტემის სხვა კომპონენტებთან ერთად და გამოიყენება სიმულაციების საწარმოებლად.

3.2.1 ARW დინამიკური ბირთვის ძირითადი მახასიათებლებია:

- **განტოლებები:** ძირითადი მართვადი განტოლებები ეფუძნება ნაკადის ფორმის ვილერის განტოლებებს

$$\begin{aligned} \partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) - \partial_x(p\partial_\eta\phi) + \partial_\eta(p\partial_x\phi) &= F_U \\ \partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) - \partial_y(p\partial_\eta\phi) + \partial_\eta(p\partial_y\phi) &= F_V \\ \partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g(\partial_\eta p - \mu) &= F_W \\ \partial_t \Theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) &= F_\Theta \\ \partial_t \mu + (\nabla \cdot \mathbf{V}) &= 0 \\ \partial_t \phi + \mu^{-1}[(\mathbf{V} \cdot \nabla\phi) - gW] &= 0 \end{aligned}$$

x, y და η ინდექსები აღნიშნავენ დიფერენცირებას და

$$\mathbf{V} \cdot \nabla a = U\partial_x a + V\partial_y a + \Omega\partial_\eta a$$

სადაც \mathbf{a} ზოგადი ცვლადია. $\gamma=c_p/c_v=1.4$ არის მშრალი ჰაერის სითბოშემცველობის ფარდობა, R_d აირის მუდმივაა მშრალი ჰაერისათვის და p_0 ზედაპირის წნევაა (ჩვეულებრივ, 10^5 პასკალი). F_U, F_V, F_W და F_Θ წარმოადგენენ წვევრებს, რომლებიც განპირობებულია მოდელის ფიზიკით, ტურბულენტური შერევით, სფერული პროექციებით და დედამიწის ბრუნვით.

სინოტივის, რუკის ფაქტორის, დედამიწის ბრუნვასთან დაკავშირებული წვევრების, ასევე შეშფოთების ცვლადების გათვალისწინებით **ARW** დინამიკური ბირთვში წარმოდგენილი ძირითად განტოლებები იღებენ შემდეგი სახეს:

$$\begin{aligned} \partial_t U + m_x[\partial_x(Uu) + \partial_y(Vu)] + \partial_\eta(\Omega u) + (\mu_d \alpha \partial_x p' + \mu_d \alpha' \partial_x \bar{p}) \\ + (\alpha/\alpha_d)(\mu_d \partial_x \phi' + \partial_\eta p' \partial_x \phi - \mu_d' \partial_x \phi) &= F_U \\ \partial_t V + m_y[\partial_x(Uv) + \partial_y(Vv)] + (m_y/m_x)\partial_\eta(\Omega v) + (\mu_d \alpha \partial_y p' + \mu_d \alpha' \partial_y \bar{p}) \\ + (\alpha/\alpha_d)(\mu_d \partial_y \phi' + \partial_\eta p' \partial_y \phi - \mu_d' \partial_y \phi) &= F_V \\ \partial_t W + (m_x m_y / m_y)[\partial_x(Uw) + \partial_y(Vw)] + \partial_\eta(\Omega w) \\ - m_y^{-1} g(\alpha/\alpha_d)[\partial_\eta p' - \bar{\mu}_d(q_v + q_c + q_r)] + m_y^{-1} \mu_d' g &= F_W \end{aligned}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \alpha \mu_d \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha}{\alpha_d} \frac{\partial p}{\partial \eta} \frac{\partial \phi}{\partial x} = - \frac{\partial U u}{\partial x} - \frac{\partial \Omega u}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + g \left(\mu_d - \frac{\alpha}{\alpha_d} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = - \frac{\partial U w}{\partial x} - \frac{\partial \Omega w}{\partial \eta}$$

$$\frac{\partial \mu_d}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial \Omega}{\partial \eta} = 0$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{\partial U \theta}{\partial x} + \frac{\partial \Omega \theta}{\partial \eta} = \mu Q$$

$$\frac{d\phi}{dt} = gw$$

$$\frac{\partial(\mu_d q_{v,i})}{\partial t} + \frac{\partial(U q_{v,i})}{\partial x} + \frac{\partial(\Omega q_{v,i})}{\partial \eta} = \mu Q_{v,i}$$

სადაც

ცვლადები წარმოდგენილია შემფოთებებისა და ჰიდროსტატიკურად დაბალანსებული წვერებისგან, რომლებიც განისაზღვრება ძირითადი განტოლებებით შემფოთებელი ატმოსფეროსთვის.

მასის შენახვისა და გეოპოტენციალის განტოლებები

$$\partial_t \mu'_d + m_x m_y [\partial_x U + \partial_y V] + m_y \partial_\eta \Omega = 0$$

$$\partial_t \phi' + \mu_d^{-1} [m_x m_y (U \partial_x \phi + V \partial_y \phi) + m_y \Omega \partial_\eta \phi - m_y g W] = 0.$$

პოტენციური ტემპერატურისა და სკალარების შენახვის განტოლებები

$$\partial_t \Theta + m_x m_y [\partial_x (U \theta) + \partial_y (V \theta)] + m_y \partial_\eta (\Omega \theta) = F_\Theta$$

$$\partial_t Q_m + m_x m_y [\partial_x (U q_m) + \partial_y (V q_m)] + m_y \partial_\eta (\Omega q_m) = F_{Q_m}$$

ჰიდროსტატიკური დამოკიდებულება

$$\partial_\eta \phi' = -\bar{\mu}_d \alpha'_d - \alpha_d \mu'_d$$

მდგომარეობის განტოლება

$$p = p_0 (R_d \theta_m / p_0 \alpha_d)^\gamma$$

სადაც α_d მშრალი ჰაერის შებრუნებული სიმკვრივეა ($1/p_d$) ჰაერის ნაწილაკის სრული სიმკვრივის გათვალისწინებით:

$$\alpha = \alpha_d (1 + q_v + q_c + q_r + q_i + \dots)^{-1}$$

სადაც q^* ნარევის ფარდობაა წყლის ორთქლის, ღრუბლის, წვიმის, ყინულისათვის და სხვ. ხოლო

$$\theta_m = \theta (1 + (R_v/R_d) q_v) \approx \theta (1 + 1.61 q_v) \quad Q_m = \mu_d q_m; \quad q_m = q_v, q_c, q_i, \dots$$

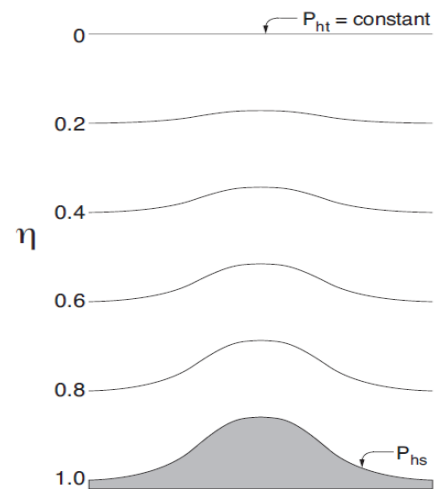
- **პროგნოსტიკული ცვლადები:** სიჩქარის კომპონენტები u და v კარტეზიულ კოორდინატებში, ვერტიკალური სიჩქარე w , შემფოთების პოტენციალური ტემპერატურა, შემფოთების გეოპოტენციალი და მშრალი ჰაერის შემფოთების ზედაპირული წნევა. ასევე, ტურბულენტური კინეტიკური ენერჯია, წყლის ორთქლის ნარევის ფარდობა, წვიმა/თოვლის ნარევის ფარდობა, ღრუბლის წყლის/ყინულის ნარევის ფარდობა, ქიმიური ნაერთები და სხვ.
- **ვერტიკალური კოორდინატები:** η -კოორდინატული ხმელეთის თანამდევი, მშრალი ჰიდროსტატიკური წნევა. მოდელის ზედა საზღვარი წარმოადგენს წნევის მუდმივ ზედაპირს.

$$\eta = (p_h - p_{ht}) / \mu$$

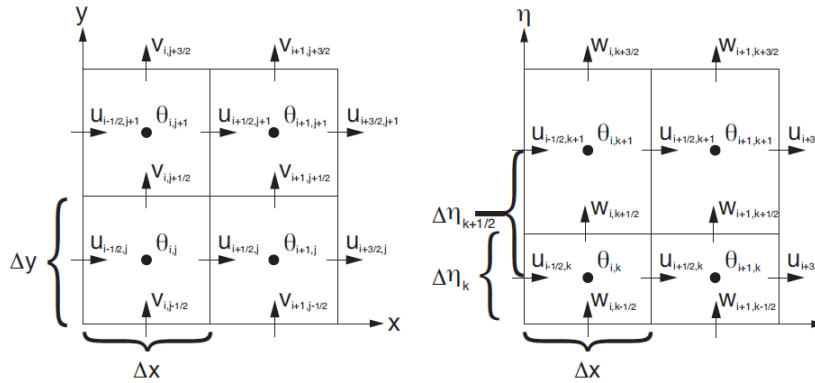
სადაც

$$\mu = p_{hs} - p_{ht}$$

აქ p_h წნევის ჰიდროსტატიკური კომპონენტია, ხოლო p_{hs} და p_{ht} წნევის მინშვნელობებია დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ და ზედა საზღვარზე, შესაბამისად.



- **ჰორიზონტალური ბადე:** არაკავას C-ბადე.



ჰორიზონტალური ბადე ვერტიკალური ბადე

- **დროის ინტეგრაცია:** დროში დანაწევრებული ინტეგრაცია, რომელიც იყენებს მე-3 ხარისხის რუნგე-კუტას სქემას შედარებით მცირე დროითი ბიჯით აკუსტიკური და გრავიტაციული ტალღებისთვის. პროგნოსტიკული Φ ცვლადის მნიშვნელობა T -დან $T+\Delta T$ საპროგნოზო ვადამდე 3 დროით ბიჯზე ითვლება:

$$\begin{aligned}\Phi^* &= \Phi^t + \frac{\Delta t}{3} R(\Phi^t) \\ \Phi^{**} &= \Phi^t + \frac{\Delta t}{2} R(\Phi^*) \\ \Phi^{t+\Delta t} &= \Phi^t + \Delta t R(\Phi^{**})\end{aligned}$$

სადაც $\Phi = R(\Phi)$ მოდელის გნტოლებებია. დაშვებულია ცვლადი დროითი ბიჯიც.

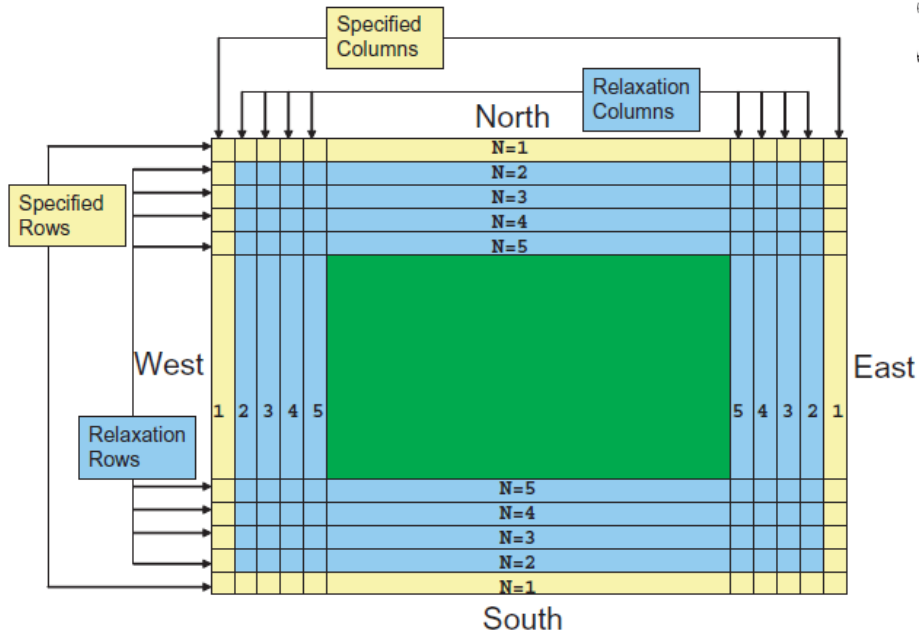
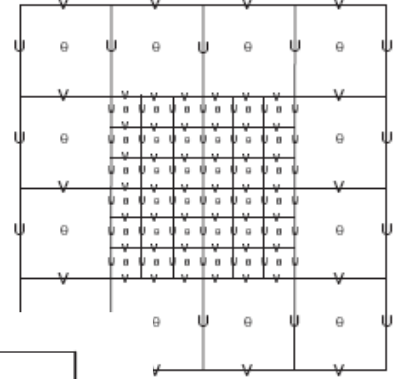
- **სივრცული დისკრეტიზაცია:** მე-2 დან მე-6 ხარისხამდე აღვექციის შესაძლებლობა ვერტიკალურად და ჰორიზონტალურად.
- **ტურბულენტური შერევა და მოდელის ფილტრები:** ბადის შიდა მასშტაბის ტურბულენტობის ფორმირება როგორც საკოორდინატო, ისე ფიზიკურ სივრცეებში. დივერგენციის ჩახშობა, გარე რხევების ფილტრაცია, ცხადი ფილტრების შესაძლებლობა.
- **საწყისი პირობები:** სამ-განზომილებიანი რეალური შემთვევებისათვის და 1-, 2-, 3-განზომილებიანი – იდეალური მონაცემებისათვის. შესაძლებელია ციფრული ფილტრის ინიციალიზაცია (DFI) რეალური მონაცემებისათვის. ჩვენს შემთხვევაში აიღება 0.5⁰-იანი ამოხსნის გლობალური საპროგნოზო სისტემიდან (GFS).
- **სასაზღვრო პირობები:** პეიოდული, გახსნილი, სიმეტრიული.
- **ზედა სასაზღვრო პირობა:** გრავიტაციული ტალღების შტანტქმა (დიფუზია, რეილეს ჩახშობა ვერტიკალური სინქარისათვის). მუდმივი წნევის დონე ზედა საზღვარზე მატერიალური ზედაპირის გასწვრივ.
- **ქვედა სასაზღვრო პირობა:** ფიზიკური ან თავისუფლად მოსრიადე.
- **დედამიწის ბრუნვა:** გათვალისწინებულია კორიოლისის სრული წევრები.
- **სფეროს პროექტირება:** შესაძლებელია 4 პროექტორის გამოყენება. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულია ლამბერტის კონიკური კონფორმალის პროექტორი. პროექტირება ARW კოდში გაითვალისწინება რუკის ფაქტორების m_x , m_y საშუალებით, რომლებიც შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$(m_x, m_y) = (\Delta x, \Delta y) / \text{მანძილი დედამიწაზე}$$

მოდელის ძირითად განტოლებებში რუკის მასშტაბის ფაქტორი გათვალისწინებულია მომენტების ცვლადებში შემდეგნაირად:

$$U = \mu_d u / m_y, \quad V = \mu_d v / m_x, \quad W = \mu_d w / m_y, \quad \Omega = \mu_d \dot{\eta} / m_y.$$

- ქვეარის ჩადგმა: 1-გვარის ინტერაქტიული, 2-გვარის ინტერაქტიული და მოძრავი ქვეარე. ნახაზზე წარმოდგენილია შემთხვევა, როდესაც ფარდობა ძირითადი და ჩადგმული არეების ჰორიზონტალური ბიჯებს შორის 3-ის ტოლია. ქვეარის ჩადგმისას გამოიყენება სპეციფიური სასაზღვრო პირობები, სტანდარტულად,



რელაქსაციის 4 ზონით. ყოველ დროით ბიჯზე

ნახ. 5

ხორციელდება შიდა არის ინფორმაციის წილის გაზრდა (ნახ. 5).

- პარამეტრების „დატვირთვა“: ბადისა (ანალიზური) და დაკვირვების მონაცემების მიხედვით.
- გლობალური ბადე: გლობალური სიმულაციის შესაძლებლობა პოლარული ფურიე-ფილტრის გამოყენებით და პერიოდული აღმოსავლეთდასავლეთის პირობებით.

3.2.2. მოდელის ფიზიკა რამდენიმე კატეგორიადაა წარმოდგენილი:

ა) მიკროფიზიკა. მოცავს ცხადად ამოხსნილ წყლის ორთქლის, ღრუბლისა და ნალექების პროცესებს. შესაძლო 12 სქემის შემოწმების შედეგად შედარებით

რეალისტური აღმოჩნდა 3, რომელთათვის რეკომენდირებულია სტატისტიკური გამართლებადობის დადგენა. ეს სქემებია:

1) **ლინისა და სხვ. სქემა:** ამ პროცესების აღსაწერად მოდელში გამოყენებულია 5-კლასის სიმულაციური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს თოვლისა და ყინულის არსებობას და მოსახერხებელია რეალური მონაცემების მაღალი გარჩევისუნარიანობით (5კმ-ზე ნაკლები) ამოხსნისას (ლინი და სხვ. 1983; 21როგნოსი და ჰობსი, 19984; ტაო და სხვ. 1989; ჩენი და შანი, 2002);

2) **WRF მხოლოდითი მომენტის მე-5 კლასის სქემა,** რომელიც ითვალისწინებს შერეული 21როგნ პროცესებს და წყლის გადაცივებას;

3) **WRF მხოლოდითი მომენტის მე-6 კლასის სქემა** ყინულის, თოვლის და ხორხოშელას პროცესების გათვალისწინებით, რომელიც რეკომენდირებულია მაღალი ამოხსნის სიმულაციებისათვის.

ბ) **გროვა ღრუბლების პარამეტრიზაციის სქემები** გამოიყენება გროვა და/ან ფენა ღრუბლების ბადისშიდა მასშტაბების ეფექტების გასათვალისწინებლად. სქემების დანიშნულებაა წარმოადგინონ ვერტიკალური ნაკადები, რომლებიც განპირობებულია ღრუბლისგარე აღმავალი, დაღმავალი და მაკომპენსირებელი მოძრაობებით. 5კმ-ზე ნაკლები ბადის ზომის შემთხვევაში ასეთი პროცესები უკვე ცხადად იხსნება და პარამეტრიზაციის სქემების გამოყენება რეკომენდირებული არაა.

შესაძლო 5 სქემის შემოწმების შედეგად შედარებით რეალისტური აღმოჩნდა 2, რომელთათვის რეკომენდირებულია სტატისტიკური გამართლებადობის დადგენა. ეს სქემებია:

1) **კეინ ფრიჩის ახალი სქემა:** აღნიშნული სქემა აღწერს ღრმა და არაღრმა კონვენციურ პროცესებს დაღმავალი მასური ნაკადების მიდგომით (კეინი 2004, კეინი და ფრიჩი 1990, 1993);

2) **ბეტს-მილერ-ჯენიკის სქემა:** მარეგულირებელი სქემა ღრმა და არაღრმა კონვექსიისათვის, რომელიც არბილებს თერმოდინამიკური მოსაზრებების თანახმად განსაზღვრულ ცვლადი ტემპერატურისა და ტენიანობის პროფილებს (ჯენიკი, 1994, 2000).

გ) **პლანეტარული სასაზღვრო ფენის (PBL) სქემა** “პასუხისმგებელია” ვერტიკალურ უჯრისშიდა მასშტაბის ნაკადებზე, რომლებიც განპირობებულია გრიგალის გადატანით ატმოსფეროს მთელ სვეტში და არა მხოლოდ სასაზღვრო ფენაში.

შესაძლო 4 სქემის შემოწმების შედეგად შედარებით რეალისტური აღმოჩნდა 2, რომელთათვის რეკომენდირებულია სტატისტიკური გამართლებადობის დადგენა. ეს სქემებია:

1) **იონსის უნივერსიტეტის სქემა:** არალოკალური *k*-სქემა, არაცხადი გადატანითი ფენითა და არასტაბილურ შერეულ სქემაში *k*-პარაბოლური პროფილით (სკამაროკი და სხვ. 2005). პლანეტარული სასაზღვრო ფენის ზედა საზღვარი განისაზღვრება რიჩარდსონის კრიტიკული რიცხვის ნულთან ტოლობით და ამდენად, დამოკიდებულია მცურავობის პროფილზე, რომელშიც პლანეტარული სასაზღვრო ფენის ზედა საზღვარი წარმოადგენს ჩატაცების მაქსიმალურ ფენას.

2) **ასიმეტრიული კონვექტიური მოდელის სქემა** (ვერსია 2) არალოკალური აღმავალი შერევით და ლოკალური დაღმავალი შერევით. გააჩნია მცურავ ჭავლებში სწრაფი აღმავალი გადატანისა და ტურბულენტური დიფუზიის

გამომწვევი წანაცვლებების ადგილობრივი დაძაბულობის სიმულირების შესაძლებლობა.

დ) ხმელეთის ზედაპირის მოდელი (LSM) იყენებს ატმოსფერულ, რადიაციულ, ნალექწარმოქმნელ და სხვ. ინფორმაციებს შესაბამისი სქემებიდან და ხმელეთისა და ზღვა-ყინულის წერტილებზე უზრუნველყოფს სინოტივის ნაკადებს, რაც გამოიყენება როგორც ქვედა სასაზღვრო პირობა პლანეტარული სასაზღვრო ფენაში განსაზღვრული ვერტიკალური გადატანისათვის. ხმელეთის ზედაპირის მოდელი არ ითვლის ტენდენციებს, მაგრამ აახლებს ხმელეთის მდგომარეობის ცვლადებს, როგორცაა ზედაპირის ტემპერატურა, ნიადაგის ტემპერატურისა და სინოტივის პროფილები, თოვლის საფარი და სხვ. რამდენადაც ხმელეთის ზედაპირის მოდელში მეზობელ წერტილებს შორის არავითარი ურთიერთქმედება არ არსებობს, ის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთგანზომილებიანი სვეტის მოდელი ხმელეთის თითოეული ბადის კვანძისთვის.

