

PAPER

SANOATLI REGIONLARDA ATMOSFERADA ZAXARLI ZARRACHALARNI TARQALISHINI PROGNOZLASH UCHUN PARALLEL ALGORITM

Sharipov D.K^{1,*} and Jo'rayeva G.A¹

¹Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

*qushqor@mail.ru

Abstract

Ushbu maqolada atmosfera ifloslanishini modellashtirishda keng qo'llaniladigan CALPUFF modeli uchun parallel algoritm ishlab chiqish masalasi ko'rib chiqilgan. CALPUFF modeli murakkab hisoblash jarayonlarini o'z ichiga olgani sababli, katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashda hisoblash tezligini oshirish va samaradorlikni ta'minlash dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotda CALPUFF modelining asosiy modullari tahlil qilinib, parallel hisoblash texnologiyalaridan foydalanish imkoniyatlari o'rganildi. Shuningdek, hisoblash jarayonlarini tezlashtirish maqsadida ma'lumotlarni segmentlash va ko'p yadroli protsessorlar imkoniyatlaridan samarali foydalanish uchun moslashtirilgan parallel algoritm ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan algoritm natijalari tajriba sinovlari orqali baholanib, hisoblash tezligi va resurslardan foydalanish samaradorligi yuqori ekanligi ko'rsatib berildi. Mazkur yondashuv atmosfera ifloslanishini modellashtirish jarayonlarini yanada takomillashtirish va ekologik monitoring tizimlarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Key words: atmosfera dispersiyasi modeli; CALPUFF; parallel hisoblash; modelni tezlashtirish; favqulodda choralar.

Kirish

Hozirgi kunda atrof-muhit ifloslanishi global muammolardan biri hisoblanadi. Atmosferaga chiqarilayotgan zararli moddalar inson salomatligi, ekologik tizim va iqlim o'zgarishlariga katta ta'sir ko'rsatmoqda. Shu sababli atmosfera havosining ifloslanish darajasini bashorat qilish va nazorat qilish maqsadida turli matematik modellar ishlab chiqilmoqda. Ana shunday modellar orasida CALPUFF modeli o'zining yuqori aniqligi va murakkab fizik jarayonlarni hisobga olishi bilan ajralib turadi. Biroq, CALPUFF modelining murakkab hisoblash algoritmlari va katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashi ko'p vaqt va katta kompyuter resurslarini talab qiladi. Zamonaviy hisoblash texnologiyalari, xususan, parallel algoritmlar va ko'p yadroli protsessorlardan foydalanish ushbu muammoni samarali hal etish imkonini beradi. Ushbu maqolada CALPUFF modeli uchun parallel algoritm ishlab chiqishning nazariy va amaliy jihatlari ko'rib chiqiladi. Maqolada modelning asosiy jarayonlari tahlil qilinib, hisoblash jarayonini tezlashtirish va samaradorligini oshirish maqsadida parallel algo-

ritm yaratish usullari bayon etiladi. Tadqiqot natijalari atmosfera ifloslanishini modellashtirish jarayonlarini yanada optimallashtirish imkonini beradi.

Metodologiya

Avvalo, CALPUFF modelining tuzilishi, ishlash mexanizmi va asosiy hisoblash jarayonlari chuqur o'rganildi. Modeldagi fizik va kimyoviy jarayonlar, ifloslantiruvchi moddalar tarqalish qonuniyatlari va ularning matematik ifodalanishi tahlil qilindi. CALPUFF modelining hisoblash jarayonlarini tezlashtirish maqsadida parallel dasturlash usullari tanlandi. Bunda OpenMP, MPI (Message Passing Interface) kabi texnologiyalar imkoniyatlari ko'rib chiqildi. Modeldagi katta hajmdagi ma'lumotlarni segmentlarga ajratib, mustaqil ravishda bir nechta protsessor yadro yoki hisoblash tugunlariga taqsimlash texnikasi ishlab chiqildi. Bu orqali hisoblash jarayonlarining bir vaqtning o'zida bajarilishi ta'minlandi. Olingan natijalar asosida hisoblash tezligi, samaradorlik darajasi, resurslardan foydalanish ko'rsatkichlari baholandi

va ular graflar hamda jadvallar ko'rinishida tahlil qilindi.