შესაძლო 7 სქემის შემოწმების შედეგად შედარებით რეალისტური აღმოჩნდა 2, რომელთათვის რეკომენდირებულია სტატისტიკური გამართლებადობის დადგენა. ეს სქემებია:

1) **5-ფენიანი თერმული დიფუზიის სქემა** 1, 2, 4, 8 და 16 სმ ფენებით ამ ფენების ქვეშ ტემპერატურა აიღება, როგორც ღრმა ფენების საშუალო მნიშვნელობა.

2) **ნოას უნიფიცირებული სქემა**, რომელიც წარმოადგენს 4-ფენიან ნიადაგის ტემპერატურისა და სინოტივის სქემას ნიადაგის საფარის სინოტივისა და თოვლი საფარის პროგნოზირების შესაძლებლობით. ფენების სისქეა 10, 30, 60 და 100 სმ და მოიცავს ფესვების ზონას, ევაპორანსპირაციას, ნიადაგის დრენაჟს და ჩამონადენს, ითვალისწინებს რა ევგეტაციის კატეგორიებს, თვის საშუალო განაწილებას და ნიადაგის ტექსტურას. აწოდებს ხილული და ფარული სითბოს ნაკადების მნიშვნელობას სასაზღვრო ფენის სქემას.

3) სწრაფად განახლებადი ციკლური (RUC) სქემა

ერადიაციული სქემები უზრუნველყოფს ატმოსფეროს გათბობას, გამოწვეულს რადიაციული ნაკადების დივერგენციითა და ზედაპირისკენ დაღმავალი გრძელტალღიანი და მოკლეტალღიანი რადიაციით, რომლებიც განსაზღვრავენ დედამიწის სითბურ ბიუჯეტს.

გრძელტალღიანი რადიაციისთვის შესაძლო 3 სქემის შემოწმების შედეგად შედარებით რეალისტური აღმოჩნდა 1, ხოლო მოკლეტალღიანი რადიაციისთვის შესაძლო 4 სქემიდან – 2, რომელთათვის რეკომენდირებულია სტატისტიკური გამართლებადობის დადგენა. ეს სქემებია:

გრძელტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – რადიაციის სწრაფი გადატანის (RRTM) სქემა: სპექტრული ზოლის სქემა, რომელიც იყენებს კორელირებულ k -მეთოდს და წინასწარ გაანგარიშებულ ცხრილებს წყლის ორთქლის, ოზონის, ნახშირორჟანგის და მცირე გაზური მინარევების (თუ ასეთები არსებობს), ასევე ღრუბლების ოპტიკური სიღრმისათვის გრძელტალღიანი პროცესების წარმოსადგენად (მლავერი და სხვ. 1997).

მოკლეტალღიანი რადიაციის ფიზიკა – 1) დუდიას სქემა: მზის ნაკადის მარტივი დაღმავალი ინტეგრირების სქემა, რომელიც ითვალისწინებს მოწმენდილი ცის მიერ გაბნევის, წყლის ორთქლის შტანთქმის, ღრუბლის ალბედოს და შტანთქმის პროცესებს (დუდია 1989); 2) გოდარდის სქემა: გააჩნია 11 სპექტრული

ზოლი და ითვალისწინებს მზის რადიაციის დიფუზიურ და პირდაპირ კომპონენტებს (ჩოუ და სუარესი, 1994).

3.2.3. მოდელის ადაპტაცია ოროგრაფიულ თავისებურებებთან.

ოროგრაფიულ თავისებურებებთან მოდელის ადაპტირების მიზნით თავდაპირველად თეორიულად იქნა გამოკვლეული მეტეოროლოგიური სიდიდეების, “ნელა ცვალებადი” ნაკადის პროგნოზური სქემების ინტეგრალური თვისებები რელიეფის გავლენის გათვალისწინებით. მიღებულია, რომ ამინდის პროგნოზირების საფუძველს წარმოადგენს ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა. ამ სისტემის ანალიზური ამოხსნა ჯერ-ჯერობით ვერ ხერხდება და გამოიყენება მხოლოდ მიახლოებითი რიცხვითი ამოხსნები. ასეთ ამოხსნებს კი თან სდევს სხვადასხვა ხასიათის შეცდომები, რომელიც დროითი ბიჯებით ინტეგრირებისას იკრიბება და გვაძლევს არასასურველ შედეგს. აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება ყურადღება მიექცეს შენახვის კანონებზე დამყარებული რიცხვითი სქემების ინტეგრალურ თვისებების შესრულებას. ასეთი მიდგომა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია როდესაც განიხილება საძიებელი სიდიდის რეგიონალური პროგნოზული მოდელი ლოკალური ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით. ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე, ზონალური ნაკადის უპირატესობის პირობებში, შემოვიტანეთ კვაზინვარიანტული ინტეგრალური მახასიათებლები “ნელა ცვალებადი” ტალღური შეშფოთების შემთხვევაში. ამასთანავე, დროითი გასაშუალების პერიოდი ავიღეთ დეკადური სიდიდის, რის საფუძველსაც იძლევა სინოპტიკური პრაქტიკა. მართლაც, ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე არის შემჩნეული ათი და მეტი დღეღამური პერიოდის ციკლონური ან ანტიციკლონური გრიგალური “ჩახვეულობები”, რომლებსაც ზონალური გავრცელების ტენდენცია აქვთ. აღნიშნული მიდგომა შემოწმებულ იქნა **WRF ARW** მოდელის მიერ სიმულირებული რამდენიმე შემთხვევისათვის. აღმოჩნდა, რომ ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე “ნელა ცვალებადი” ნაკადის შემთხვევაში, გლობალური პროცესების ანალოგიურად, სადაც მოდელი აღიწერება ელისონ-პარმის ვექტორით, მასათა გადატანა ხდება მერიდიანული მიმართულებით. აღსანიშნავია, რომ რელიეფის გავლენით იზოხაზები გადაინაცვლებიან და წაგრძელებიან დიდი და მცირე კავკასიონის ქედის გასწვრივ, რაც ფიზიკურად გამართლებულია. რეგიონალურ და გლობალურ პროცესებს შორის ასეთი თანხვედრა შემჩნეულია პირველად. მიუხედავად იმისა, რომ გათვლები ჩატარებულია მცირე მასშაბზე, მაინც შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა; ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე “ნელა ცვალებადი” ჰაერის ნაკადის გავრცელების დროს მოყვანილი კვაზინვარიანტები ინახება საკმარისი სიზუსტით. მათი გამოყენება მოგვცემს საშუალებას არა მარტო დაზუსტდეს პროგნოზის ხარისხი, არამედ შესაბამისად შეფასდეს გამოთვლითი სქემების მდგრადობის კრიტერიუმები და რეგიონალური პროცესებისათვის მოვახდინოთ სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის პარამეტრიზაცია.

3.2.4. მოდელის ძირითად არეში ქვეარის ჩადგმა.

განხორციელდა **WRF ARW** მოდელის ქვეარეზე გადათვლა გაზრდილი (5 კმ) გარჩევისუნარიანობით:

მოდელის „ძირითად არეში“ ქვეარის ჩადგმის მიზნით განხორციელდა მოდელის პროგრამული უზრუნველყოფის კომპილირება და სათანადო ფაილების

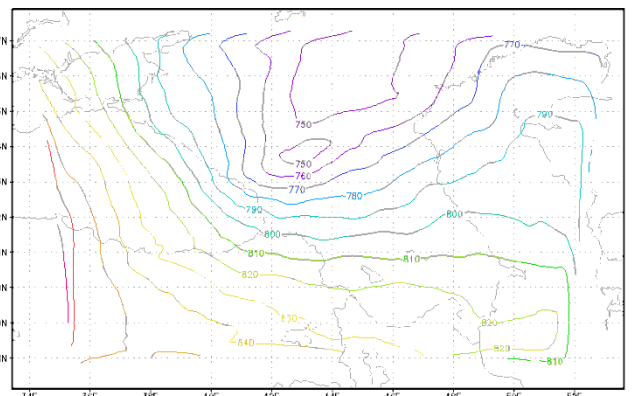
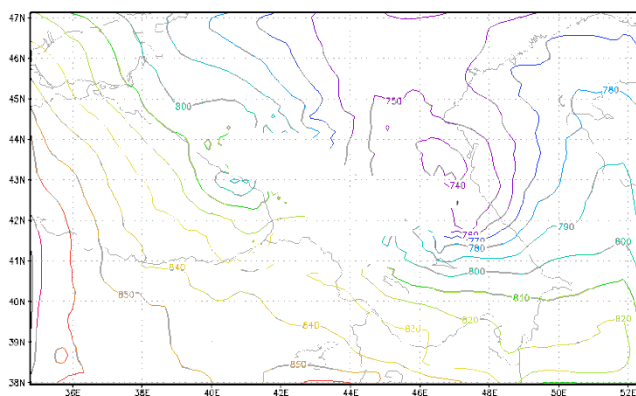
რედაქტირება და 5-კმ-იანი ამოხსნის მქონე „ქვეარის ჩადგმა“ სხვადასხვა მეთოდებით:

ა) მოდელის გაშვება ქვეარის ჩადგმის „მეორე გვარის“ მეთოდით ერთი შემავალი ფაილით: გაშვების სამუშაოები ხორციელდება ისე, როგორც „ძირითადი არისათვის“. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ აღმასრულებელი ფაილის გაშვებისას ხდება მეორე (ან მეტი) ქვეარის ინიცირება. ამავე დროს, ქვეარისათვის არ არის საჭირო დამატებითი ინფორმაცია. ყველა სტატიკური და მეტეოროლოგიური მონაცემი ინტერპოლირდება უხეში ბადიდან ქვეარის ბადეზე. უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ შესაძლებელია ქვეარის თვლაზე გაშვების საწყისი დროები იყოს სხვადასხვა. თუმცა ამასთანავე, ქვეარე ვერ სარგებლობს მაღალი გარჩევის სტატიკური ველებით.

ბ) მოდელის გაშვება ქვეარის ჩადგმის „მეორე გვარის“ მეთოდით ორი შემავალი ფაილით: ამ შემთხვევაში აუცილებელია შესრულდეს გაშვების წინა სამუშაოები (*pre-processing*) დამატებითი შემავალი ფაილის შესაქმნელად. შემავალ ფაილში შესაძლებელია როგორც ყველა სტატიკური და მეტეოროლოგიური, ასევე მხოლოდ სტატიკური მონაცემების გამოყენება. პირველის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ ქვეარეს შეუძლია ისარგებლოს მაღალი გარჩევის სტატიკური ველებით, თუმცა ქვეარესა და ძირითად არეზე თვლა აუცილებელია დაიწყოს ერთდროულად. მეორე შემთხვევაში მეტეოროლოგიური ველები ინტერპოლირდება უხეში ბადიდან, თუმცა ძირითადი და ქვეარის გაშვება შესაძლებელია დაიწყოს სხვადასხვა დროს. ძირითადი არიდან ჩადგმულ არეზე ინფორმაციის მიწოდებისას შესაძლებელია ძირითადი არის იმ ნაწილში, სადაც ქვეარეა ჩადგმული ინტერპოლირებულ ველებზე გამოყენებული იქნას გაგლუვების მექანიზმები: გაგლუვების 5-წერტილიანი 1-2-1 ტექნოლოგია, *smoothing-desmoothing* (მსგავსი ეტალონური ზომით) ტექნოლოგია. გამოცდილი იქნა ორივე ტექნოლოგია.

გ) ქვეარის „პირველი გვარის“ ჩადგმის ტექნოლოგია ე.წ. *ndown*-ის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში ქვეარეზე მოდელის გადათვლა ხდება მხოლოდ ძირითად არეზე მოდელის გაშვების შემდგომ. პროგრამა *ndown* ეშვება ძირითად არეზე მოდელის გაშვების შემდეგ და შესაბამისად, ქმნის შემავალ ფაილს მეორე გაშვებისათვის. აღნიშნული მიდგომა შესაძლებელია განხორციელდეს ისევე, როგორც „მეორე გვარის“ მეთოდის გამოყენებისას, თუ შემავალ ფაილში მიუუთითებთ „უკუკავშირის“ მექანიზმის ჩართვას.

განხორციელდა მოდელის თვლის შედეგების (*outputs*) ოპტიმიზირება ხმელეთის ზედაპირზე ქვემოთ მდებარე წნევათა დონეებისათვის ინტერპოლირების მეთოდით, რაც განხორციელდა მოდელის შესასვლელი ფაილის (ე.წ. *namelist.input*) რედაქტირების გზით. აღნიშნული ინტერპოლაციის განხორციელებამდე მოდელის ძირითად არეში მე-2 გვარის ქვეარის (5 კმ-იანი ამოხსნით) ჩადგმისას (*2-way nesting*)



საპროგნოზო ვადაზე მოდელის ერთობლივი გაშვებისას, ანუ უკუკავშირის გამოყენებისას, წნევის დონის გაზრდასთან ერთად, ანუ დედამიწის ზედაპირთან მიახლოებისას, მთიანი და მაღალმთიანი ტერიტორიებისათვის მიიღებოდა დაწვევტილი (შეუვსებელი) ველები. რამდენადაც კავკასიის რეგიონი ძირითადად მთიანია, ჩვენთვის საინტერესო ტერიტორიისათვის 700-დან 925 მბარ დონეებამდე ვიღებდით ერთობ არასრულყოფილ ინფორმაციას. კვლევის შედეგად, გამოყენებულ იქნა რა მოდელის შესაძლებლობა გაგვეხორციელებინა ინტერპოლირება ზემოთ ხსენებული მეთოდით, აღნიშნული ნაკლოვანება გამოსწორდა. საილუსტრაციოდ ნახ. 6-ზე მოყვანილია გეოპოტენციალის რუკები 925 მბ წნევის დონეზე ინტერპოლირების გამოყენებით და მის გარეშე.

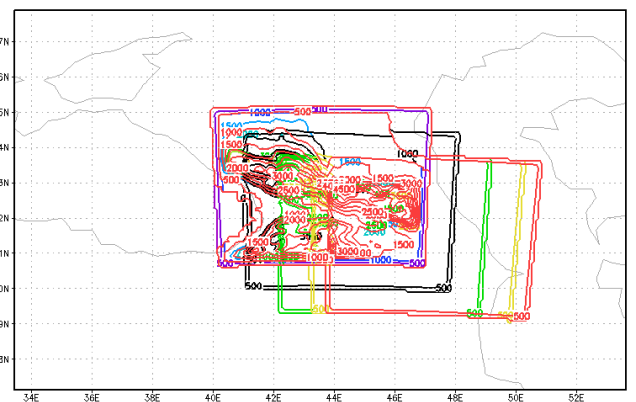
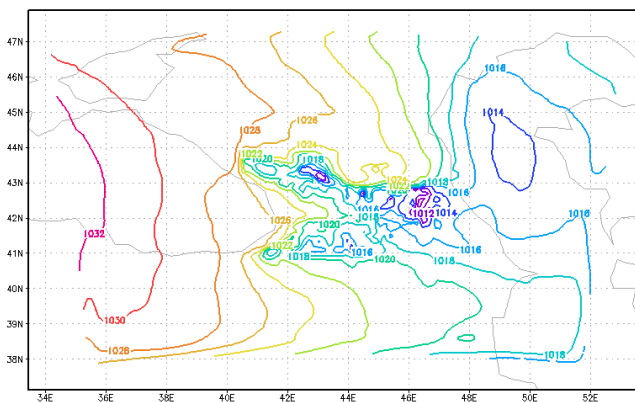
განხორციელდა მოდელის ამოქმედება მოძრავი ქვეარის შესაძლებლობებით.

WRF ARW მოდელის „ძირითად არეში“ დასაშვებია ორი ტიპის მოძრავი ქვეარის ჩადგმა. პირველ შემთხვევაში მომხმარებელი თვითონ განსაზღვრავს ქვეარის მოძრაობას. მეორე შესაძლებლობა უზრუნველყოფს ქვეარის ავტომატურ მოძრაობას, რაც დაფუძნებულია ატმოსფეროს შუა დონეებზე წარმოქმნილი გრიგალის ავტომატურად თანამდევ ლოკალიზაციას და ამდენად, უკეთესად მუშაობს ტროპიკული შტორმების სიმულირებისათვის. ქვეარის მოძრაობის ორივე ტიპის ინიციალიზაციისას ინტერპოლაცია ხდება მხოლოდ უხეში ბადის მონაცემებისათვის, ტოპოგრაფიული და ხმელეთის სხვა სტატიკური მონაცემების ჩათვლით.

აღნიშნული ამოცანის შესასრულებლად განხორციელდა მოდელის დინამიკური ბირთვის (**WRFv3**) კონფიგურირება და კომპილირება ორივე შემთხვევისათვის ცალ-ცალკე. გარდა ამისა, თითოეული შემთხვევისათვის განხორციელდა შესასვლელ ფაილში (ე.წ. *namelist.input*) სპეციალური მითითებების ჩამატება:

ა) სპეციფირებული მოძრავი ქვეარისათვის:

- მოძრაობისას ბიჯების რაოდენობა (მაქსიმუმ 50);
- ქვეარის სადინენტიფიკაციო ნომერი – მიეთითება თუ რომელი ქვეარე მოძრაობს მოცემულ ბიჯზე;
- დროითი ინტერვალები – თითოეული ბიჯისათვის წუთების რაოდენობა მოდელის გაშვების დაწყებიდან;
- *x* და *y* დერძების გასწვრივ მოძრაობის მიმართულება თითოეული ბიჯისათვის. ქვეარის მოძრაობა ნახ. 7-ზე შექმნილია დაგაგარად ნაჩვენებია შესაბამისად, 6 და 3-საათიანი ინტერვალით საპროგნოზო შედეგების ზედღებით, ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევის მაგალითზე.



ბ) ავტომატურად მოძრავი ქვეარისათვის:

- გრიგალის ინტერვალი – განსაზღვრავს რამდენად ხშირად ხდება გრიგალის პოზიციის გაანგარიშება. სტნდარტულად, იღებენ 15 წუთს;
- გრიგალის მაქსიმალური სიჩქარე – გამოიყენება გრიგალის ინტერვალთან ერთად ახალი გრიგალის ცენტრის მდებარეობის საძიებელი რადიუსის გასაანგარიშებლად. ჩვეულებრივ, იღებენ 40 მ/წმ-ს;
- მანძილი უხეში ბადის უჯრების რაოდენობას შორის, რომელზედაც მოძრავი ქვეარე დაშვებულია დაუახლოვდეს უხეში ბადის საზღვარს (ჩვეულებრივ, იღებენ 8-ს). ამასთანავე ეს პარამეტრი განაპირობებს ყველა ქვეარის შტორმის გასწვრივ მოძრაობას;
- წნევის ის დონე, რომელზედაც უნდა დაიკვირვოს გრიგალი (ჩვეულებრივ, აიღება 500 მბ-იანი დონე);
- ქვეარის მოძრაობის ხანგრძლივობა წუთებში. ამასთანავე, ეს შესაძლებლობა გამოიყენება იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შტორმი ჯერ კიდევ საკმაოდ სუსტია, იმისათვის რომ აღქმული იქნას ალგორითმის მიერ.

მოძრავი ქვეარის ორივე ტიპი გამოცდილი იქნა თავდაპირველად ე.წ. სასწავლო შემთხვევისათვის. ქვეარის ამოძრავება განხორციელდა ასევე ადრე ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან არჩეული საინტერესო შემთხვევებისათვის, რაც გულისხმობს შემთხვევებს ძლიერი შემოჭრებით.

3.3 WRF გაშვების შემდგომი სამუშაოების შესასრულებელი სისტემა და ვიზუალიზაციის საშუალებები.

პროექტში აწყობილ ყველა სამუშაო სადგურზე დაინერგა მოდელის თვლის შემდგომი სამუშაოების შესასრულებელი (*Post-Processing*) პროგრამები და შედეგების ვიზუალიზაციის საშუალებები:

1. **NCL – NCAR** გრაფიკების ბრძანებათა ენა;

2. **RIP4** – მონაცემთა წაკითხვის, ინტერპოლირებისა და გრაფიკული გამოსახვის სისტემა;

3. **ARWpost** (გარდამქმნელი **GrADS** – ქსელური მონაცემების ვიზუალიზაციის სისტემისა და **Vis5D** – ვიზუალიზაციის 5-განზომილებიანი პროგრამული პაკეტისათვის).

4.3.1. **NCEP**-ის მიერ უზრუნველყოფილ **ARWpost**-ს შეუძლია დაამუშაოს **WRF NMM, WRF ARW**, ასევე სხვა მოდელის თვლის შედეგები სხვადასხვა მოდელით მიღებული პროგნოზების შედარებისა და შემოწმების მიზნით. იგი კითხულობს როგორც ორობითი, ასევე *netcdf* ფორმატის ფაილებს, რომლებსაც იყენებს **WRF IO API**.

ARWpost-ში შედის ორი პროგრამული პაკეტი: *wrfpost*, რომელიც ახორციელებს ვერტიკალურ ინტერპოლირებას წნევის, სიჩქარის ჰორიზონტალურ ინტერპოლაციას – მასურ წერტილებზე (მხოლოდ **ARW** კოდისათვის) და ითვლის დიაგნოსტიკურ ველებს. მეორე პაკეტია *copygb*, რომელიც გამოიყენება ჰორიზონტალური ინტერპოლაციისა და ე.წ. *destaggering*-ისათვის (მხოლოდ **NMM** კოდისათვის).

ARWpost-ის გამოყენებით შესაძლებელია მიღებული იქნას ცვლადთა 288 ველი. მათ შორის ძირითადია:

- 1) ტემპერატურა, სიმაღლე, ტენიანობა, 3-განზომილებიანი ქარი, ტურბულენტური კინეტიკური ენერჯია, გაცვლის კოეფიციენტი, ღრუბლის წყლიანობა, ღრუბლის ყინული, წვიმა და თოვლი 47 იზობარულ დონეზე (8 დონე მდებარეობს 75 მბ-ის ზემოთ, ხოლო 75-დან 1000 მბ-მდე ყოველი 25 მბ-ს შემდეგ);
- 2) ზედაპირის ტემპერატურა, ტენიანობა და ქარი;
- 3) ჯამური, კონვექტიური და ბადის მასშტაბის აკუმულირებული და მყისიერი ნალექი;
- 4) რადარის არეკვლადობა, ხილვადობა და ნალექების ტიპები;
- 5) გრიგალური და გეოსტროფიული ნაკადის ფუნქცია;
- 6) პლანეტარული სასაზღვრო ფენა; მიწისზედა 6 30 მბ-იან ფენაში გასაშუალებული ტემპერატურა, ტენიანობა და ქარი;
- 7) ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევა (2 ტიპის: სტანდარტული და მემბრანული);
- 8) ზედაპირის ქარის დაძაბულობა, წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, არაერთგვაროვნების სიგრძე, დინამიკური სიჩქარე;
- 9) ხილული, ფარული, დედამიწის, დაღმავალი და აღმავალი მოკლე- და გრძელტალღიანი რადიაციის მყისიერი და ღროში გასაშუალოებული ნაკადები;
- 10) ნიადაგის ტემპერატურა, ტენიანობა და ტიპები;
- 11) ღრუბლის წილობრივი საფარი, ასევე, სიმაღლე წნევა, ტემპერატურა ღრუბლის ზედა და ქვედა საზღვარზე საერთო, კონვექტიური და ბადის მასშტაბის ღრუბლებისთვის;
- 12) ავიაციის პროდუქტები: მოყინვა და სხვ.

სიმაღლის, ტემპერატურის, კუთრი სინოტივის, ვერტიკალური სიჩქარის, ჰორიზონტალური ქარების და ტურბულენტური კინეტიკური ენერჯიის ატმოსფერული იზობარული ველების ვერტიკალური ინტერპოლაცია მოდელის დონეებიდან წნევის დონეებზე ხორციელდება წრფივად $\ln(p)$ -ში.

მიწის ზედაპირის ქვემოთ მდებარე ქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური იზობარული ველები ისევე განისაზღვრება, როგორც მოდელის პირველი ატმოსფერული მიწისზედა დონეზე. მიწის ზედაპირის ქვემოთ მდებარე ტემპერატურა მცირდება იმ დაშვებით, რომ მუდმივი ვირტუალური პოტენციალური ტემპერატურა მიიღება მოდელის ზედაპირის ზემოთა მეორე და მესამე დონეების ტემპერატურათა გასაშუალოებით. მიწის ზედაპირის ქვემოთ მდებარე ტენიანობის ველების გაანგარიშებისას ნარჩუნდება მოდელის ზედაპირის ზემოთა მეორე და მესამე დონეებზე გასაშუალოებული ტენიანობა.

ცვლადთა ველების გაანგარიშების მეთოდისა და აღგორითმების დეტალური აღწერა მოცემულია დოკუმენტში მისამართზე: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/papers/chuang/1/OF438.html>.

3.3.2. ვიზუალიზაციის სისტემა GRADS.

მოდელის მიერ ARWpost-ის მიერ დამუშავებული შედეგების ანალიზისა და ვიზუალიზაციისთვის გამოყენებული პროგრამებიდან ერთ-ერთია ე.წ. **GRADS (Grid Analysis and Display System)**, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ბადის კვანძებში განსაზღვრული ან დაკვირვების წერტილოვანი მონაცემები გავხადოთ ხელმისაწვდომი, გავუკეთოთ ანალიზი და მივიღოთ შედეგი გამოსახულების სახით ან რიცხვითი ფორმით.

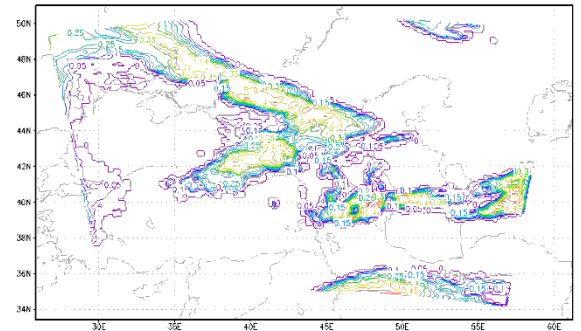
GRADS იყენებს ხუთ განზომილებიან გარემოს (**5-D**), მათგან ოთხი – ეს არის ჩვეულებრივი განზომილებები (გრძელი, განედი, ვერტიკალური დონე და დრო) და მეხუთე არის განზომილება, რომელიც გამოიყენება ანსამბლური მოდელირების შემთხვევაში. მონაცემთა მასივების განთავსება ხდება **5-D** არეზე აღმწერი ფაილის საშუალებით (მეხუთე განზომილება ზემოთ განხილულ მოდელში არ გამოიყენება).

ოპერაციები სრულდება ინტერაქტიულ რეჟიმში **FORTRAN**-ის ტიპის გამოსახულებების მეშვეობით, ბრძანებების საზიდან, აქვს საკუთარი ფუნქციების მდიდარი ნაკრები და შესაძლებელია მომხმარებლის მიერ დამატებული იქნას ახალი ფუნქციები ნებისმიერ პროგრამულ ენაზე. **GRADS** შეუძლია აღიქვას და გამოსახოს სხვადასხვა ფორმატის მონაცემები: **GRIB1, GRIB2, NetCDF, HDF4, HDF5** და **BUFR** (სადგურის (წერტილოვანი) მონაცემები).

GRADS აქვს პროგრამირებადი ინტერფეისი (სკრიპტების ენა), რომელიც იძლევა უფრო რთული ანალიზის გაკეთების და გამოსახულებების მიღების საშუალებას.

ქვემოთ წარმოგიდგენილია შექმნილი სკრიპტების რამდენიმე ნიმუში.

Var_srf.gs სკრიპტის საშუალებით მიიღება გამოსახულებები მიწის ზედაპირზე დათვლილი ცვლადებისთვის, რომელიც ავტომატურად თავსდება პროგრამით განსაზღვრულ დირექტორიაში. ნახაზზე მოცემულია მაღალფენა ღრუბლების განაწილება ძირითადი არისათვის.



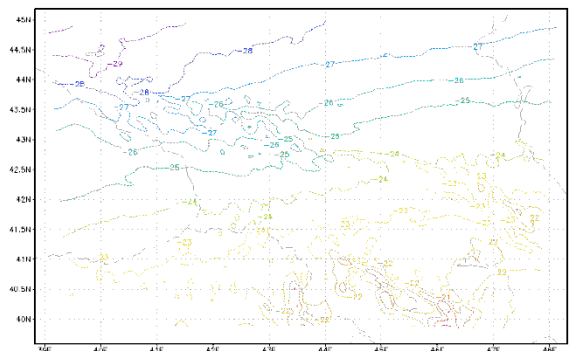
0105: 00A/00S 2010-01-05-14:30

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt '-> Enter the name of the file you want
to use: \'
pull openfile
\'open \'openfile
\'set mpdset hires'
time=00
count=1
while (count<26)
\'set t \' count
\'d slp'
if (time)
\'mkdir forecast/dzveliscripti_\'openfile''
\'printim forecast/dzveliscripti_\'openfile'/Mean_sea_level_pressure_\'time'.gif gif white'
\'c'
.....
time=time + 12
endif
count=count + 4
endwhile

```

ასეთივე გამოსახულებას იძლევა **Var_levels.gs** სკრიპტი, მხოლოდ ცვლადების მნიშვნელობები განსაზღვრულია წნევით



0105: 00A/00S 2010-01-05-16:11

დონეებზე (925, 850, 700 და 500 მბ). ნახაზზე მოცემულია 500 მბ დონეზე ტემპერატურის განაწილების ველი ჩადგმული არისათვის.

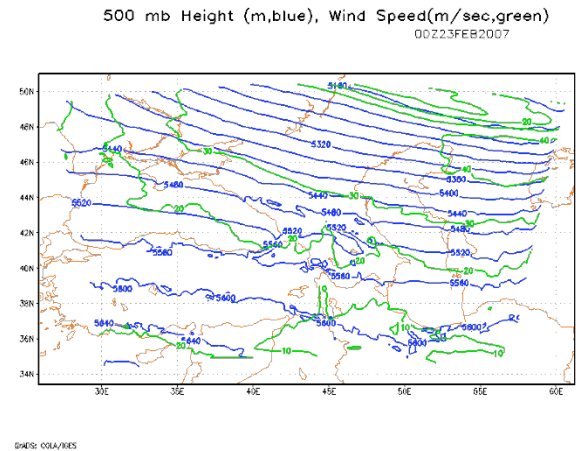
სინოპტიკური ანალიზის გაადვილების მიზნით გამოყენებული იქნა ვიზუალიზაციის სხვადასხვა ფორმები, მაგალითად ფონური, ვექტორული, გრაფიკული გამოსახულებები და რიცხვით ფორმატში მიღებული შედეგები.

Plevels.gs სკრიპტი გამოიყენება სხვადასხვა სიმაღლეებზე რამდენიმე ცვლადის ერთდროულად გამოსახვის მიზნით. პროგრამის ნაწილი წარმოდგენილია ქვემოთ:

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt '--> Enter the name of the file you want to use: \'
pull openfile
`open `openfile
** Need input data on p levels
`set mpdset hires'
`set display color white'
`run rgbset.gs'
frame = 1
`q file'
rec=sublin(result,5)
_endtime=subwrđ(rec,12)
_endlev=subwrđ(rec,9)
runscript = 1
dis_t = 1
while(runscript)
.....
`printim forecast/plevels_`openfile`/_analysis'.realp900'frame'.gif gif'
frame=frame+1
endif

```



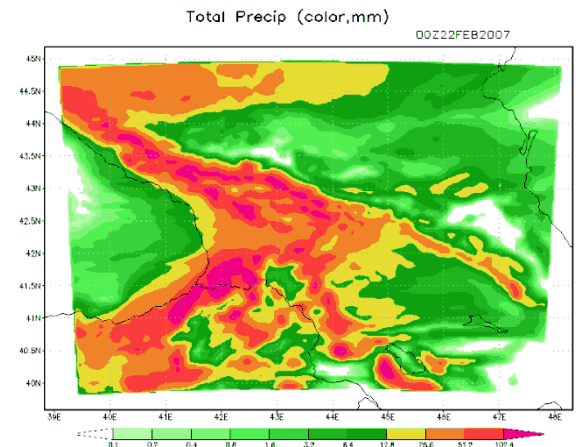
განვიხილოთ ნალექების რაოდენობის სკრიპტი **rain.gs** და **raintotal.gs**. მათი საშუალებით შესაძლებელი იქნა მიგველო ნალექების ჯამი დროის ნებისმიერი ინტერვალისთვის.

raintotal.gs :

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt '--> Enter the name of the file
you want to use: \'
pull openfile
`open `openfile
** Need a real dataset that contain
rain_`openfile'.c and rain_`openfile'.nc
`set mpdset hires'
`set display color white'
`run rgbset.gs'
frame = 00
`q file'
rec=sublin(result,5)

```



```

_endtime=subwrd(rec,12)
`q dims'
rec=sublin(result,5)
_analysis=subwrd(rec,6)
say `Time is ` ` _analysis'
`c'
`set grads off'
`set gxout shaded'
`set clevs .1 .2 .4 .8 1.6 3.2 6.4 12.8 25.6 51.2 102.4'
`set ccols 0 33 34 35 36 37 38 39 7 8 2 6'
`d sum(rainc+rainnc,t=2,t=5)'
.....
`run cbar.gs'

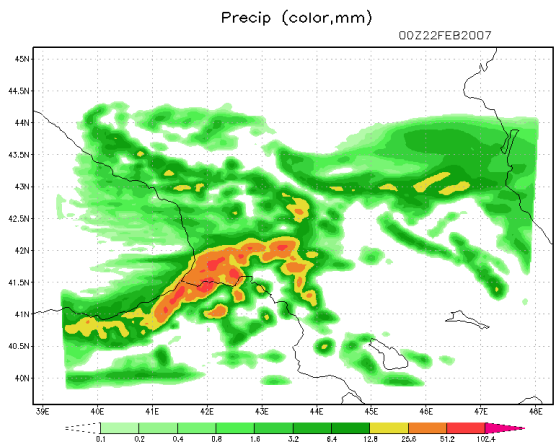
```

rain.gs სკრიპტის შემოკლებული ნაწილი და მიღებული გამოსახულება 12საათიანი დროითი ინტერვალისთვის წარმოდგენილია ქვემოთ :

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt `--> Enter the name of the file you
want to use: `
pull openfile
`set mpdset hires'
time=00
count=1
while (count<26)
`set t ` count
`d rainc+rainnc'
if (time)
`!mkdir
forecast/precipanalizuri_'openfile''
`printim'
.....
endwhile

```

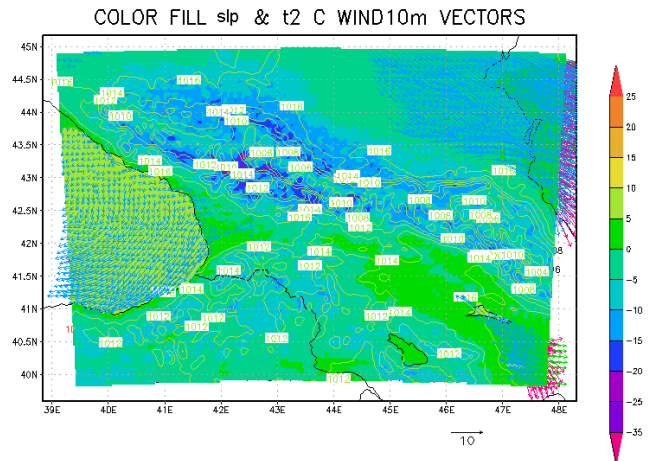


მოყვანილია პროგრამა ქარის (u , v) ვექტორული გამოსახულებების მისაღებად. ფონური და ვექტორული გრაფიკები განთავსებული იქნა ერთ არეზე.

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt `--> Enter the name of the file
.....
`d skip(u,4);skip(v,4)'
`run scripts/cbar.gs'
`draw title COLOR FILL slp & t2 C
WIND10m VECTORS'
if (time)
`!mkdir forecast/wind1_'openfile''

```



```

\printim forecast/wind1_'openfile'/wind_10m2_'time'.gif'
time=time + 12
endif
count=count + 2
endwhile

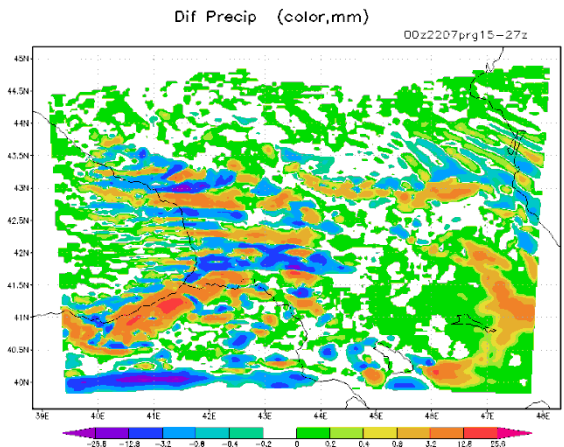
```

GRADS სკრიპტების ენა საშუალებას გვაძლევს ცვლადებზე ვაწარმოოთ მათემატიკური ოპერაციები, რათა გავუკეთოთ ანალიზი სხვადასხვა მეთოდით მიღებულ შედეგებს. მაგალითად, სხვადასხვა ექსპერიმენტის თვლის შედეგები შევადაროთ ერთმანეთს. ქვემოთ წარმოდგენილია სკრიპტის ნაწილი ნალექების სხვაობისათვის:

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt '-> Enter the name of the file you
want to use: \'
pull openfile
\open \openfile
openfile = openfile%'.ctl'
prompt '-> Enter the name of the file you
want to use: \'
pull openfile
\open \openfile
\set mpdset hires'
\set display color white'
\set grads off'
\set gxout shaded'
\set clevs -25.6 -12.8 -3.2 -.8 -.4 -.2 0 .2 .4 .8 3.2 12.8 25.6'
\set ccols 9 14 4 11 5 13 0 3 10 7 12 8 2 6'
\d sum(rainc.1+rainnc.1,t=2,t=5)-sum(rainc.2+rainnc.2,t=2,t=5)'
.....
\run cbar.gs'

```



მნიშვნელოვანია ბადის კვანძებზე მონაცემების რიცხვითი ფორმატით წარმოდგენა, აგრეთვე, მოცემულ არეზე ნებისმიერი წერტილისთვის ცვლადის ათობითი ან ორობითი მნიშვნელობების ამოღება და მათი ჩაწერა ფაილის სახით წინასწარ მითითებულ ფორმატში.

result.gs:

```

openfile = openfile%'.ctl'
.....
\set prnopts %g 448 1'
\d u10'
hfile ='u10_'count'.csv'
ret=result
res=write(hfile,ret)
count=count + 1
endwhile

```

data.gs:

```

openfile = openfile%'.ctl'
prompt '---> Enter the name of the
file you want to use: \'
pull openfile
\!m Tbilisi_t2.txt'
\set lon 41.8'
\set lat 44.8'
\set t 1 25'
.....
ret=result
res=write(hfile,ret,append)

```

result.gs-ით მიიღება დროითი ინტერვალების შესაბამისი ტექსტური ფაილების რაოდენობა *u10_1.txt . . . u10_n.txt*. სვეტებისა და მწკრივების რაოდენობა განისაზღვრება მომხმარებლის მიერ, რაც ამარტივებს მონაცემების მოდელის ბადეზე მორგებას. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებული იქნა შავი ზღვის მოდელის მიერ ატმოსფეროს მოდელიდან მიღებული მონაცემების ასათვისებლად.

ქვემოთ მოყვანილია *data.gs*-ით მიღებული შედეგი თბილისის ტემპერატურისთვის 2 მეტრზე პროგნოსტიკული ვადების მიხედვით:

```
Tbilisi_t2.txt
PrintingGrid-1Values-Undef=1e+30
t1=0.0809438    t2=0.10551
t3=16.2306     t4=32.5497
```

ლოკალური (წერტილოვანი) დაკვირვების მონაცემების ვიზუალიზაციისათვის საჭიროა რამოდენიმე ეტაპი :

- მონაცემების გადაყვანა ორობით ფორმატში;
- მოხაზული არის, არეზე არსებული წერტილების და წერტილებს შორის ბიჯის გათვალისწინებით აღმწერი ფაილის შექმნა;
- *stnmap* – „უტილიტა“-ს გამოყენებით რუკის შექმნა.

არსებული რეალური მონაცემები (ტემპერატურა, ტენიანობა და სხვა) წარმოდგენილი უნდა იქნას **ASCII** ტექსტური ფორმატით, ამასთან მითითებული უნდა იყოს სადგურის კოორდინატები და დრო. მიღებული მასივი გადავიყვანოთ უნდა იქნას ორობით ფორმატში.

ქვემოთ მოცემულია მონაცემების ორობით ფორმატში გადამყვანი პროგრამის ფრაგმენტი.

```
#include <stdio.h>
/* Structure that describes a report header in a stn file */
struct rpthdr {
char id[8];      /* Station ID */
float lat;      /* Latitude of Station */
float lon;      /* Longitude of Station */
float t;        /* Time in grid-relative units */
int nlev;      /* Number of levels following */
int flag;      /* Level independent var set flag */
}
.....
fwrite (&hdr,sizeof(struct rpthdr), 1, ofile);
}
```

შემდეგი ეტაპზე ხდება აღმწერი ფაილის შექმნა, რომელშიც ინტერპრეტირებული უნდა იყოს მონაცემთა მასივში ცვლადების თანმიმდევრობა და საწყისი დრო. ქვემოთ საილუსტრაციოდ მოყვანილია ერთცვლადიანი (ტემპერატურის) მასივის აღმწერი ფაილი ყოველთვიური მონაცემებისთვის:

```
dset      ^24feb.dat
dtype     station
stnmap    24feb.map
undef     1.e35
```

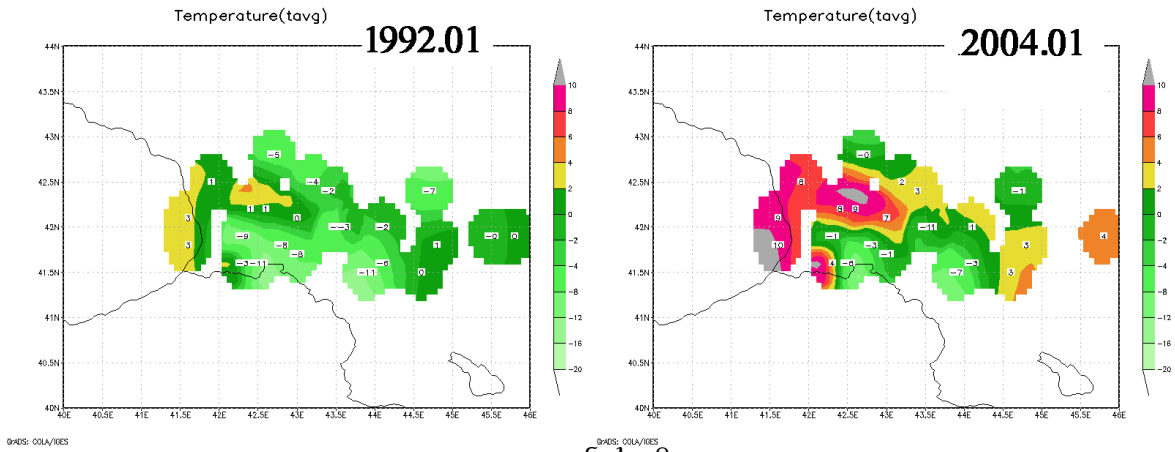


```

title      Temperatura
tdef      4 linear jan2007 lmo
vars      1
T         0 99 temp
endvars

```

ბოლო ეტაპზე ხდება რუკის ფაილის შექმნა მიღებული ორობითი **DAT** ფორმატის ფაილის, აღმწერი **CTL** ფორმატის ფაილის და *stnmap* “უტილიტა”-ს გამოყენებით. ამით მთავრდება რიცხვით მასივში წარმოდგენილი წერტილების არეზე განთავსება. რუკებზე (ნახ. 8) წარმოდგენილია იანვრის თვის საშუალო ტემპერატურების განაწილების რუკები.