Atmosfera dispersiyasi modellari atrof-muhit fanlari sohasida keng tarqalgan va odatda katta maydon va uzoq muddatli ifloslantiruvchi moddalar emissiyasini simulyatsiya qilish uchun qo'llaniladi. Favqulodda vaziyatlarga javob berishga bo'lgan talab ortib borayotganligi sababli, ular zararli gazlarning to'satdan oqib chiqishini simulyatsiya qilish uchun ham ishlatilgan. Biroq, an'anaviy atmosfera dispersiyasi model dasturlari ketma-ket bajarilishini ko'rsatadi. Mavjud parallellashtirish usullari favqulodda simulyatsiya holatlarida to'liq qo'llanilmaydi. Ba'zi holatlar yuqori vaqt va fazoviy rezolyutsiyani talab qiladi, bu esa yuqori hisoblash yukiga olib keladi. Bunday hollarda, dasturlar uzoq vaqt ishlashdan aziyat chekadi. Masalan, CALPUFF modeli uchun 1600 ta hisoblash katakchalari va 480 vaqt qadamlari bilan ishni simulyatsiya qilish uchun taxminan 70 soniya kerak bo'ladi. To'rt katakchalari soni 160 000 ga oshganda, simulyatsiya taxminan 800 s davom etadi. Favqulodda vaziyatga javob berish uchun imkon qadar tezroq natijalarga bo'lgan ehtiyojni simulyatsiya qilish qiyin. Shuning uchun atmosfera dispersiyasi modellari parallellashtirish juda muhimdir.

So'nggi paytlarda ko'plab olimlar parallellashtirishga erishish uchun atmosfera dispersiyasi modelining manba kodini optimallashtirish uchun MPI (Message Passing Interface) va CUDA (Compute Unified Device Architecture) kabi parallel hisoblash interfeyslaridan foydalanishdi. Masalan, Kleeman va boshqalar. CALPUFF modelini tezlashtirish uchun MPI dan foydalangan [1]. Pinheiro va boshqalar. radionuklid dispersiyasi modelini tezlashtirish uchun CUDA dan foydalangan [2] va Cremades va boshqalar. CALPUFF modelini tezlashtirish uchun CUDA dan foydalangan [3]. Ushbu usullarning barchasi optimallashtirish uchun dasturda eng ko'p vaqt talab qiladigan funktsiyani topish uchun profil yaratishni talab qiladi, bu funktsiya joylashgan modulni tezlashtirishga qaratilgan. CALPUFF model tizimi uchun ular odatda dispersiya moduli uchun mos keladi va shamol maydoni moduliga taalluqli emas.

Shu bilan birga, olimlar manba kodini o'zgartirmasdan, hisoblash topshirig'ida ifloslanish manbalari, retseptorlari va simulyatsiya davrlarini to'g'ridan-to'g'ri taqsimlashning bir nechta usullarini taklif qilishdi. Masalan, Yao va boshqalar. va Hu va boshqalar. ikkalasi ham eksperimental holatlarda bir nechta ifloslanish manbalarini bo'lish orqali Gauss modelini tezlashtirdi [4,5]. Yau va boshqalar. eksperimental holatlarda bir nechta ifloslanish manbalari va ifloslantiruvchi moddalar turlarini ajratish orqali CALPUFF modelini tezlashtirdi [6]. Kanadaning Lakes Environmental kompaniyasi CALPUFF View tijorat dasturini ishlab chiqdi va simulyatsiya davrini bo'lish orqali CALPUFF modeli uchun parallel hisoblashni amalga oshirdi. Ushbu usullar qulay va amalga oshirish oson bo'lsa-da, ular ushbu xususiyatlarsiz holatlar uchun qo'llanilmaydi.

Oddiy Gauss modeli bilan taqqoslaganda, CALPUFF modeli uch o'lchovli shamol maydonini hisoblashi mumkin va yuqori aniqlikka ega. Shu bilan birga, CALPUFF modeli murakkab raqamli simulyatsiya usuliga qaraganda yuqori hisoblash tezligiga ega. Ushbu afzalliklar CALPUFF modelini favqulodda vaziyat maydoni uchun ko'proq moslashtiradi [7]. Favqulodda vaziyatlarda ko'pincha bitta ifloslanish manbai mavjud va simulyatsiya davri nisbatan qisqa. Ushbu maqola CALPUFF modeli uchun hisoblash vazifalarini ko'p qatlamli retseptorlarga bo'lish usulini taklif qiladi va bulutli platformada ishlash testini o'tkazadi.