ნახ. 8

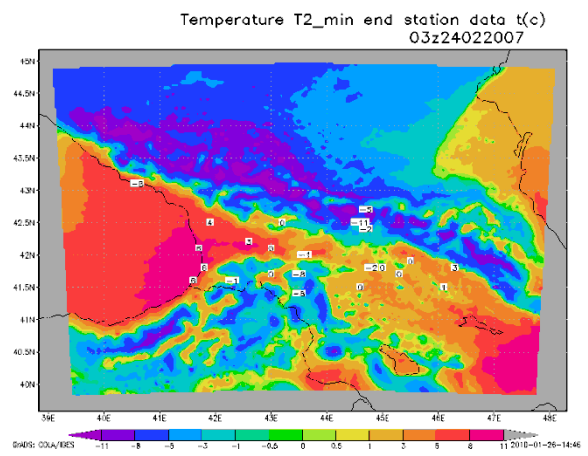
ფონური გამოსახულებების მისაღებად ასევე საჭიროა მოდელით მიღებული შედეგიდან ამოღებული იქნას რომელიმე ცვლადი, მისთვისაც დაიწეროს აღმწერი ფაილი. ამ ცვლადების საშუალებით ხდება არის ლოკალურ წერტილებზე მონაცემების ინტერპოლაცია, გლობალური (ბადის) მონაცემების გათვალისწინებით. ეს საშუალებას იძლევა გამართლებადობის ანალიზი გაუკეთდეს მოდელით დათვლილ შედეგებს.

მოგვყავს აღმწერი ფაილის **T2.cil** ნიმუში მოდელიდან ამოღებული **T2.dat** ორობითი ფაილისთვის:

```

dset ^t2.dat
undef 1.e35
xdef 422 linear 38.8378 0.0225
ydef 249 linear 39.5858 0.0225
zdef 1 linear 1 1
tdef 1 linear 00Z22FEB2007 1hr
vars 1
t2 0 0 Dewpoint Temperature (k)
endvars

```

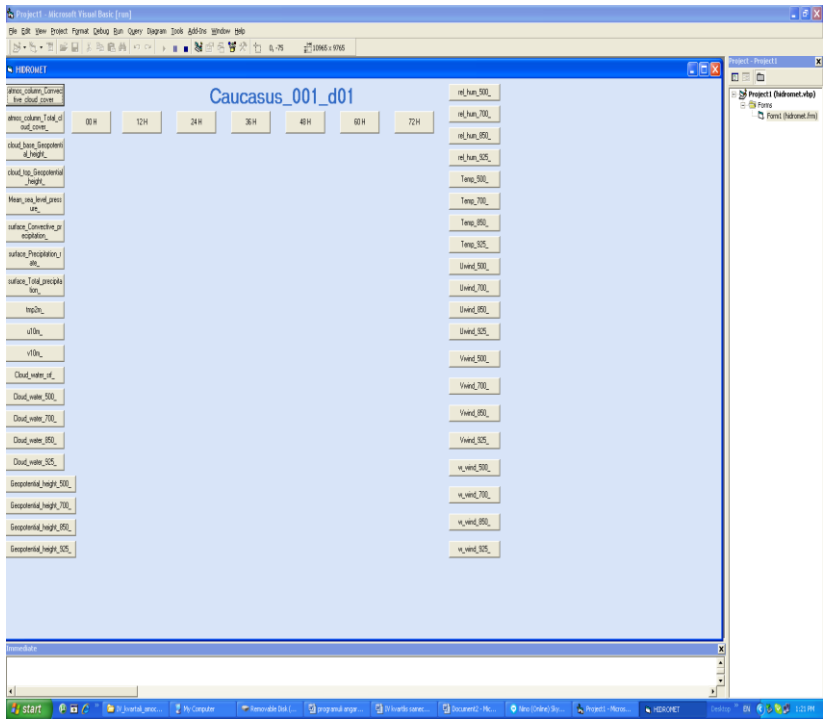


მიღებული შედეგების გამოყენებით შეიქმნა სკრიპტი მოდელით სიმულირებული და დაკვირვებული მონაცემების ზედდებული გამოსახულებების მისაღებად. ნახაზზე წარმოდგენილ რუკაზე ფონურად გამოსახულია მოდელის თვის

პროგნოსტიკული შედეგები, ხოლო ლოკალურად წერტილებზე – დაკვირვების მონაცემები 2 მეტრზე გაზომილი მინიმალური ტემპერატურისათვის.

```
'open tmin_var.ctl'
'set mpdset hires'
'set display color white'
'set gxout shaded'
'set ccols 9 14 4 11 5 13 3 10 7 12 8 2      6'
'set clevs -11 -8 -5 -3 -1 -0.5 0 0.5 1 3 5 8 11'
'd t2-273.15'
'open tmin_station.ctl'
.....
'run cbar.gs'
'printim t2_max-var.gif gif'
'reinit'
```

ვინაიდან მოდელის თვლის შედეგად სხვადასხვა ცვლადისთვის სხვადასხვა ვადაზე მიიღება უამრავი გამოსახულება რამდენიმე არეზე, ცვლადების კომფორტული დათვალიერების მიზნით **VB6 (Visual Basic)**-ის ენაზე შეიქმნა პროგრამა, რომლის გრაფიკული ინტერფეისი და პროგრამული ნაწილი წარმოდგენილია ქვემოთ (ნახ. 9).



```
Private v1 As String
Private v2 As String
Private Path As String
Private MainFolder As String
Private Sub Form_Load()
Move (Screen.Width - Width) / 2, (Screen.Height - Height) / 2
MainFolder = "F:\Caucasus_001_d01\d01"
Path = MainFolder
End Sub
Private Sub cmd00H_Click()
If v1 = "atmos_column_Convective_cloud_cover_00.gif" Then
Path = Path +
"atmos_column_Convective_cloud_cover_00.gif"
ImgResult.Picture = LoadPicture(Path)
Path = MainFolder
End If
If v1 = "atmos_column_Total_cloud_cover_00.gif" Then
Path = Path + "atmos_column_Total_cloud_cover_00.gif"
ImgResult.Picture = LoadPicture(Path)
Path = MainFolder
End If
If v1 = "cloud_base_Geopotential_height_00.gif" Then
Path = Path + "cloud_base_Geopotential_height_00.gif"
Path = MainFolder
End If
```

ნახ. 9

3.3.3. ვიზუალიზაციის პროგრამა RIP4.
 ისევე როგორც ზემოთ აღწერილი პროგრამა **GRADS, RIP4 (Read/Interpolate/Plot)** მოდელის შედეგების ვიზუალიზაციის სისტემაა. იგი წარმოადგენს ფორტრანზე დაწერილ პროგრამას, რომელიც გამოიყენება

მეტეოროლოგიური ბაღეზე დადებული მონაცემებისათვის, უმთავრესად, მეზომასშტაბურ რიცხვით მოდელებში. ამოცანის განხორციელების მიზნით ჩამოტვირთული და განარქივებული იქნა შესაბამისი კოდის უახლესი ვერსია, გაწერილი იქნა მომხმარებლის გარემოს პარამეტრებში გარემოს ძირითადი ცვლადი **RIP_ROOT**, კომპილირებული და კონფიგურირებული იქნა **RIP** და მასთან დაკავშირებული პროგრამები, რის შედეგადაც შეიქმნა აღმასრულებელი ფაილები **ripdp, ripcomp, ripcut** და სხვ. პირველის გამოყენება დაკავშირებულია იმასთან, რომ **PIR**-ს არ შეუძლია პირდაპირ გამოიყენოს მოდელების თვლის შედეგად მიღებული ფაილები. წინასწარ ხდება მათი ფორმატის შეცვლა **ripdp (RIP Data Preparation)** პროგრამის საშუალებით. ამ დროს ხორციელდება თითოეულ ვადაზე ცალკეული ცვლადებისთვის საკუთარი ფაილების შექმნა. შემდეგ ეტაპზე ხდება მომხმარებლის ე.წ. შემსვლელი ფაილის მომზადება და პროგრამის გაშვება. **RIP**-ს გააჩნია ცვლადების ტრაექტორიების გაანგარიშებისა და გრაფიკული გამოსახვის 35როგნ, რაც თავისთავად ორ ეტაპად სრულდება.

RIP აღიწერება, როგორც „კვაზი-ინტერქტიული“, რამდენადაც მომხმარებელს შეუძლია ტექსტური ფაილების რედაქტირებისა და ფორმატირების გზით მიიღოს სასურველი გრაფიკები და რუკები.

ვიზუალიზაციის ადრე დანერგილი საშუალებებისგან განსხვავებით, აღნიშნული პროგრამული პაკეტის გამართვის შედეგად ამჟამად შესაძლებელია:

- რუკები გამოსახული იქნას პროექციის სხვადასხვა სისტემებში (**Lambert Conformal, Polar Stereographic, Mercator, or stretched-rotatedcylindrical-equidistant (SRCE)**);
- აგებული იქნას ვერტიკალური ჭრილები ვერტიკალური დონის ინდექსის, წნევის, ლოგარითმული წნევის, ექსნერის ფუნქციის, სიმაღლის, პოტენციალური ტემპერატურის, ექვივალენტური პოტენციალური ტემპერატურის, ან პოტენციალური გრიგალის, როგორც ვერტიკალური კოორდინატის გამოყენებით;
- მითითებულ კოორდინატებზე აგებული იქნას **skew-T/logg** ვერტიკალური ჭრილები;
- გაანგარიშებული იქნას ჰაერის ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულების თანმხვედრი და საპირისპირო ტრაექტორიები, აგრეთვე, მათ გასწვრივ დიაგნოსტიკური მახასიათებლები;
- აგებული იქნას ტრაექტორიების ჰორიზონტალური პროექციები და ვერტიკალური ჭრილები.

4. ინფორმაციული ტექნოლოგიები თანამედროვე ამინდის საპროგნოზო რიცხვით მოდელებში.

მრავალ-პროცესორიანი (მპ) სისტემების აწეობა და მათი გამოყენება დიდი მოცულობის მქონე გამოთვლებისათვის დაკავშირებულია ტექნოლოგიურ სირთულეებთან. არსებობს მპ სისტემები საერთო (*Shared*) და განაწილებული (*Distributed*) მეხსიერებით. პირველის მაგალითს წარმოადგენს უკვე ფართოდ გავრცელებული სიმეტრიული მრავალ-პროცესორიანი სისტემები (**SMP**) საერთო მეხსიერებით, სადაც ერთ ფიზიკურ გამოთვლით კვანძში (კომპიუტერული ყუთი) მოთავსებულია რამდენიმე იდენტური ცენტრალური პროცესორი (ცპ), რომლებიც საერთო საკომუნიკაციო სალტეთი დაკავშირებული არიან საერთო მეხსიერებასთან. ასეთ კომერციული მოხმარების სისტემებს აწარმოებს საინფორმაციო ტექნოლოგიების სხვადასხვა ცნობილი კომპანია (მაგ. **SUN Microsystems, HP/Compaq, IBM**). მათ ალტერნატივას დღესდღეობით წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული განაწილებული სისტემები. ასეთი სისტემების გავრცელებას ხელი შეუწყო პერსონალური კომპიუტერების (პკ) წარმადობის ექსპონენციალურმა ზრდამ, რის შედეგადაც ცალკე აღებული პკ უკვე წარმოადგენს მნიშვნელოვანი გამოთვლითი სიმძლავრის მქონე რესურსს. განაწილებული სისტემები წარმოადგენს ასეთი პკ-ების ერთობლიობას/კლასტერს, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან მაღალი სიჩქარის მონაცემთა გადაცემის ქსელით. არსებობს აგრეთვე გამოთვლების მასობრივი პარალელიზმის მქონე მრავალპროცესორიანი (**MPP – Massively Parallel Processing**) სისტემები, როგორცაა წინა საუკუნის ბოლო მეოთხედში გავრცელებული ეგრეთწოდებული სუპერკომპიუტერები (მაგალითად ფირმა **CRAY**-ის სუპერკომპიუტერები).

ამ ორივე სისტემის დაპროგრამება მპ ეფექტურობის გამოყენებით (განპარალელება) დაკავშირებულია სხვადასხვა ტექნოლოგიურ ნიუანსებთან. სანამ მათ დეტალურად განვიხილავთ, სასურველია გავცნოთ თვითნებური მათგანის სპეციფიკას.

ა. სისტემები საერთო მეხსიერებით:

ასეთი სისტემა წარმოადგენს კომპაქტურ მოწყობილობას, ერთ ფიზიკურ ყუთში მოთავსებული რამდენიმე მძლავრი ცპ-თი, რომლებიც საერთო საკომუნიკაციო არხით (სალტე) დაკავშირებული არიან საერთო მეხსიერებასთან. ეს სისტემები ადვილად სამართავი და დასაპროგრამებელია, რაც დაკავშირებულია ასეთი სისტემების არქიტექტურულ თავისებურებასთან (მათ მართავს ერთი მონოლითური ოპერაციული სისტემა მეხსიერების ერთიან სამისამართო სივრცეში) და მათთვის არსებული პროგრამული უზრუნველყოფის მაღალ ხარისხთან. მათი შიდა პროცესთშორისი კავშირის სიჩქარე (რაც კრიტიკულია განპარალელების დროს) აღემატება 6-8 **GB/წმ** (ანუ 48-64**Gb/წმ**). მათი დაპროგრამების ტექნოლოგიებიც უფრო მარტივია. მაგრამ ასეთი სისტემების თითოეული შემადგენელი კომპონენტი გაცილებით უფრო მაღალი ხარისხისაა და ამიტომ მნიშვნელოვნად უფრო ძვირად ღირებულია, რაც დაკავშირებულია ასეთი სისტემების მზადყოფნის მაღალ სტანდარტებთან (რომელიმე კომპონენტის მწყობრიდან გამოსვლამ შეიძლება გამოიწვიოს მთელი სისტემის გაფუჭება).

სისტემაში პროცესორების რაოდენობის ზრდა იწვევს საერთო ღირებულების არაპროპორციულ ზრდას.

ბ. სისტემები განაწილებული მესხიერებით

ეს სისტემები წარმოადგენენ რამდენიმე ავტონომიური გამოთვლითი კვანძის (მძლავრი პკ ან სამუშაო სადგური – **Workstation**) ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან მაღალი სიჩქარის მონაცემთა გადაცემის ქსელით. ასეთი სისტემა ადვილად ხელმისაწვდომია და მასშტაბირებადი, გაცილებით უფრო მდგრადია ჩავარდნებისადმი (ერთი ან რამდენიმე კვანძის მწყობრიდან გამოსვლა არ ამცირებს მნიშვნელოვნად სისტემის საერთო წარმადობას). ერთი და იმავე რაოდენობის ცპ-ს შემთხვევაში გაცილებით უფრო იაფია ვიდრე სიმეტრიული მრავალპროცესორიანი სისტემები. მაგრამ ასეთი სისტემების მართვა და დაპროგრამება გაცილებით უფრო ძნელია. როდესაც გამოთვლის პროცესი მოითხოვს შიდა პროცესებს შორის ინფორმაციის ინტენსიურ გაცვლას, ეფექტურობა ვარდება, რადგან პროცესთშორისი კავშირის სიჩქარე დამოკიდებულია მონაცემთა გადაცემის ქსელის სიჩქარეზე, რომლის სიჩქარე დღეს-დღეობით შემოიფარგლება 0.12-1GB/წმ(1-10Gb/წმ) სიდიდით. განპარალელების ტექნოლოგიები არ არის ისეთი დახვეწილი, როგორც სიმეტრიული მრავალ-პროცესორიანი სისტემების შემთხვევაში და მოითხოვს მნიშვნელოვნად მეტ სპეციფიურ ცოდნას.

დღესდღეობით არსებობს განპარალელების ორი ძირითადი ტექნოლოგია:

ა. **OpenMP (Open Multi-Processing)**, რომელმაც გამოყენება ჰპოვა სიმეტრიულ მრავალპროცესორიანი სისტემებში

ბ. **MPI Message Passing Interface**, რომელიც შეუცვლელია განაწილებული სისტემების დაპროგრამებისას.

ეს ტექნოლოგიები განსაზღვრავენ ოპტიმალურ გამოთვლით მოდელებს, რომლებიც თავის მხრივ, მნიშვნელოვნად განაპირობებენ დაპროგრამების თავისებურებებს. მაგალითად, განაწილებული სისტემების დაპროგრამებისას მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა პროცესებს შორის ურთიერთობის სინქრონიზაციას, რისთვისაც გამოიყენება სპეციალური საკომუნიკაციო პროგრამული ბიბლიოთეკები (**MPI** ან **PVM – Parallel Virtual Machine**). **OpenMP** სტანდარტი კი, რომელიც წარმოადგენს პროგრამულ პროცესებს (**Pthreads**)-შორის ურთიერთობების მართვის პროგრამულ ბიბლიოთეკაზე (**POSIX** სტანდარტი) დაფუძნებულ ზედნაშენს, ათავისუფლებს პროგრამისტს ამ ტვირთისგან, რომელმაც შეიძლება არა მარტო გაამარტივოს დაპროგრამების პროცესი, არამედ დაასწრაფოს გამოთვლებიც.

5. აპარატურულ-პროგრამული პლატფორმა.

მოდელის გამართვისათვის საჭირო გახდა ისეთი აპარატურულ-პროგრამული პლატფორმის შერჩევა, რომელიც მაქსიმალურად დააჩქარებდა მოდელის შესრულებას (შეამცირებდა მისი თვლის დროს) პროექტის ბიუჯეტის შესაძლებლობიდან გამომდინარე. რადგან აღნიშნული მოდელი არის რიცხვითი გამოთვლების ნაკრები, რომელიც ინტენსიურად იყენებს მცოცავი მძიმის ტიპის ოპერაციებს, არჩევანი გავაკეთეთ **AMD Opteron (Barcelona)**-ს ტიპის 4-ბირთვიან სერვერულ პროცესორებზე, რომლებსაც პროექტის დაწყების მომენტში ჰქონდათ მაქსიმალური ეფექტურობა (წარმადობა ერთეულოვან ღირებულებაზე). რადგან მოდელი შესრულების დროს ეფექტურად განპარალელდება სისტემაში არსებულ ცენტრალურ პროცესებზე, რაც იწვევს მისი შესრულების სიჩქარის შესაბამის

გაზრდას, ამდენად ცენტრალური პროცესორების (ბირთვების) რაოდენობის ზრდა წარმოადგენს მოდელის წარმადობის ზრდის ბუნებრივ შესაძლებლობას. მაგრამ აქ არის 2 შემთხვევა რომლებიც მოითხოვს დეტალურ ანალიზს.

ა) პროცესორების (ბირთვების *cpu-cores*) ზრდა მოითხოვს გამოთვლითი ერთეულების/კვანძების (*Computer Elements/Nodes*) გაერთიანებას ერთ სისტემაში, რაც წარმოადგენს ჩვეულებრივ პრაქტიკას თანამედროვე მაღალი წარმადობის კომპიუტერული კლასტერების შექმნის დროს. თავის მხრივ, ეს ერთეულები/კვანძები წარმოადგენენ ავტონომიურ გამოთვლით სისტემებს, რომლებსაც შეუძლიათ აწარმოონ ყველა ის ოპერაცია, რომელიც საჭიროა მოდელის შესასრულებლად. მოდელის შესრულების ეფექტურობის გასაზრდელად აუცილებელია ამ კვანძების ურთიერთშორისი შეთანხმებული მოქმედება – მათზე გაშვებული პროცესების მკაცრი სინქრონიზაცია, რასაც წარმატებით ახორციელებს **MPI (Message Passing Interface)** ტექნოლოგია, რომლის გამოყენების შესაძლებლობა გათვალისწინებულია მოდელში.

ბ) არსებობს მეორე გზა, რომელსაც აქვს პროცესორების (ბირთვების *cpu-cores*) ზრდის და შესაბამისად, მოდელის წარმადობის გაზრდის მნიშვნელოვნად შეზღუდული შესაძლებლობები. ამ შემთხვევაში იქმნება ერთი მძლავრი კომპიუტერული ელემენტი/კვანძი მაქსიმალურად შესაძლებელი პროცესორების/ბირთვების რაოდენობით. პროექტის დაწყების მომენტში ერთ სისტემაში შესაძლებელი ბირთვების მაქსიმალური რაოდენობა შეადგენდა 16-ს, რაც მიღწეული იქნა **AMD Opteron (Barcelona)**-ს ტიპის 4-ბირთვიანი სერვერული 4 პროცესორის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში გამოთვლით პროცესებს შორის ურთიერთქმედება/სინქრონიზაცია ხდება **OpenMP** ტექნოლოგიის გამოყენებით, რომელიც მნიშვნელოვნად უფრო გაადვილებულია.

გ) როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მრავალპროცესორიან სისტემებზე მოდელის გაშვების დროს ხდება ერთდროულად არსებულ ყოველ პროცესს შორის მკაცრი სინქრონიზაცია, რაც გადამწყვეტია მოდელის თვლის საერთო დროის განსაზღვრისათვის. რაც უფრო ეფექტურია ამ კომუნიკაციისათვის გამოყოფილი არხი, მით უფრო მცირეა მოდელის თვლის დრო. ჩვენი კონკრეტული შემთხვევისათვის (4 **AMD Opteron (Barcelona)**-ს ტიპის 4-ბირთვიანი პროცესორი, **16GB – DDR2-667, Thunder n3600QE**-სისტემური ფირით Up to **1.0GHz HyperTransport link**) ამ არხის სიჩქარე შემოზღუდული იყო **8GB/წმ**-ით და რაც მთავარია, კომუნიკაციის წამომწყები პაკეტის პრაქტიკულად ნულოვანი დაყოვნებით. პირველ შემთხვევაში (**MPI** ტექნოლოგია), ჩვენი ბიუჯეტიდან გამომდინარე, საუკეთესო შესაძლებელ ვარიანტს წარმოადგენდა **1GB/წმ Ethernet**, რომელიც ხასიათდება **0.12GB/წმ**-ის გადაცემის სიჩქარით და რამდენიმე ათეული მილიწამიანი პირველი პაკეტის ინიციალიზაციით.

ბიბლიოთეკები, კომპილატორები, პროგრამული ენები და სკრიპტები. რადგან **WRF ARW** მოდელი წარმოადგენს **Fortran90**-ზე დაწერილ კოდს, რომლის გასაშვებად საჭიროა მისი კომპილაცია. ამიტომ მოდელის წარმადობა მნიშვნელოვნად განაპირობებულია იმით, თუ რამდენად ოპტიმიზირებულია არჩეული კომპილიატორი აპარატურული პლათფორმისათვის. **Linux x86_64** სისტემისათვის შესაძლო არჩევანია: **GNU F90, Intel Free Fortran, PGI Fortran v7.1.** რადგან **AMD Opteron**-ის ტიპის პროცესორებისათვის ოპტიმიზირებული იყო მხოლოდ **PGI**-ის კომპილიატორი, ამიტომ ჩვენი არჩევანიც მასზე შევაჩერეთ.

მოდელის გასაშვებად აუცილებელია დამხმარე ბიბლიოთეკები, როგორცაა *netcdf, jasper, libpng, zlib* და ა.შ. ზოგიერთი მათგანი მოითხოვს იმავე კომპილიატორით დაკომპილირებას, რომლითაც კომპილირდება მოდელი, რაც თავისთავად წარმოადგენდა დამატებით სირთულეს მოდელის მომზადების პროცესში. მოდელის თვლის შედეგები მოითხოვს შემდგომ დამუშავებას, რომ ისინი გახდეს საბოლოო მომხმარებლებისათვის ღირებულები. ამ პროცესს შედეგების ვიზუალიზაცია ეწოდება და ისევე როგორც მოდელის გაშვება, ისიც მოითხოვს დამატებით ბიბლიოთეკებს, რომელთა აბსოლუტური უმრავლესობა არსებობს მხოლოდ კოდების სახით და ამიტომ მოითხოვს წინასწარ დაკომპილირებას, რაც წარმატებით შესრულდა მათი უმრავლესობისათვის.

6. ვარიაციული ასიმილაციის კოდი

თემის ფარლებში განხორციელდა მონაცემთა 4-განზომილებიანი ასიმილაციის ტექნიკის გამოყენება და **WRFv3(ARW)** მოდელის ვარიაციული ასიმილაციის კოდის დანერგვა (**WRF-Var**).

6.1. მონაცემთა 4-განზომილებიანი ასიმილაცია (FDDA) წარმოადგენს ბადის წერტილების მიხედვით სიმულაციის ანალიზთან (მაგ., -6 საათიდან 0 საათამდე) და/ან დაკვირვებასთან მიახლოებაში შენარჩუნების მეთოდს. მოდელის ბირთვში უზრუნველყოფილია **FDDA**-ს ორი ტიპი, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ცალ-ცალკე ან კომბინაციაში. პირველი, გულისხმობს მოდელის სიმულაციის ანალიზის სერიებით ე.წ. „დატვირთვას“ ბადის ყველა კვანძის მიხედვით, ხოლო მეორე – დაკვირვების მონაცემებით „დატვირთვას“ ლოკალურად, სადგურების მიხედვით.

ანალიზური „დატვირთვა“ ხდება ცვლადთა 4 ველზე: ქარის 2 ჰორიზონტალური მდგენელი, ტემპერატურა, ტენიანობა. მეოთხედი ხორციელდება „დატვირთული“ ცვლადისათვის დამატებითი რელაქსაციის წვერის შემოტანით. მაგ:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F(\theta) + G_{\theta} W_{\theta} (\hat{\theta}_0 - \theta)$$

სადაც $F(\theta)$ წარმოადგენს ფიზიკით, ადვექციით და სხვ. განპირობებულ ნორმალური ტენდენციის წვერებს, G_{θ} დროითი მასშტაბით კონტროლირებული „დატვირთვის“ ინტენსიურობაა, W_{θ} დამატებითი წონითი კოეფიციენტი, $\hat{\theta}_0$ დროსა და სივრცეში ინტერპოლირებული ანალიზური ველის მნიშვნელობა, რომლის მიმართულებითაც ხდება ამოხსნის „დატვირთვა“.

მოდელის სიმულაციის განმავლობაში შესაძლებელია გაკონტროლდეს: „დატვირთვის“ დასრულების დრო და თანდათანობითი მოხსნის საშუალება, ჩვეულებრივ, 1-2 საათი, რათა აცილებული იქნას ე.წ ხმაური, გამოწვეული „დატვირთვის“ უეცარი გამორთვით; „დატვირთვის“ ინტენსიურობა, სტანდარტულად იღებენ 0.0003 წმ^{-1} , რაც შეესაბამება დაახლოებით 1-საათიან დროით მასშტაბს. რამდენადაც ანალიზური დროის განმავლობაში (6 საათი) ვერ ხერხდება დღეღამური ციკლურობის გათვალისწინება, ტემპერატურისა და სინოტივის ველების „დატვირთვა“ ხშირად გამორთულია პლანეტარულ სასაზღვრო ფენაში. ასევე შესაძლებელია „დატვირთვის“ მოხსნა მოდელის გარკვეული დონის ქვემოთ.

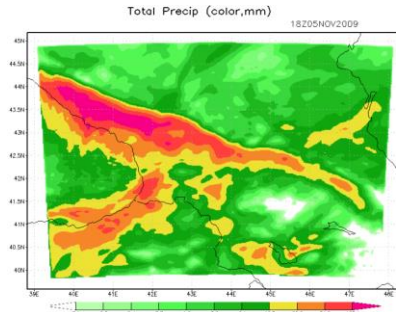
ქვემოთ მაგალითისათვის მოყვანილია ე.წ. შემავალი ფაილის ის ნაწილი, რომელიც აკონტროლებს ანალიზურ „დატვირთვას“. აქ დატვირთვა მოქმედებს 24 სთ-ს განმავლობაში და ქარის ველისათვის მოხსნილია მოდელის ქვედა 10 დონეზე.

```

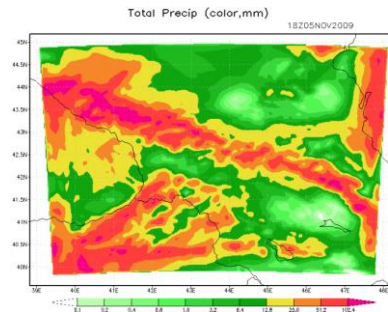
&fdda
grid_fdda                    = 1, 1, 1,
gfdda_inname                 = "wrfddda_d<domain>",
gfdda_end_h                  = 24, 24, 24,
gfdda_interval_m             = 360, 360, 360,
fgdt                          = 0, 0, 0,
if_no_pbl_nudging_uv        = 0, 0, 0,
if_no_pbl_nudging_t         = 1, 1, 1,
if_no_pbl_nudging_q         = 1, 1, 1,
if_zfac_uv                   = 1, 1, 1,
k_zfac_uv                    = 10, 10, 10,
if_zfac_t                     = 0, 0, 0,
k_zfac_t                     = 10, 10, 10,
if_zfac_q                     = 0, 0, 0,
k_zfac_q                     = 10, 10, 10,
guv                           = 0.0003, 0.0003, 0.0003,
gt                            = 0.0003, 0.0003, 0.0003,
gq                            = 0.0003, 0.0003, 0.0003,
if_ramping                   = 1,
dtramp_min                   = 60.0,
io_form_gfdda                = 2,

```

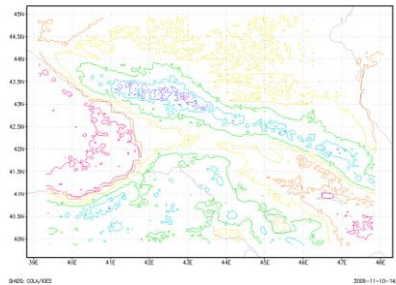
ნახ. 10-ზე წარმოდგენილია ერთიდაიგივე სიმულაციის შედეგები ანალიზური „დატვირთვის“ გამოყენებით და მის გარეშე.



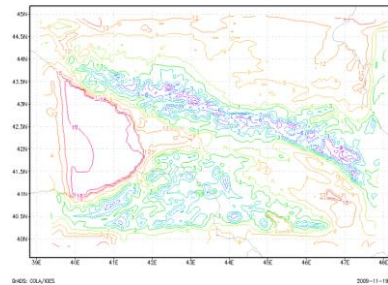
მოდელით დათვლილი 12-საათიანი ნალექების ჯამი



მოდელით დათვლილი 12-საათიანი ნალექების ჯამი ანალიზური „დატვირთვის“ გამოყენებით



მოდელით დათვლილი ტემპერატურა 2 მეტრზე



მოდელით დათვლილი ტემპერატურა 2 მეტრზე ანალიზური „დატვირთვის“ გამოყენებით

ნახ. 10

ანალიზური „დატვირთვა“ შესაძლოა გამოყენებული იქნას ოპერატიული პროგნოზირებისას. ამ დროს გარეთა არე „იტვირთება“ გლობალური პროგნოზის ველებით, რომლებიც მიღებულია რეგიონული პროგნოზის მიღებამდე და მოდელს აქვს 6 საათი ტოპოგრაფიაზე მოსარგებად და ღრუბლიანობის ველების შესაქმნელად ინტეგრაციის საწყისი ნულოვანი საათისათვის.

დაკვირვებით „დატვირთვა“ შესაძლებლობას აძლევს მოდელს განახორციელოს მოდელის საპროგნოზო არეში ნებისმიერ ადგილას და ასიმილაციის პერიოდში ნებისმიერ დროს გაზომილი ტემპერატურის, ქარისა და სინოტივის დაკვირვებათა ეფექტური ასიმილაცია. მოდელის ბირთვში დაკვირვებით „დატვირთვა“ ხორციელდება პროგრამა **OBSGRID**-ის საშუალებით.

6.2. მონაცემთა ასიმილაციის ტექნიკა გამოიყენება ამინდის საპროგნოზო რიცხვითი მოდელის შედეგებისა და დაკვირვების მონაცემების შერწყმისათვის, რის საშუალებითაც შესაძლებელია ატმოსფეროს მდგომარეობის გაუჯობესებელი დიაგნოზირება. ვარიაციული ასიმილაციის კოდი ამის საშუალებას იძლევა ე.წ. „ღირებულების ფუნქციის“ იტერაციული მინიმიზებით. ანალიზსა (წინა 6 საათის პროგნოზი) და დაკვირვებებს შორის სხვაობის, ანუ ე.წ. ფონური ცდომილების (**first guess**) ჩახშობა მიმდინარეობს ცდომილებისადმი მგრძობიარობის მიხედვით.

ღირებულების ფუნქცია (**J**) მოდელში შემდეგი განტოლებით მოიცემა:

$$J = 1/2[(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + (y^o - H(x))^T R^{-1}(y^o - H(x))],$$

სადაც **x** ანალიზის საკონტროლო ცვლადია, **x^b** – ფონური მნიშვნელობა (**FG**), **B** – ფონური ცდომილების კოვარიაცია, **H** – დაკვირვების ოპერატორი (შესაძლოა არაწრფივი), **y^o** – დაკვირვება, **R** – დაკვირვების ცდომილების კოვარიაცია.

ფუნქციის გაწარმოებით და 0-თან ტოლობით მიიღება:

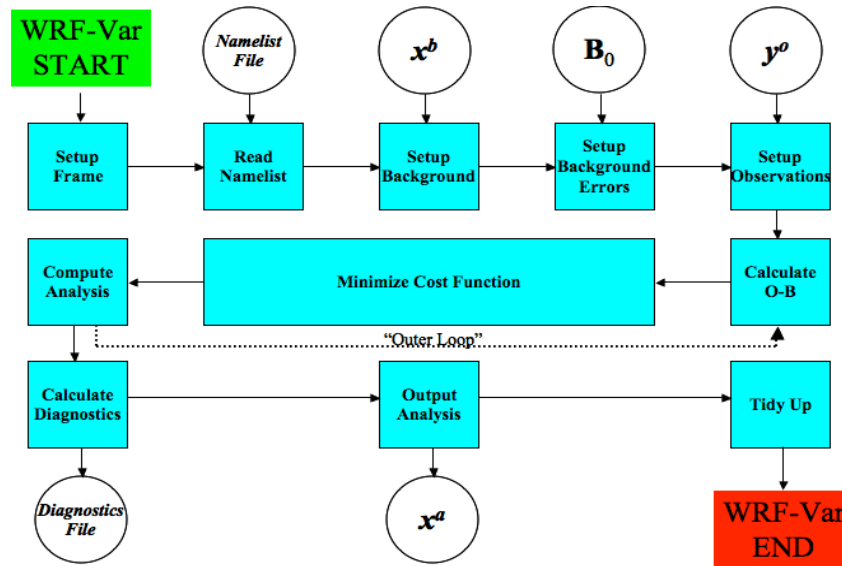
$$x^a = x^b + \frac{B}{B + R}(x^r - x^b)$$

WRF-Var ჩართულია პროგრამულ ჩარჩოში, გამოიყენება **WPS**-ის მიერ შექმნილ ინტერპოლირებულ ანალიზში დაკვირვებათა ასათვისებლად, აგრეთვე, **WRF** მოდელის საწყისი პირობების გასაახლებლად, როდესაც მოდელი ციკლურად ეშვება. გააჩნია შემდეგი შესაძლებლობები:

- დაფუძნებულია მონაცემთა ნაზრდული ვარიაციული ასიმილაციის ტექნიკაზე.
- იყენებს შეუღლებულ გრადიენტულ მეთოდს ანალიზის საკონტროლო ცვლადების ველში ღირებულების ფუნქციის მინიმიზების მიზნით;
- ანალიზი სრულდება არაკავას **A**-ბადეზე;
- ანალიზური ნაზრდები ინტერპოლირებულია არაკავას **C**-ბადეზე და ემატება ფონურ მნიშვნელობებს (**first guess**) მოდელის ბადეზე საბოლოო ანალიზის მისაღებად;
- დაკვირვების მონაცემთა ათვისება შესაძლებელია როგორც **ASCII**, ისე **PREPBUFR** ფორმატებში **OBSPROC** პროგრამის გამოყენებით;
- ფონური ცდომილების ჰორიზონტალური კომპონენტის წარმოდგენა შესაძლებელია რეკურსიული (რეგიონულ მოდელში) ან ენერგეტიკული სპექტრული (გლობალურ მოდელში) ფილტრების გამოყენებით;
- ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ფონური ცდომილებები გაუყოფელია. თითოეულ „საკუთარ“ ვექტორს გააჩნია თავისი ჰორიზონტალური კლიმატოლოგიურად განსაზღვრული სიგრძის მასშტაბი;

- კლიმატოლოგიური ფონური ცდომილების კოვარიაცია ფასდება NMC მეთოდით, ანუ პროგნოზებს შორის გასაშუალოებული სხვაობების მიხედვით პროგრამული პაკეტის *gen_be* მეშვეობით;
- აქვს WRF სასაზღვრო პირობების გასაახლებელი პროგრამული პაკეტი.

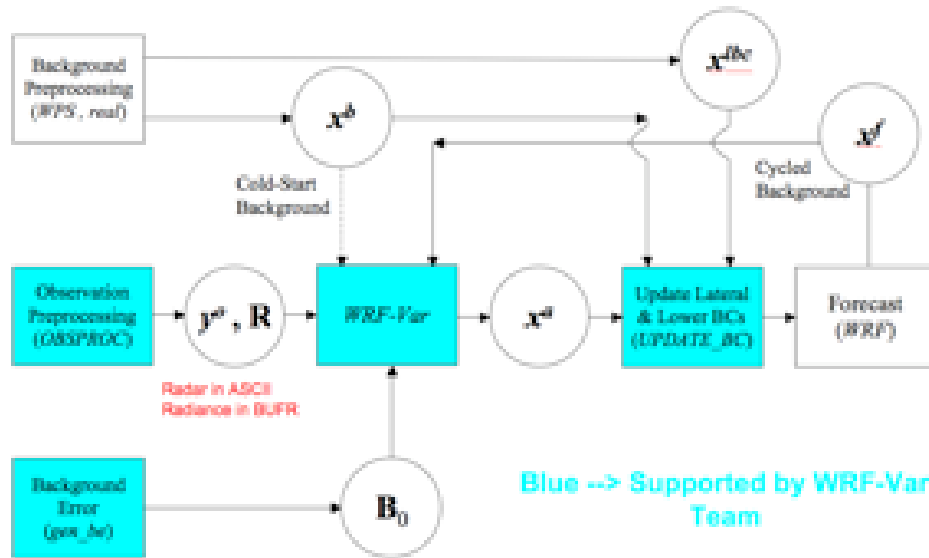
WRF-Var კოდის სტრუქტურა



ნახ. 10

საწყისი პარამეტრების უკეთ განსაზღვრისა და ე.წ. ფონური ცდომილების (first guess) გამოვლინების მიზნით მოხდა მოდელის კოდის დაინსტალირება და კომპილირება სპეციალური ქვეპროგრამების WRFDA, OBSGRID გამოყენების შესაძლებლობით. ამისათვის მოხდა შემდეგი ბიბლიოთეკების დაინსტალირება: BUFR, CRTM (V1.2), RTTOV (8.7). ვარიაციული კოდის დანერგვა მოხდა 16 ბირთვიან სამუშაო სადგურზე გაყოფილი მეხსიარებით. PGI კომპილატორით განხორციელდა შესაბამისი პარამეტრებით დაკომპილირება, რის შედეგადაც მიღებული იქნა WRFDA კოდი სამუშაო მდგომარეობაში ანუ შეიქმნა სამუშაო დირექტორიები შემდეგი აღმასრულებელი ფაილებით: *gen_be_stage0_wrf.exe*, *gen_be_stage1.exe*, *gen_be_stage2.exe*, *gen_be_stage2a.exe*, *gen_be_stage3.exe*, *gen_be_stage4_regional.exe*, and *gen_be_diags.exe*.

WRF-Var-ის ფუნქცია WRF-ის მოდელურ სისტემაში



ნახ. 11

x^b : ფონური მნიშვნელობა წინა გაშვების პროგნოზიდან ან გლობალური მოდელის ამოხსნიდან

x^{lbc} : სასაზღვრო პირობა გლობალური მოდელის ამოხსნიდან

x^a : ანალიზური მნიშვნელობა **WRF-Var** მონაცემთა ასიმილაციის სისტემიდან

x^f : **WRF** 43როგნოზის შედეგი

y^o : **OBSPROC**-ის მიერ დამუშავებულ დაკვირვებათა მნიშვნელობა

B_0 : ფონურ ცდომილებათა სტატისტიკა

R : დაკვირვებულ და რეპრეზენტატულ მონაცემთა ცდომილებების სტატისტიკა

განხორციელდა **WRFv3 (ARW)** მოდელის სრულყოფილი ვერსიის (ვარიაციული ასიმილაციის ბირთვის გამოყენებით) თვლაზე გაშვება. ამისათვის ჩატარდა შემდეგი სამუშაოები:

- დაკვირვების მონაცემების მომზადება **WRFv3 (ARW)** მოდელისთვის თავსებად ფორმატში

ვარიაციული ასიმილაციის ბირთვის გამოსაყენებლად, ანუ მონაცემთა ასიმილაციისათვის აუცილებელია შემავალი დაკვირვებათა ფაილის მომზადება, რისთვისაც საჭიროა სტანდარტულ დაკვირვებათა (დროის ფანჯარა, დომეინი, დუბლიკაცია და სხვ.) კლასიფიკაცია და საჭირო ინფორმაციის შენახვა ვარიაციული ასიმილაციის ბირთვისადმი თავსებად ფორმატებში, როგორცაა: **BUFR (Binary Universal Format for Representation of meteorological data)** prepBUFR-ი და **ASCII (American Standard Code for Information Interchange)**.

დღესდღეობით წარმოებს 18 ტიპის დაკვირვება. მათ შორის: დედამიწის ზედაპირზე განლაგებული სადგურების ინფორმაცია შეიცავს დაკვირვებას ტემპერატურის, წნევის, სინოტივის და ქარის შესახებ; მაღლივი სადგურების ზონდირების ინფორმაცია – დაკვირვებას ტემპერატურის, სინოტივის და ქარის შესახებ წნევის მრავალ დონეზე; თვითმფრინავების ინფორმაცია – დაკვირვებას

ტემპერატურის შესახებ განსაზღვრულ კოორდინატებსა და სიმაღლეზე; სატელიტური ინფორმაცია – დაკვირვებას ქარის შესახებ განსაზღვრულ კოორდინატებსა და სიმაღლეზე. გადმოცემულ ინფორმაციას უტარდება სტანდარტული კლასიფიცირება.