Atmosfera dispersiyasi modelining asosiy nazariyasi

Atmosfera dispersiyasi modeli atmosferada ifloslantiruvchi moddalarning tarqalishi, tashilishi, o'zgarishi va cho'kishi jarayonlarini o'rganadi. Shunday qilib, u atrof-muhitni baholash va favqulodda vaziyatlarni bartaraf etish uchun keng qo'llaniladi. Nazariy jihatdan atmosfera dispersiyasi modelini uch toifaga

bo'lish mumkin: Gauss modellari, Lagranj modellari va Eyler modellari. Gauss modellari ifloslantiruvchi moddalarni Gauss plimini taqsimlash formulasi asosida simulyatsiya qiladi. Ushbu model eng yuqori hisoblash tezligi va eng past aniqlikka ega. Lagrangian modellari ifloslantiruvchi moddalarni kichikroq birliklarga ajratadi va ularning traektoriyalarini alohida hisoblab chiqadi, keyin ularni birlashtiradi. Bularni yana traektoriya modellari va puf modellari bo'lish mumkin. Xususan, traektoriya modellari ifloslantiruvchi moddalarni zarrachalar darajasida ajratadi, puf modellari esa ularni ma'lum hajmdagi "puflar" ga ajratadi, so'ngra puflar ichida Gauss usulidan foydalanadi. Ushbu turdagi model nisbatan yuqori hisoblash tezligini saqlab, simulyatsiya aniqligini yaxshilaydi. Eyler modellari atmosferada massa saqlanishning qisman differensial tenglamalarini yechish uchun raqamli simulyatsiya usullaridan foydalanadi [8]. Ular eng past hisoblash tezligiga va eng yuqori aniqlikka ega. Uchta modelning taqqoslanishi **Jadval 1** da keltirilgan va keyingi tadqiqotlarimiz uchun Lagrangian puff modeli CALPUFF tanlangan.

CALPUFF model tizimini joriy etish

CALPUFF modeli Sigma Research Corporation tomonidan ishlab chiqilgan va AQSh atrof-muhitni muhofaza qilish agentligi tomonidan tasdiqlangan diagnostik shamol maydoni modelidir. CALPUFF model tizimi CALMET meteorologik modeli, CALPUFF dispersion modeli va bir qator oldingi va keyingi protsessorlardan iborat [9]. Kirish sifatida urning balandligi ma'lumotlarini, erdan foydalanish ma'lumotlarini va meteorologik kuzatuv ma'lumotlarini olib, CALMET moduli uch o'lchovli shamol maydonini yaratadi. Shamol maydoni va ifloslanish manbasi ma'lumotlarini kirish sifatida qabul qilib, CALPUFF moduli uch o'lchovli konsentratsiya maydonini yaratadi. CALPUFF modeli - bu ifloslanishni ma'lum hajmga ega bo'lgan bir nechta "puflar" ning superpozitsiyasi sifatida ko'rib chiqadigan Lagrangian puff modeli. U bu puflar uchun Lagranj traektoriyasini hisoblab chiqadi va har bir puff ichida Gauss usulidan foydalanadi. CALPUFF modelining oqimi 1-rasmda ko'rsatilgan.

Parallellashtirish usuli

Atmosfera dispersiyasini keng miqyosda simulyatsiya qilishda odatda bir xil turdagi bir nechta mustaqil ob'ektlar (masalan, bir nechta ifloslanish manbalari va boshqalar) mavjud bo'lib, bu parallellashtirishning kalitidir. Ushbu ob'ektlar parallel hisoblash uchun turli xil hisoblash tugunlariga tayinlanishi mumkin, keyin natijalar birlashtirilishi mumkin. CALPUFF modelining ikkita asosiy vaqt talab qiluvchi moduli shamol maydonini hisoblash uchun CALMET moduli va konsentratsiya maydonini hisoblash uchun CALPUFF modulidir. Ushbu ikkita modul parallellashtirish uchun turli usullarni talab qiladi.