მოდელის დაკვირვების დამუშავების პროგრამა (**OBSPROC**) დაკვირვებებს კითხულობს ე.წ. **LITTLE_R** ფორმატში. **LITTLE_R** ფორმატის დაკვირვების გაშიფრული ფაილი შედგენილია ჩანაწერებისგან: საწყისი ინფორმაცია (**header**), მონაცემები და დაბოლოება. მაგალითისთვის მოგვყავს მოდელისთვის შერჩეული ძირითადი არისათვის ამოჭრილი დაკვირვების მონაცემთა ფაილის ფრაგმენტი:

41.28000		36.3000217030					
Soundings from NCAR DS353.4 ADP				FM-35 TEMP			
4.00000	78	0	0	1	0	T	F
F	-888888	-888888	20070224000000	999999.00000	0	0-888888.00000	0
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0	0	0
100000.00000	0	118.00000	0	278.14999	0	275.75000	0
5.14444	0	300.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-	0-
888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0	0	0	0	0
85000.00000	0	1421.00000	0	270.44998	0	269.75000	0

SFC OBS from NCAR ADP DS464.0				FM-12 TEMP			
0.00000	6	0	0	199	0	T	F
F	-888888	-888888	20070224000000	102110.00000	0	0-888888.00000	0
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0	0	0
-888888.00000	0	0.00000	0	275.04999	0	271.75000	0
13.89000	0	20.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-	0-
888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0	0	0	0	0
-777777.00000	0-777777.00000	0-777777.00000	0	1.00000	0	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000
0-888888.00000	0-888888.00000	0-888888.00000	0	0	0	0	0
1	0	0					

NCAR (National Centre for Atmospheric Research), MM5 (The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model) სამსახური უზრუნველყოფს დედამიწის ზედაპრისა და მაღლივი ატმოსფეროს რიგ დაკვირვებათა არქივს და მათ **LITTLE_R** ფორმატში გადაამყვან პროგრამას. რამდენადაც პირველადი დაკვირვების მონაცემთა ფაილები შესაძლოა იყოს ნებისმიერ ფორმატში, როგორცაა **ASCII, BUFR, PREPBUFR, MADIS, HDF** და სხვ., თითოეული ფორმატისათვის გამოიყენება კონვერტორი პროგრამის სხვადასხვა ვერსია. ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა ე.წ. **adp_to_little-r.csh** სკრიპტი, რომელიც მორგებულია აღნიშნული არქივის **adp** გაფართოების ფაილებზე.

- მოდელის თვლაზე გაშვება ადგილობრივი მეტეომონაცემების გათვალისწინებით

WRF-Var სისტემის გასაშვებად აუცილებელია 3 ფაილი:

ა) **first guess** ანუ ე.წ. შემავალი ფორმატის ფაილი, რომელიც წარმოადგენს მოდელის თვლის შედეგს (**wrfinput_d01**),

ბ) დაკვირვება (**ASCII** ან **PREBUFR** ფორმატში)

დაკვირვების მონაცემთა დამუშავება ხორციელდება ე.წ. **OBSPROC** პროგრამის საშუალებით. მისი მიზანია დროის ინტერვალისა და დომენის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური საზღვრების გარეთ მოხვედრილი დაკვირვებების გაფილტვრა; დროსა და სივრცეში კოპირებულ (განმეორებულ) მონაცემთა გაფილტვრა და ხელახალი სისტემატიზირება; ჰიდროსტატიკურ დაშვებაზე დაყრდნობით წნევათა და სიმაღლეთა მოძიება და შენახვა დაკვირვების ინფორმაციის შესაბამისად; მრავალდონიანი დაკვირვებებისათვის ვერტიკალური შესაბამისობისა და სუპერადიაბატურობის შემოწმება; წინასწარ განსაზღვრული შეცდომების ფაილის მიხედვით დაკვირვებათა შეცდომების დადგენა; დაკვირვებათა ფაილის ამოწერა **ASCII** ან **BUFR** ფორმატში **WRF-VAR**-ის მიერ შემდგომი გამოყენებისათვის. პროგრამის გაშვების შედეგად მიიღება **obs_gts_yyyy-mm-dd_hh:00:00.3DVAR** ფაილი. ქვემოთ საილუსტრაციოდ მოყვანილია ერთ-ერთი გაშვებისას მიღებული დაკვირვების ფაილის ფრაგმენტი.

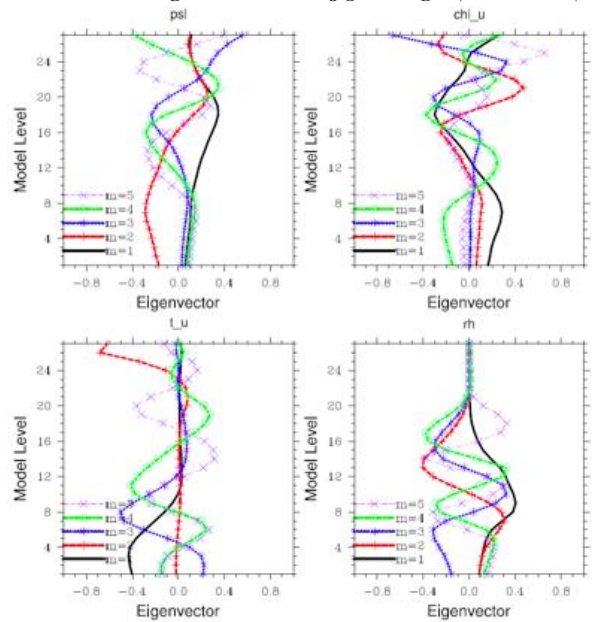
obs_gts_2007-02-22_12_00_003.DVAR:

TOTAL =	190,	MISS. =	-888888.,						
SYNOP =	179,	METAR =	0,	SHIP =	0,	BUOY =	0,	BOGUS =	0,
TEMP =	11,								
AMDAR =	0,	AIREP =	0,	PILOT =	0,	SATEM =	0,	SATOB =	0,
GPSPW =	0,								
GPSZD =	0,	GPSRF =	0,	GPSEP =	0,	SSMT1 =	0,	SSMT2 =	0,
TOVS =	0,								
QSCAT =	0,	PROFL =	0,	AIRSR =	0,	OTHER =	0,		
PHIC =	42.70,	XLONC =	43.60,	TRUE1 =	42.70,	TRUE2 =	42.70,	XIM11 =	60.00,
XJM11 =	38.00,								
base_temp=	300.00,	base_lapse=	50.00,	PTOP =	5000.,	base_pres=	100000.,		
base_tropo_pres=	20000.,	base_strat_temp=	215.,						
IXC =	167,	JXC =	117,	I PROJ =	1,	IDD =	2,	MAXNES=	2,
NESTIX=	167,	145,							
NESTJX=	117,	115,							
NUMC =	1,	1,							
DIS =	15.00,	5.00,							
NESTI =	1,	60,							
NESTJ =	1,	38,							
INFO =	PLATFORM, DATE, NAME, LEVELS, LATITUDE, LONGITUDE, ELEVATION, ID.								
SRFC =	SLP, PW (DATA, QC, ERROR).								
EACH =	PRES, SPEED, DIR, HEIGHT, TEMP, DEW PT, HUMID (DATA, QC, ERROR)*LEVELS.								
INFO_FMT =	(A12, 1X, A19, 1X, A40, 1X, I6, 3 (F12.3, 11X), 6X, A5)								
SRFC_FMT =	(F12.3, I4, F7.2, F12.3, I4, F7.3)								
EACH_FMT =	(3 (F12.3, I4, F7.2), 11X, 3 (F12.3, I4, F7.2), 11X, 3 (F12.3, I4, F7.2))								
#	-----#								
FM-12 TEMP	2007-02-22	12:00:00	SFC	OBS	from	NCAR	ADP	DS464.0	1
48.480			32.250			172.000		33711	
102650.000	0	200.00	-888888.000	-88	0.200				
100410.000	0	100.00	-888888.000	-88	1.10	-888888.000	-88	5.00	
172.000	0	6.00	265.150	0	2.00	257.150	0	2.00	
52.956	0	10.00							
.....									

შერჩეული მოდელის საპროგნოზო არისათვის დაკვირვების გლობალური ფაილიდან მონაცემთა დამუშავების პროგრამის (**OBSPROC**) მიერ გამოყენებული იქნა 186 ზედაპირული სადგურის და 11 ზონდირების მონაცემი.

გ) ფონური ცდომილების სტატისტიკის ფაილი, რომელიც გამოითვლება **NMC** მეთოდით და მიიღება **gen_be** პროგრამული პაკეტის საშუალებით, რომლის ძირითადი მიზანია ფონური ცვლადების ველიდან (**U, V, T, q & Ps**) ცდომილებათა კოვარიაციის შეფასება ანალიზის საკონტროლო ცვლადების ველში (**EOF**-ის (ემპირიული ორთოგონალური ფუნქციის) კოეფიციენტები **ψ, χ_u, Tu, q** და **ps_u** -თვის). სადაც **ψ** ნაკადის ფუნქციაა, **χ_u** – სინქარის პოტენციალის გაუწონასწორებელი ნაწილი, **Tu** – ტემპერატურის გაუწონასწორებელი ნაწილი, **q** – ფარდობითი ტენიანობა, **ps_u** – ზედაპირული წნევის გაუწონასწორებელი ნაწილი.

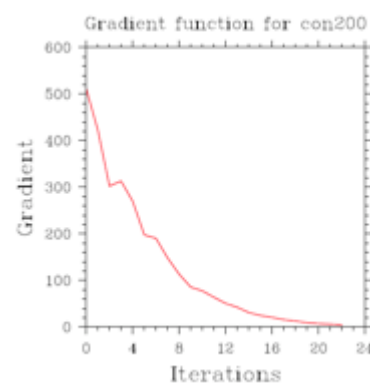
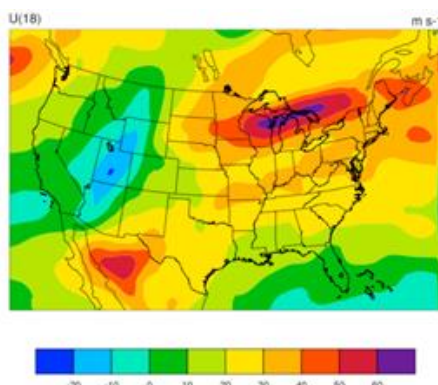
gen_be შემაჯავალ მონაცემს წარმოადგენს **WRF** პროგნოზი, რომელიც გამოიყენება მოდელის შეშფოთებათა გენერირებისთვის, როგორც პირველადი წყარო პროგნოზის ცდომილებათა შეფასებისას. **NMC** მეთოდისათვის მოდელის შეშფოთებები წარმოადგენს სხვაობებს (მაგ.: T+24 მინუს T+12 რეგიონული, ხოლო T+48 მინუს T+24 – გლობალური გამოყენებისათვის), რომლებიც ვარგისია ერთიდაიმავე დროისათვის. ფონური ცდომილების კლიმატური შეფასებები შემდგომში შესაძლოა მიღებულ იქნას პროგნოზებს შორის აღნიშნული სხვაობების გასაშუალებით დროის გარკვეული პერიოდისათვის (მაგ. ერთი თვისათვის). შემაჯავალ ფაილს **gen_be**-თვის წარმოადგენს **NetCDF** ფორმატის **WRF** პროგნოზი განსაზღვრულ პროგნოსტიკულ ვადებზე. ცდომილებათა საბოლოო ფაილი **be.dat** მიიღება **gen_be_wrapper.ksh** აღმასრულებელი ფაილის გაშვებით მას შემდგომ რაც წინასწარ იქნება მომზადებული შესაბამისი **namelist.input** ფაილი.



საილუსტრაციოდ ნახაზზე წარმოდგენილია **be.dat**-ში შემაჯავალი რიგი ცვლადების (ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევა, ქარის სინქარე, ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა) გრაფიკული სახე.

მას შემდეგ რაც ყველა აუცილებელი ფაილი მომზადებული იქნება, **da_wrfvar.exe** აღმასრულებელი ფაილის გაშვებით მიიღება **WRF-Var** ანალიზური ფაილი, ანუ ახალი სასაზღვრო პირობები **WRF**-თვის და მასთან ერთად ე.წ. დიაგნოსტიკური ფაილები: **check_max_iv, cost_fn, grad_fn, gts_omb_oma, jo, statistics, unpert_obs**.

cost_fn და **grad_fn**: **ASCII** ფორმატის ეს ფაილები შეიცავს **WRF-Var**-ის ღირებულებითი და გრადიენტული ფუნქციის მნიშვნელობებს.



ნახ.12

საილუსტრაციოდ ნახ.12-ზე წარმოდგენილია აღნიშნული ფაილების გრაფიკული სახე, მიღებული *plot_cost_grad_fn.ncl* სკრიპტის საშუალებით, შესაბამისად, პირველი და ბოლო იტერაციებისათვის.

gts_omb_oma: ASCII ფორმატის ეს ფაილები შეიცავს ინფორმაციას ყველა დაკვირვების შესახებ, რომელთაც გაიარეს **WRF-Var**-ში. ყოველ დაკვირვებას გააჩნია თავისი დაკვირვებული მნიშვნელობა, ხარისხის ნიშანი, დაკვირვების ცდომილება, დაკვირვებას მინუს ფონური მნიშვნელობა (**omb**) და დაკვირვებას მინუს ანალიზური მნიშვნელობა (**oma**). ეს ინფორმაცია ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია მოდელის ვერიფიკაციის (გამართლებადობის შემოწმების) ამოცანისათვის.

statistics: ტექსტური ფაილი, რომელიც შეიცავს **omb**, **oma** სტატისტიკას (მინიმუმი, მაქსიმუმი, საშუალო, სტანდარტული გადახრა) დაკვირვების ყოველი ტიპისა და ცვლადისათვის, ასევე ანალიზურ და ფონურ მნიშვნელობებს შორის სხვაობათა სტატისტიკას, ანუ წარმოადგენს მოდელის ყოველ დონეზე მოდელის თითოეული ცვლადისათვის ანალიზური ნაზრდების სტატისტიკას. ეს ინფორმაცია მნიშვნელოვანია ანალიზში ნაპოვნი ანალიზური ნაზრდების მნიშვნელობათა რიგის შესამოწმებლად და მოდელის ბადის სივრცეში მათი მდებარეობის დასადგენად.

რიცხვითი პროგნოზის მიღებამდე შემდგომი აუცილებელი ეტაპია სასაზღვრო პირობების ფაილში (*wrfbdy_d01*), ტენდენციების მოდიფიცირება **WRF-Var**-ის ახალი სასაზღვრო პირობების (ანალიზის) შესაბამისად. ეს აუცილებლობა განპირობებულია იმით, რომ **WRF-Var**-ის გამოყენების შემდეგ იცვლება საწყისი მნიშვნელობა ($t=0$ -ზე) და ამდენად, საწყისი ტენდენციები მოითხოვს განახლებას საწყის დროზე ცვლილებების მოსარგებად. ამრიგად, მიიღება მოდელში შემაჯავლი 3 ფაილი: **WRF-Var** ანალიზური და წინა გაშვებიდან მიღებული *wrfinput* და *wrfbdy_da_update_bc.exe* აღმასრულებელი ფაილი ახორციელებს საწყისი და სასაზღვრო პირობების განახლებას. საბოლოოდ მიიღება ყველა საჭირო ფაილი მოდელის თვლაზე გასაშვებად მონაცემთა ასიმილაციის შედეგად განახლებული საწყისი და სასაზღვრო პირობებით.

ქვემოთ მოგვყავს ერთ-ერთი ექსპერიმენტის თვლის შედეგების სინოპტიკური ანალიზი.

დასავლეთისა და აღმოსავლეთის პროცესების სერია ამიერკავკასიაში (22-25 თებერვალი, 2007). 2007 წლის თებერვლის მეორე ნახევარში ამიერკავკასიაში აღინიშნებოდა დასავლეთისა და აღმოსავლეთის პროცესების ხშირი განვითარება, რაც იწვევდა ნალექიანი და ქარიანი პერიოდების მონაცვლეობას საქართველოში. პროცესები სწრაფად მიმდინარეობდა და საპროგნოზოდ საკმაოდ რთული იყო. 22 თებერვალს გააქტიურებული დასავლეთის პროცესი კვლავ ხანმოკლე აღმოჩნდა და 23 თებერვალს ისევ აღმოსავლეთის პროცესმა შეცვალა, რასაც აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე მოჰყვა ნალექების გამოყოფის გაძლიერება. 24 თებერვალს კი კვლავ დაფიქსირდა დასავლეთის პროცესის მკვეთრი გააქტიურება,

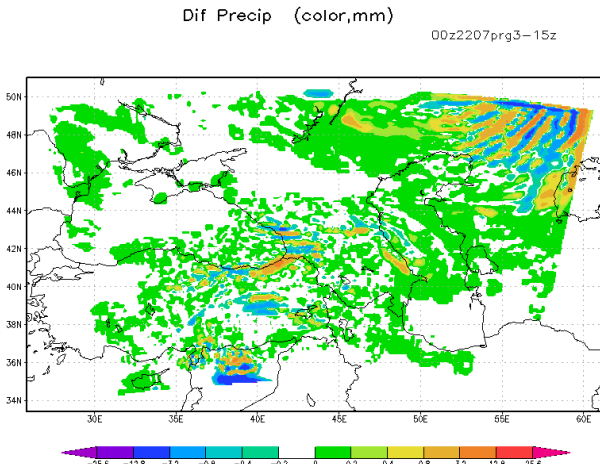
რამაც აღმოსავლეთ საქართველოში გამოიწვია დასავლეთის მიმართულების ძალიან ძლიერი ქარების განვითარება. თბილისში ქარის სიჩქარემ 30 მ/წმ-ს გააჭარბა. ძლიერმა ქარმა ახალაშენებული თბილისის აეროპორტის სახურავი მოგლიჯა და დაამსხვრია. აღმოსავლეთ საქართველოს ბევრ რაიონში ასევე აღინიშნა ძლიერი ქარის მიერ შენობა-ნაგებობების მნიშვნელოვანი დაზიანებები, იყო ადამიანის მსხვერპლიც. 25 თებერვალს კვლავ განვითარდა აღმოსავლეთის პროცესი, რასაც მოჰყვა აღმოსავლეთ საქართველოში ქარების შესუსტება და ნალექების გამოყოფის გაძლიერება (უმეტესად თოვლის სახით), აგრეთვე, მკვეთრი აცივება (ჰაერის მინიმალური ტემპერატურა თბილისში +7-დან -6°C).

განვიხილოთ მოდელის მიერ თუ როგორ აისახა 2007 წლის 22-25 თებერვალს ამიერკავკასიაში განვითარებული ცირკულაციური პროცესები. AT-500 ჰჰა-ს პროგნოზული რუკების მიხედვით 22-23 თებერვალს აღინიშნებოდა შედარებით სუსტი დასავლეთისა და აღმოსავლეთის პროცესები, ხოლო 24-25 თებერვალს დაფიქსირდა პროცესების მკვეთრი გაძლიერება, რასაც ფაქტიურადაც ჰქონდა ადგილი. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს მოდელით გამოთვლილი მიწისპირა ბარიული ველის პროგნოსტიკული ველის კარგი შესაბამისობა ფაქტიურ სიტუაციასთან. მაგალითად, წარმატებული აღმოჩნდა მოდელით 24-25 თებერვალს ოროგრაფიული ციკლონის განვითარება კავკასიის ცენტრალურ ნაწილში, რაც გახდა ძირითადი მიზეზი აღმოსავლეთ საქართველოში ძალიან ძლიერი დასავლეთის მიმართულების ქარების წარმოქმნისა, აგრეთვე, მკვეთრი აცივებისა.

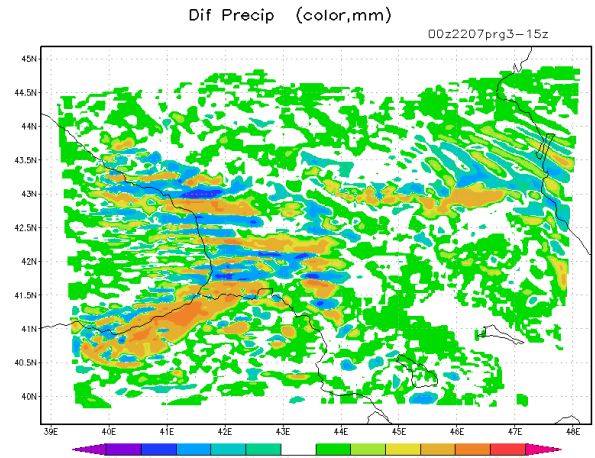
ამრიგად, შეიძლება ითქვას, რომ საპროგნოზო მოდელმა დააფიქსირა ატმოსფერული პროცესების საკმაოდ რთული განვითარება ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე 2007 წლის 22-25 თებერვალს.

მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებით და მის გარეშე მიღებული შედეგების შედარების მიზნით ქარის, ტემპერატურისა და ნალექების ველებისათვის აგებული იქნა სხვაობის რუკები, რომელთა ანალიზის შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებამ შედეგები გააუმჯობესა, კერძოდ, ნალექების ველისათვის, რაც ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ამინდის პროგნოზირებაში. 2მ-ზე ტემპერატურებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა, არ აღემატება 0.5°C-ს. თუმცა, საბოლოო დასკვნების გასაკეთებლად აუცილებელია სტატისტიკა, ანუ მინიმუმ 1-წლიანი მასალა.

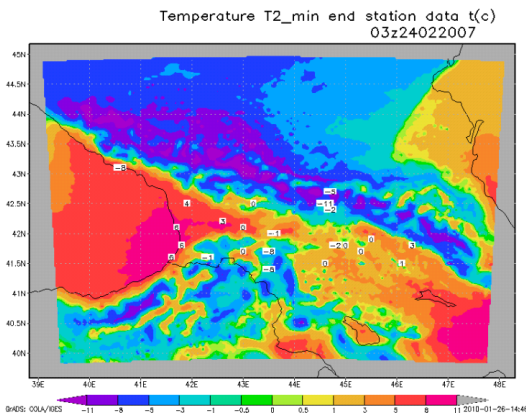
ნახ. 13-ზე წარმოდგენილია აღნიშნული სიმულაციის შედეგები ვარიაციული ასიმილაციის კოდის გამოყენებით და მის გარეშე ნალექებისა და მინიმალური ტემპერატურისათვის.



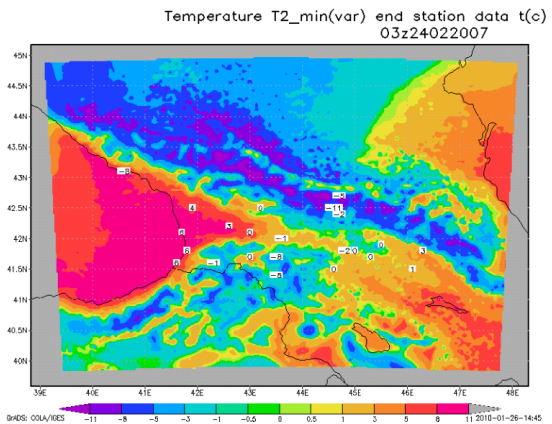
მოდელით დათვლილი ნალექების სხვაობა მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებით და მის გარეშე ძირითადი არისათვის



მოდელით დათვლილი ნალექების სხვაობა მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებით და მის გარეშე ქვეარისათვის



მინ. ტემპერატურა 2 მეტრზე – მოდელით დათვლილი და დაკვირვებული



მინ. ტემპ-რა 2 მეტრზე – მოდელით დათვლილი (ვარ. ასიმილაციის გათვალისწინებით) და დაკვირვებული

ნახ. 13

7. ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზი.

ამიერკავკასიის ტერიტორია გამოირჩევა რელიეფის რთული პირობებით, რაც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ამინდის ფორმირებაზე. ამიტომ, საპროგნოზო მოდელში რელიეფის გათვალისწინება ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა. იგი შეიძლება განხორციელდეს რელიეფის პარამეტრიზაციის სახით, სტატისტიკური სახით, ან ერთობლივად.

გლობალურ მოდელში (ჩვენს შემთხვევაში გლობალური პროგნოსტიკული სისტემა (GFS)), ბუნებრივია, ვერ იქნება აღწერილი ლოკალური ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები, ამიტომ მეტეოპარამეტრების პროგნოზული მნიშვნელობების იზოხაზებს აქვთ გასაშუალებელი (გაგლუვებული) ხასიათი და ვერ ასახავენ რეალურ, დეტალურ ხასიათს.

როგორც გამოთვლებმა გვიჩვენეს, რეგიონულ მოდელში საკმაოდ მაღალ დონეზეა გათვალისწინებული ამიერკავკასიის ოროგრაფიული პირობები, რის დასტურადაც გამოდგება მიწისპირა ატმოსფერული წნევის წარმატებული პროგნოზები.

- გამოკვეთილად ფიქსირდება დასავლეთის ცირკულაციური პროცესების დროს დასავლეთ საქართველოში ადგილობრივი AZ-ის ჩამოყალიბება;
- ასევე კარგად ფიქსირდება აღმოსავლეთის პროცესის დროს მაღალი წნევის არის ჩამოყალიბება მტკვრის ხეობაში და პირიქით, დაბალი წნევის არისა – რიონის ხეობაში (კოლხეთის დაბლობი).

აღნიშნული შედეგები საშუალებას იძლევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით იქნეს პროგნოზირებული დასავლეთისა და აღმოსავლეთის შემოჭრების დაწყება და დამთავრება საქართველოს ტერიტორიაზე, აგრეთვე, მათი ინტენსივობა, კერძოდ, დასავლეთის და აღმოსავლეთის ქარების სიძლიერე მტკვრისა და რიონის ხეობებში, შესაბამისად.

როგორც აქამდე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რეგიონულ მოდელში (ამოხსნის სიზუსტე – 15კმ), საკმაოდ მაღალ დონეზეა გათვალისწინებული ამიერკავკასიის ოროგრაფიული პირობები, რაც საშუალებას იძლევა პრაქტიკულად მისაღები სიზუსტით იქნეს პროგნოზირებული ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე განვითარებული ცირკულაციური პროცესები. თუმცა ამინდის ლოკალური პირობების პროგნოზირების მიზნით მიზანშეწონილია მოდელის ამოხსნის სიზუსტის გაუმჯობესება, რაც ჩვენს შემთხვევაში მიიღწევა 5-კმ-იანი „ქვეარეების ჩადგმის“ ტექნოლოგიის გამოყენებით, რომელიც მოიცავს საქართველოს ტერიტორიას. ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ეს მეთოდი საკმაოდ ეფექტურია და განსაკუთრებით ღირებულია ამინდის ექსტრემალური პირობების (ძლიერი წვიმა, ჰაერის ანომალური ტემპერატურები, ძლიერი ქარები და სხვ.) პროგნოზირების მიზნით.

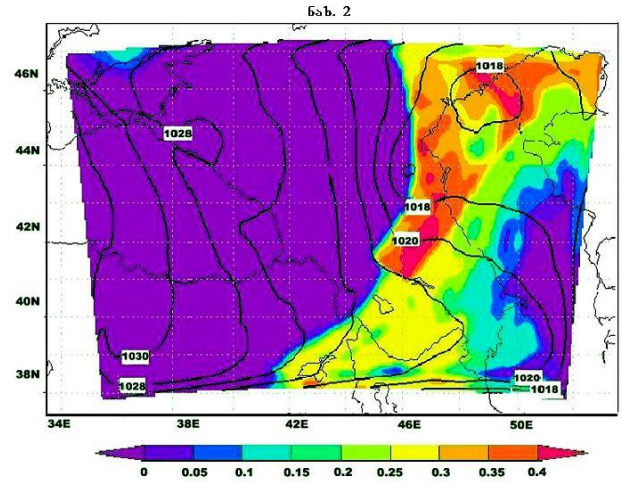
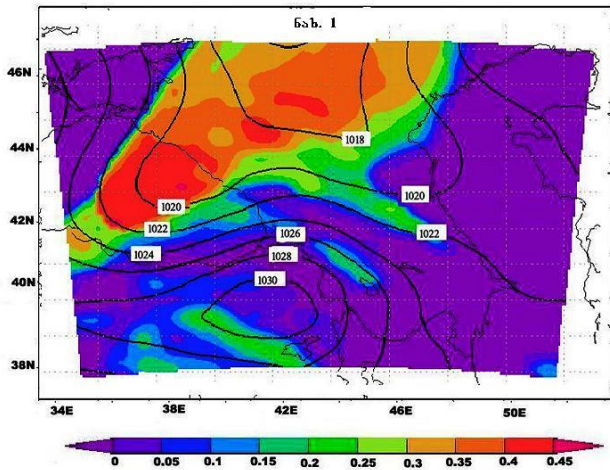
ქვემოთ მოგვყავს მოდელის მიერ წარმატებით სიმულირებული და „ჩაფარდნილი“ შემთხვევების აღწერა და ანალიზი.

7.1. ექსტრემალური ქარების პროგნოზირება. განხილულია 2009 წლის 9 იანვრის ცირკულაციური პროცესის განვითარების შემთხვევა, როდესაც საქართველოში შავი ზღვის მხრიდან განხორციელდა ჰაერის მასების მკვეთრი შემოჭრა, რასაც თან სდევდა თბილისში შუადღის საათებში ძლიერი ქარბუქის განვითარება. როგორც ამინდზე დაკვირვების მონაცემები გვიჩვენებს, დასავლეთის ქარის მაქსიმალური სიჩქარე (>30მ/წმ) და ქარბუქი თბილისში სწორედ ატმოსფერული ფრონტის გავლის დროს დაფიქსირდა, ადგილობრივი დროით 15 საათის შემდეგ. ვინაიდან ფრონტი აღმოსავლეთის მიმართულებით ძალიან სწრაფად მოძრაობდა, ზემოაღნიშნული ამინდის ექსტრემალური პირობები თბილისში სულ რამდენიმე წუთს გრძელდებოდა.

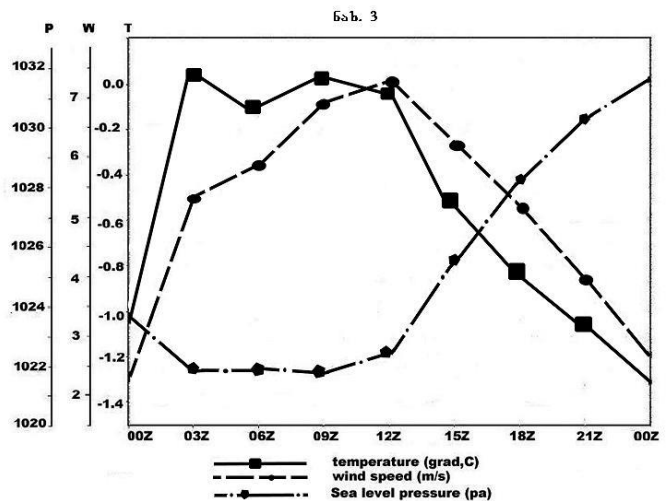
საპროგნოზო მოდელის კონფიგურაცია შემდეგნაირია: ძირითად არეში გარჩევისუნარიანობით 15 კმ ჩადგმულია 5 კმ-იანი ქვეარე, ბადის უჯრებით 72X110 ჩრდილოეთ-სამხრეთი და აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებით, შესაბამისად. ორივე შემთხვევაში გამოყენებულია **Kain-Fritsch**-ის გროვა ღრუბლების პარამეტრიზაციის (ღრმა და არაღრმა კონვექციის ბადის უჯრისშიდა მასშტაბის სქემა) და **WSM3 (WRF)** მხოლოდითი მომენტის მე-3 კლასის სქემა) მიკროფიზიკური სქემა, რომელიც მხოლოდ ღრუბლის ერთ (წყლიანობა) და ჰიდრომეტეოროლოგიურ ერთ (წვიმის წყალი ან თოვლი) პარამეტრს პროგნოზირებს, აგრეთვე, **YSU (Yonsei University)** პლანეტარული ფენის სქემა. პროგნოზის სიმულირება დაიწყო 00 UTC-ზე,

ორივე არე ინიციალიზებული იქნა გარემოს პროგნოზირების ეროვნული ცენტრის (NCEP) გლობალური პროგნოზირების სისტემის მოდელით, დამატებითი ბალანსირებისა და ასიმილაციის გარეშე.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია მიწისპირა ბარიული ველისა და მაღლივი ღრუბლების მასივების საწყისი რუკა 2009 წლის 9 იანვარსთვის (00 UTC).



როგორც ნახაზიდან ჩანს, კავკასიის ჩრდილოეთით მდებარე ციკლონის ძირითადი ღარი მიმართულია სამხრეთ-დასავლეთით და მოიცავს შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილს. ამიერკავკასიის სამხრეთ-დასავლეთი დაკავებულია მაღალი ატმოსფერული წნევის არით, რაც ერთგვარ წინაღობას ქმნის დაბალი ატმოსფერული წნევის ღარის აღმოსავლეთით გავრცელებისათვის. წნევის მიწისპირა და მაღლივი ღრუბლების მასივების პროგნოზული რუკა 2009 წლის 9 იანვარის შუადღისთვის (12 UTC) (ნახ. 2) დაბალი წნევის არის შავი ზღვიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით სწრაფად გავრცელებაზე მიუთითებს. ამასვე აჩვენებს ყველა მაღლივი პროგნოზული რუკა (AT-925, AT-850, AT-700, AT-500 კპა). ბარიული ველებისა და მაღლივი ღრუბლების მასივების პროგნოზული რუკების კომპლექსური განხილვა მიანიშნებს იმაზე, რომ დასავლეთიდან აღმოსავლეთით მოძრაობა ატმოსფერულმა ფრონტმა შუადღის საათებში (12 UTC) თბილისს მერიდიანზე (45°E) გაიარა. სწორედ ამ პერიოდში ფიქსირდება მეტეოროლოგიური ელემენტების მკვეთრი ცვლილება თბილისში (ნახ. 3). გრაფიკზე წარმოდგენილია ქარის სიჩქარე მიწის ზედაპირიდან 10 მეტრზე (ფლუგერის სიმაღლე), რომელიც რეალურზე თითქმის ორჯერ მცირე აღმოჩნდა და ამდენად, საჭიროებს სტატისტიკურ კორექტირებას, რაც ზოგადად მიღებული მეთოდია მიწისპირა ფენისათვის რიგი პარამეტრების რაოდენობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის ამინდის როგორც გლობალური, ასევე რეგიონული რიცხვითი მოდელირებისას. ქარის სიჩქარის



პროგნოზული მნიშვნელობები სიმაღლის მიხედვით იზრდება და AT-850 კპა-ზე 20-30 მ/წმ-ს აღწევს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ქარის სიჩქარე თბილისში ზღვრულ მნიშვნელობას გადაამეტებს დროის მცირე პერიოდისათვის (ერთ საათზე ნაკლები). მიუხედავად საკმაოდ მკვეთრი შემოჭრისა, ნალექების პროგნოზული რუკიდან ჩანს, რომ საქართველოში მნიშვნელოვანი ატმოსფერული ნალექების გამოყოფა მოსალოდნელი არ ყოფილია. სადამკვირვებლო ქსელის მიერ დაფიქსირებული ნალექების რაოდენობა მთლიანობაში მართლაც მცირეა.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ ზემოხსენებული მეზომასშტაბური რეგიონული მოდელი (WRF ARW) საკმაოდ წარმატებით შესაძლოა გამოყენებული იქნას ამინდის ლოკალური ექსტრემალური მოვლენების წინასწარმეტყველების მიზნით, თუმცა ასეთი მოვლენების რაოდენობრივი მახასიათებლები (ქარის მაქსიმალური სიჩქარე, ჰაერის ტემპერატურა და სხვ.) საჭიროებს დამატებით სტატისტიკურ დაკალიბრებას.

7.2. შემოსაზღვრული არის მქონე ამინდის რიცხვითი მოდელების სირთულეები საქართველოში ჰაერის ცივი მასების აღმოსავლეთის შემოჭრის სიმულირებისას. გამოცდილებიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ საქართველოს პირობებში ამინდის რიცხვითი მოდელებისთვის ყველაზე რთული საპროგნოზო სიტუაციები დაკავშირებულია აღმოსავლეთის და სამხრეთის პროცესებთან, როდესაც ძირითადი სირთულეები ჩნდება ნალექების ველების სივრცულ-დროითი განაწილების პროგნოზირებისას.

ექსპერიმენტების მიზანია შემოსაზღვრული არის მქონე ამინდის რიცხვითი მოდელების შესაძლებლობების შეფასება საქართველოში ჰაერის მასების აღმოსავლეთიდან შემოჭრასთან დაკავშირებული სინოპტიკური პროცესების სიმულირებისას.

ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე ჩამოყალიბებული სინოპტიკური პროცესების თავისებურებანი განისაზღვრება კავკასიის გეოგრაფიული მდებარეობით, მისი დაშორებით ატმოსფეროს მოქმედების ძირითად ცენტრებთან, ატმოსფერულ პროცესებზე მათი ზეგავლენის ხარისხით და ოროგრაფიული პირობებით.

ძირითადი სინოპტიკური პროცესები და საქართველოს ტერიტორიაზე მათთან დაკავშირებული ამინდის ტიპებია: დასავლეთის, აღმოსავლეთის, ჰაერის მასების ორმხრივი შემოჭრის შედეგად განვითარებული ანტიციკლონური მდგომარეობა და ტალღური შეშფოთებები კავკასიის სამხრეთით მდებარე ფრონტალურ ზონაში.

ამირკავკასიაში ჰაერის მასების აღმოსავლეთიდან შემოჭრის ხელსაყრელი პირობები იქმნება ძლიერი ანტიციკლონის გადაადგილებით ჩრდილო-დასავლეთიდან ქვემოთ კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთ ფერდობებისაკენ ან ჩრდილოეთიდან და ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან კასპიის ზღვაზე სწრაფად მოძრავი ციკლონის ზურგში. ამ დროს არსებითია კავკასიონის ქედის მნიშვნელობა. იგი ხელს უშლის სამხრეთისაკენ მოძრავი ჰაერის მასების საქართველოს ტერიტორიაზე პირდაპირ შემოსვლას, განაპირობებს მათ დაგროვებას ჩრდილო კავკასიის გასწვრივ, მიმართვს სამხრეთ კასპიის რაიონებისკენ და ინარჩუნებს წნევის ძლიერ გრადიენტს, მიმართულს ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ. ამ დროს შედარებით დაბალი წნევის არე, ჩვეულებრივ, შავი ზღვის თავზე ყალიბდება.

ასეთი პროცესების განვითარებისას აღმოსავლეთ საქართველოში დაიკვირვება დრუბლიანი ამინდი დაბალი ფენა ტიპის დრულებით, ნისლით, მცირე ნალექებითა და ტემპერატურის დაცემით დასავლეთ საქართველოში ამ დროს უმეტესად მშრალი და მზიანი ამინდებია აღმოსავლეთის ფიონების თანხლებით.

ზემოთქმულის საილუსტრაციოდ მოგვყავს 2009 წლის 5 ნოემბრის შემთხვევა, რომელიც შერჩეული იქნა იქიდან გამომდინარე, რომ გლობალური და ლოკალური ამინდის მოდელებმა აღნიშნული შემთხვევისათვის მოგვცა განსხვავებული შედეგები. კერძოდ, გარემოს მოდელური სისტემის არაჰიდროსტატიკური მეზომასშტაბური (**EMS NMM**) და მაღალი ამოხსნის (**HRM**) ოპერატიული მოდელები 3 დღით ადრე საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე აჩვენებდნენ ნალექს, მაშინ როცა გლობალური მოდელების (**GFS, ARPEGE**) შედეგები, ისევე როგორც დაკვირვება იყო განსხვავებული.

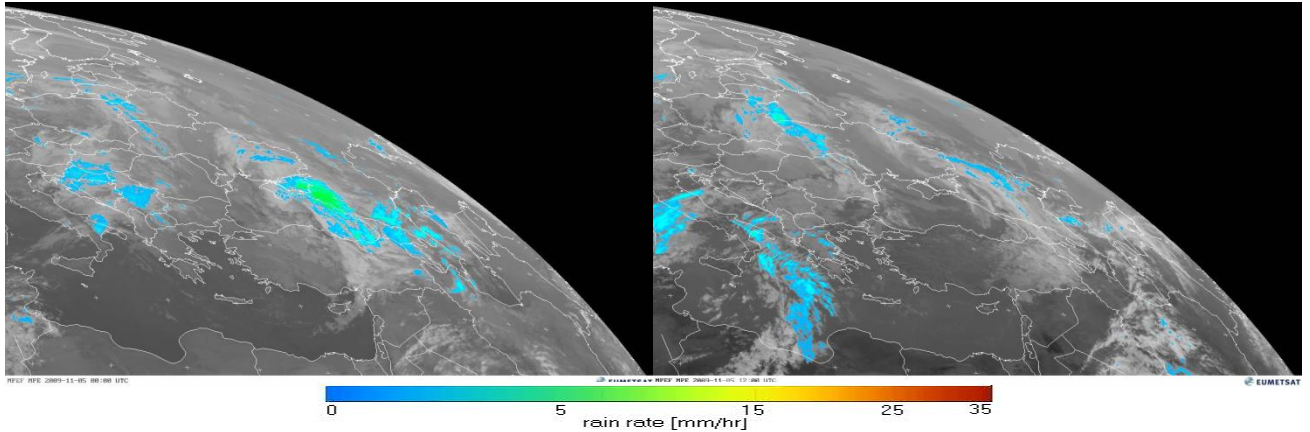
ექსპერიმენტში გამოყენებული იყო შემდეგი მონაცემები და მეთოდები: დაკვირვება – მხოლოდ ზედაპირზე ნალექებისა და ტემპერატურისათვის; სატელიტური იმიჯები, მიღებული მეორე თაობის გეოსტაციონალური სატელიტიდან; ანალიზური რუკები ზედაპირის, 500, 700 და 500/1000 ჰპა წნევის დონეებისათვის; **GFS, ARPEGE** გლობალური მოდელები შესაბამისად, 0.5 და 1⁰-იანი გარჩევის უნარით; შემოსაზღვრული არის მქონე მოდელები: **EMS NMM**, რომელიც საწყის პირობებს იღებს გარემოს პროგნოზირების აშშ ეროვნული ცენტრის გლობალური პროგნოზირების სისტემიდან (**NCEP GFS**) გარჩევის უნარით 12 კმ და წნევის 31 ვერტიკალური დონით; მაღალი ამოხსნის მოდელი (**HRM**) ინიციალიზებული **GME**-დან 14 კმ რეზოლუციით და 40 ვერტიკალური დონით; საკვლევი მოდელი **WRF ARW, GFS**-ის საწყისი პირობებით, 15 კმ რეზოლუციით და 27 ვერტიკალური დონით.

საკვლევ მოდელში **WRF ARW** განხორციელდა ქვეარის ჩადგმის ტექნოლოგია. ძირითადი არე მოიცავდა კავკასიის რეგიონს 167X117 ბადის კვანძით ჩრდილოეთ-სამხრეთ და აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებით, შესაბამისად. ქვეარე დაფიქსირებული იყო საქართველოს ტერიტორიის თავზე 145X115 ბადის კვანძით და 5 კმ ბიჯით.

ფიზიკური პარამეტრიზაციის სქემები ყველა ექსპერიმენტის დროს იყო შემდეგნაირი: 1) მიკროფიზიკა: **WRF** მხოლოდითი მომენტის მე-3 (მე-5 შიდა არისათვის) კლასის სქემა; 2) გროვა ღრუბლების პარამეტრიზაცია: კეინ ფრიჩის ახალი სქემა; 3) პლანეტარული სასაზღვრო ფენა: იონსის უნივერსიტეტის სქემა; 4) ხმელეთის ზედაპირის მოდელი: ნოას უნიფიცირებული სქემა; 5) ზედაპირის ფენები: მონინ-ობუხოვის სქემა; 6) გრძელტალღიანი რადიაციის ფიზიკა: რადიაციის სწრაფი გადატანის (**RRTM**) სქემა; 7) მოკლეტალღიანი რადიაციის ფიზიკა: დუდიას სქემა.

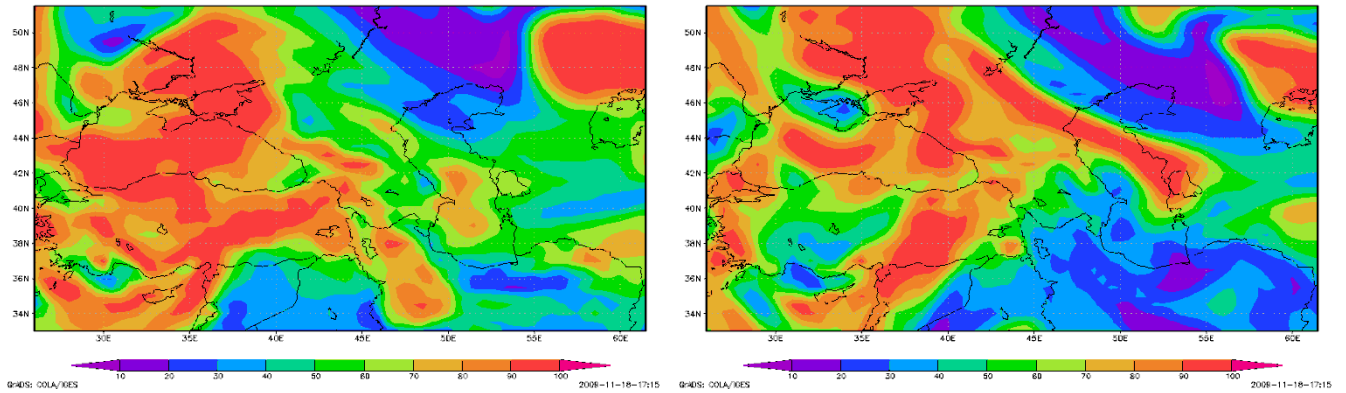
საპროგნოზო გაშვებები 1-გვარის (უკუკავშირის გარეშე) და 2-გვარის ქვეარის ჩადგმის ტექნოლოგიით. ასევე თითოეული შემთხვევისათვის გამოცდილი იქნა 3-განზომილებიანი ანალიზური “დატვირთვა” ორივე არისათვის იდენტური კოეფიციენტებით ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელების, პოტენციალური ტემპერატურისა და სინოტივისათვის საპროგნოზო ვადის პირველი 24 საათის განმავლობაში “დატვირთვის” შემდგომი 1 საათიანი თანდათანობითი ჩახშობით. ორივე არეში პლანეტარულ სასაზღვრო ფენაში ანალიზური “დატვირთვა” მოხსნილი იყო ტემპერატურისა და სინოტივის ველებისათვის, ხოლო მოდელის ქვედა 10 ფენაში – ქარისათვის.

მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახაზებზე 1-8. ნახაზებიდან 1-4 კარგად ჩანს შესაბამისობა სატელიტით დაკვირვებულ და გლობალური მოდელით სიმულირებულ ველებს შორის.



ნახ. 1. სატელიტური იმიჯი. ნალექების ინტენსივობა 5ოემბერი 00UTC

ნახ. 2. სატელიტური იმიჯი. ნალექების ინტენსივობა 5 ნოემბერი 12UTC



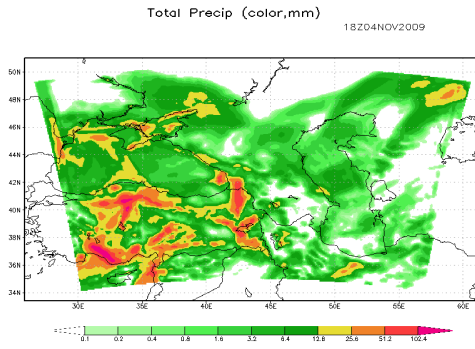
ნახ.3. ფარდობითი ტენიანობა 850 კპა დონეზე. დონეზე.პროგნოზი 72-საათიანი წინასწარობით

ნახ.4. ფარდობითი ტენიანობა 850 კპა პროგნოზი 48-საათიანი წინასწარობით

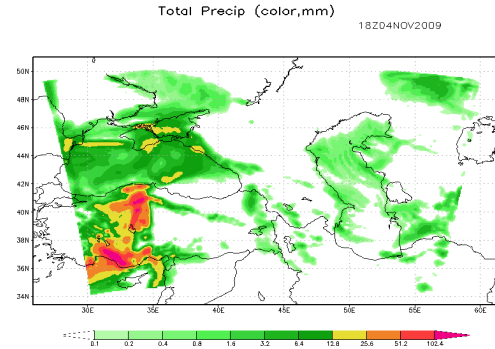
გლობალური მოდელის სიმულაციის შედეგები:

ნახაზებზე 5-8 წარმოდგენილია მოდელით სიმულირებული ნალექების ველები ძირითადი და ჩადგმული არეებისათვის სხვადასხვა საპროგნოზო ვადებზე.

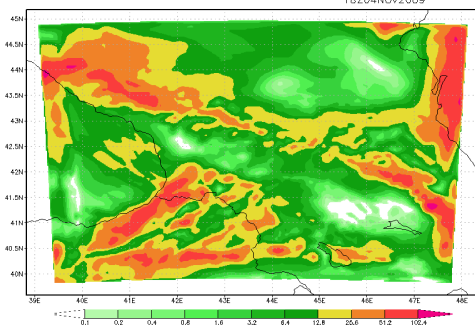
მოვლენის სინოპტიკური ანალიზი. 2009 წლის 1-3 ნოემბერს ევროპის ტერიტორიაზე აღმოსავლეთისაკენ სუსტად მოძრაობდა ანტიციკლონი, რომლის სამხრეთ პერიფერიაზე დაიკვირვებოდა ატმოსფერული ფრონტები. 4 ნოემბრიდან აღინიშნება ამ ანტიციკლონის ზემოქმედება ამიერკავკასიაზე. კერძოდ, მიწისპირა ფენაში დაიწყო ჰაერის ცივი მასების გაგრძელება სამხრეთით და მათი საქართველოში შემოსვლა, უმეტესად აღმოსავლეთის მხრიდან, რასაც 5 ნოემბერს აქ უნდა მოჰყოლოდა ჰაერის ტემპერატურის დაცემა და ნალექების გამოყოფა. შემდგომში აღმოსავლეთ საქართველოში დამყარდა ანტიციკლონის თხემის



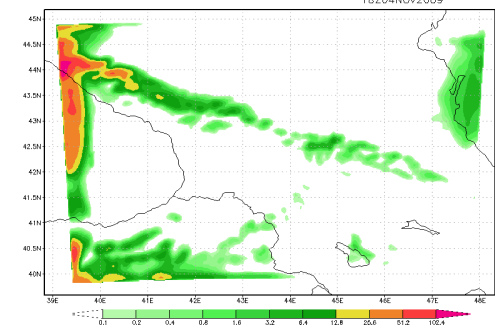
ნახ.5ა. ძირითადი არე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 03/11/2009 T+48 VT 18z04nov-06z05nov2009



ნახ.6ა. ძირითადი არე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 04/11/2009 T+24 VT 18z04nov-06z05nov2009

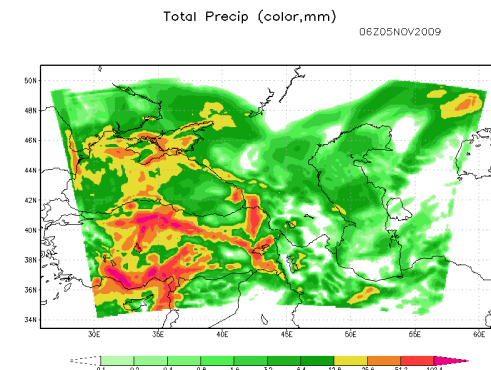


ნახ.5ბ. ქვეარე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 03/11/2009 T+48 VT 18z04nov-06z05nov2009

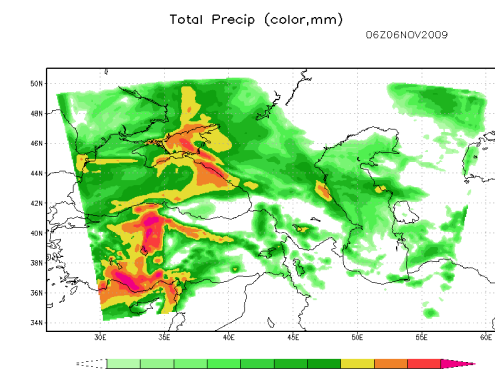


ნახ.6ბ. ქვეარე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 04/11/2009 T+24 VT 18z04nov-06z05nov2009

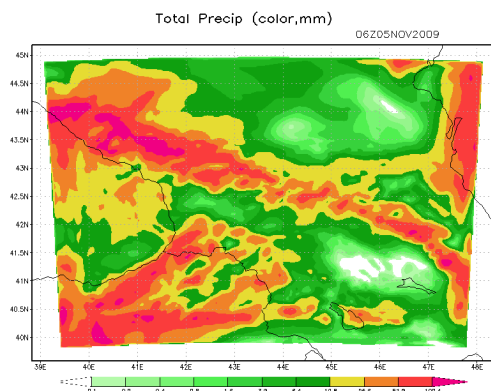
ზემოქმედების ხანგრძლივი პერიოდი სუსტი ქარებითა და წვიმებით, აგრეთვე, ნისლებით.



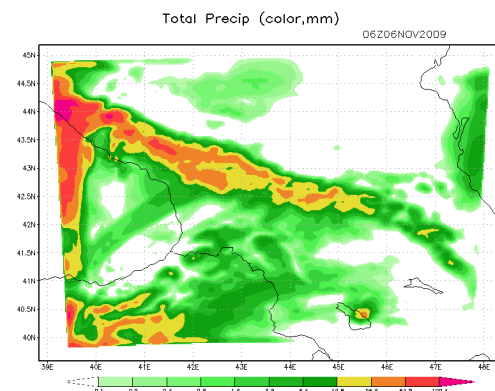
ნახ.7ა. ძირითადი არე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 03/11/2009 T+60 VT 06z05nov-18z05nov2009



ნახ.8ა. ძირითადი არე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 04/11/2009 T+36 VT 06z05nov-18z05nov2009 9



ნახ.7ბ. ქვეარე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 03/11/2009 T+60 VT 06z05nov-18z05nov2009

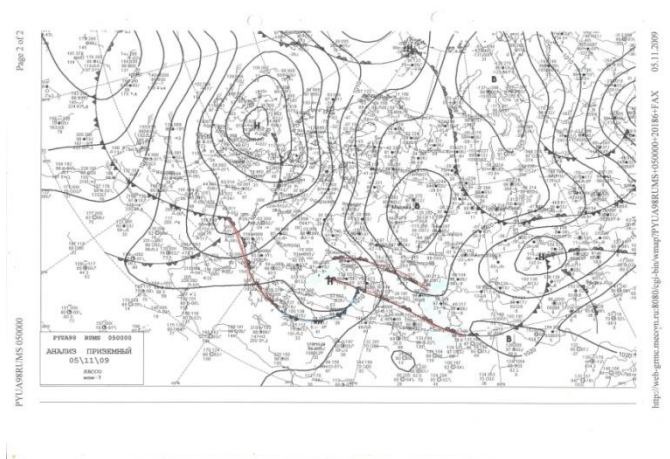


ნახ.8ბ. ქვეარე: 12-საათიანი ნალექების ჯამი
00Z 04/11/2009 T+36 VT 06z05nov-18z05nov2009

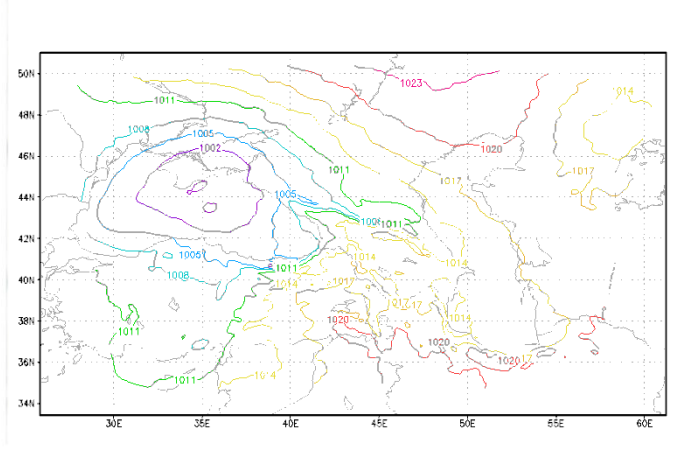
ნახაზებზე 9-10 წარმოდგენილია ზედაპირის ანალიზური რუკა და მოდელით სიმულირებული ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევა პროგნოზირებული 72 საათით ადრე. ჩანს, რომ წნევისათვის სიმულაცია საკმაოდ წარმატებულია.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში (AT-700, AT-500 კპა) 4 ნოემბრამდე სტაბილურმა სამხრეთ-დასავლეთის დენებმა მიიღეს დასავლეთის ფორმა, ხოლო 5 ნოემბრიდან კვლავ გადავიდნენ სამხრეთ-დასავლეთის ფორმაზე, რაც განსაკუთრებით ხელშემწყობი პირობაა ნალექების გამოყოფისათვის აღმოსავლეთ საქართველოში, ცივი ჰაერის მასების კასპიის მხრიდან შემოჭრის პირობებში.

სინოპტიკური ანალიზმა გამოავლინა, რომ ეს არ იყო წმინდა აღმოსავლეთის ტიპი, არამედ სამხრეთ-დასავლეთის ნაკადების ზედდებით, რაც ზოგადად ხასიათდება ნალექებით ასევე დასავლეთ საქართველოშიც.



ნახ. 9



ნახ. 10

დასკვნები.

მეზომასშტაბური მოვლენა (აღმოსავლეთის შემოჭრა სამხრეთ-დასავლეთის ნაკადების ზედდებით), კერძოდ, ზღვის დონეზე დაყვანილი წნევისა და მაღლივი ველები მოდელის მიერ სიმულირებული იქნა სწორად. თუმცა ნალექები პროგნოზირებული იყო 12 საათით ადრე დაკვირვებულზე და თანაც გადაჭარბებით. ფაქტიური სიტუაციის რეალისტური სურათი მიღებული იქნა მხოლოდ 24 საათით ადრე. 3-დღიანი პროგნოზისთვის ქვეარის ჩადგამ პროგნოზი ვერ გამოასწორა. პირიქით, ნალექების რაოდენობა კიდევ უფრო გაიზარდა. 2-დღიანი წინასწარობით ქვეარის ჩადგმით შეინიშნება გარკვეული გაუმჯობესება. ნალექების ველების სივრცული განაწილება გახდა ფაქტიურთან უფრო მიახლოებული და

დეტალიზირებული. ყველაზე უკეთესი შედეგები მიღებული იქნა ანალიზური
“დატვირთვის” გამოყენებით.

8. მოდელის შეფასების სისტემა (MET).

ჩატარებული ექსპერიმენტების შემაჯამებელი ანალიზის ჩატარების მიზნით განხორციელდა მოდელის გამართლებადობის შესაფასებელი პროგრამული ბირთვის (METv2.0) დანერგვა. იგი შექმნილია WRF მოდელური სისტემისათვის, თუმცა შესაძლოა გამოყენებული იქნას სხვა მოდელების შედეგების შესამოწმებლადაც. აღნიშნულ პროგრამულ პაკეტში ჩადებულია გამართლებადობის რიგი ტექნოლოგიები, მათ შორის:

- გამართლებადობის სტანდარტული ქულები, დადგენილი მოდელის ბადის კვანძების მონაცემებისა და წერტილოვან დაკვირვებათა შედარებაზე;
- გამართლებადობის სტანდარტული ქულები, დადგენილი მოდელის ბადის კვანძების მონაცემებისა და ასევე ბადის კვანძების დაკვირვებათა შედარებაზე;
- სივრცული გამართლებადობის მეთოდები, რომლებიც ეფუძნება მოდელის ბადის კვანძების მონაცემებისა და ასევე ბადის კვანძების დაკვირვებათა შედარებას მეზობელი, ობიექტური და ინტენსივობის მასშტაბის დეკომპოზიციური მიდგომების გამოყენებით;
- ალბათური გამართლებადობის მეთოდები, რომლებიც ეფუძნება მოდელის ბადის კვანძების მონაცემებისა და ბადის კვანძების ან წერტილოვან დაკვირვებათა შედარებას.

MET-ის კომპილირებისა და დანერგვის მიზნით წინასწარ განხორციელდა სამი დამატებითი გარე ბიბლიოთეკის (NCEP-ის BUFRLIB, GNU, F2C) დამატება, თითოეულის კომპილირება PGI კომპაილერით და შემდგომ ადგილობრივი გარემოს შესაბამისი კონფიგურირება. MET-ის დანერგვის შემდეგ განხორციელდა მისი თითოეული გამართლებადობის ტექნოლოგიის ცალ-ცალკე ტესტირება.

სამომავლოდ მოიაზრება ზემოთ ხსენებული, აგრეთვე სხვა არსებული პროგრამული პაკეტებისა და მეთოდების გამოყენებით მოდელის გამართლებადობის სტატისტიკური შემოწმება და რეალური დაკვირვებების მიმართ მორგება-დაკალიბრება.

9. დასკვნა.

WRF EMS (ARW) და **WRFv3 (ARW)** მოდელების გამოყენებით სხვადასხვა ექსპერიმენტის შედეგად მიღებულია პროგრამული ფაილები და საპროგნოზო რუკები. მოდელის გამოთვლებზე დაყრდნობით შედგენილია პროგნოზები და შეფასებულია მათი ხარისხი და გამართლებადობა.

პროგნოზის საწყისი დროისათვის დაკვირვების მონაცემთა გათვალისწინება პროგნოზის ხარისხის გაუმჯობესების წინაპირობაა, მაგრამ მონაცემთა ხარისხი, დროითი და სივრცული განაწილება, მათი ოპერატიულ რეჟიმში ხელმისაწვდომობა და ფორმატი ამ საკითხს მეტად ართულებს. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამსახურში დაკვირვების მონაცემთა მიღება-გადაცემის ფორმატი არათავსებადია **WRF** მოდელის ვარაციული ასიმილაციისა და მონაცემთა ობიექტური ანალიზის პროგრამებისათვის, გარდა ამისა არ ხდება ოპერატიულ მონაცემთა ხარისხის კონტროლი და მათი დაფარვის არე მეტად უხეშია, არ ხდება მაღალი გარჩევისუნარიანი რადარებისა და სატელიტური მეტეოროლოგიური ინფორმაციის მიღება-დამუშავება, რაც მონაცემთა ხარჯზე პროგნოზის გაუმჯობესების ჩვენეულ შესაძლებლობებს მეტად ამცირებს. ამ საკითხზე მუშაობას და გადაჭრას შემდგომი სამუშაოები ესაჭიროება, კერძოდ საერთაშორისო სატელეკომუნიკაციო სისტემიდან მიღებული დაკვირვებების სასურველ ფორმატში გადაყვანა, შედეგების პროგრამული შემოწმება და დაგროვილი სტატისტიკის ანალიზი.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ ამ ეტაპზე **WRF** მოდელის საშუალებით ამინდის ოპერატიული მოკლევადიანი პროგნოზირების ოპტიმალური კონფიგურაციაა: მოდელის ყოველდღიური გაშვება **GFS** გლობალური მოდელის 0.5⁰ ამოხსნით საწყისი და სასაზღვრო პირობებით, 2 მხრივი ქვეართ (ბადის ბიჯით 5 კმ) მონაცემთა ვარიაციული ასიმილაციის გამოყენებლად.

ლიტერატურა

1. ნაღეკების მოკლევადიანი პროგნოზის თერმოდინამიკურ-სინოპტიკური მოდელის დამუშავება საქართველოს პირობებში. სსიპ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ანგარიში. 2010წ.
2. მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე ლოკალური ატმოსფერული პროცესების მოდელირების სისტემის განვითარება საქართველოს ტერიტორიისათვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ანგარიში. 2013წ.
3. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. William C. Skamarock, Joseph B. Klemp, Jimmy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers. Mesoscale and Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, USA. 2008
4. WRF Modeling System Overview . Jimmy Dudhia. Mesoscale and Microscale Meteorology Division.
5. Why is there more than one dynamical core in WRF? A technical perspective William C. Skamarock National Center for Atmospheric Research.
6. The Advanced Research WRF (ARW) Dynamics Solver. WRF Tutorial. 2014
7. The Weather Research & Forecasting Model WRF Laura Bianco ATOC 7500: Mesoscale Meteorological Modeling 2008