CALMET moduli uchun parallellashtirish usuli CALMET moduli ifloslanish manbalari va retseptorlari uchun ahamiyatsiz. Mavjud parallelizatsiya usullari odatda simulyatsiya davrini, ya'ni vaqtinchalik bo'linishni ajratadi. Biroq, mavjud usullarni simulyatsiya davri bir kundan kam bo'lgan holatlarga qo'llash mumkin emas, chunki CALMET atmosferadagi kunlik o'zgarishlarni hisobga oladi va simulyatsiyaning boshlanish vaqti mahalliy vaqt bilan soat 5 dan oldin bo'linishni talab qiladi. Ko'pgina favqulodda vaziyatlarda simulyatsiya davri bir kundan kam bo'lganligi sababli, ushbu tadqiqotda favqulodda vaziyatlarda qo'llanilishini yaxshilash uchun simulyatsiya maydonini bo'lish usuli (ya'ni, fazoviy bo'linish) qabul qilingan. Diagnostik shamol maydoni ommaviy saqlash va chegara shartlariga asoslanadi va chegara hujayralarining qiymatlari ishonchli emas. Shuning uchun pastki hududlarga bufer zonalar qo'shilishi kerak. Bundan tashqari, kvadratga bo'linishda hosil bo'lgan xatolar to'rtburchaklar bo'linishiga qaraganda kichikroqdir, chunki kvadratning chegara uzunligi bir

Modellar	Murakkablik	Tezlik	Aniqlik	Umumiy model tizimi
Gauss modeli	Past	Juda tez	Nisbatan past	ADMS, AERMOD
Lagrangian modeli	Nisbatan past	Nisbatan tez	Nisbatan yuqori	CALPUFF, HYSPLIT
Eyler modeli	Yuqori	Sekin	Yuqori	GEOS-Chem, CMAQ

Table 1. Uchta modelni taqqoslash.

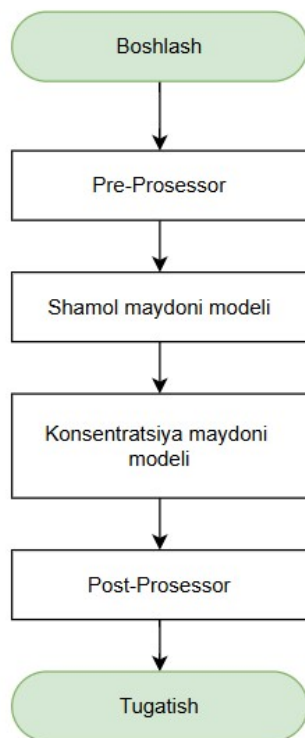


Figure 1. CALPUFF modelining oqimi

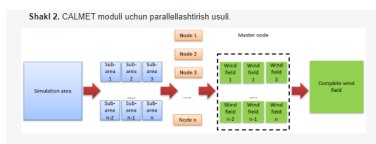


Figure 2. CALMET modeli uchun parallellashtirish usuli

xil maydonga ega bo'lgan to'rtburchaklarnikidan kichikroqdir [10]. Bo'lish usuli 2-rasmda ko'rsatilgan.

3-rasmda ko'rsatilganidek, bufer usuli har bir kichik hududning diapazoni asl chegaradagi katakchalar qiymatlarining ishonchligini ta'minlash uchun kengaytirilishini anglatadi. Yangi kichik hududning janubi-g'arbiy burchak koordinatalari, qatorlar va ustunlar soni modulga kiritiladi. Fayllarni birlashtirganda bufer katakchalarining qiymatlaridan voz kechiladi.

Hisoblash so'rovini olgandan so'ng, asosiy tugun simulyatsiya maydonini x va y o'qlari bo'ylab teng ravishda bir necha qism-larga ajratadi va bu kichik maydonlarning koordinatalarini bufer-lar bilan har bir hisoblash tuguniga yuboradi. Keyin, hisoblash tu-gunlari CALMET modulini mos keladigan kichik sohalarda ishga tushiradi va natijalarni asosiy tugunga yuboradi. Nihoyat, asosiy tugun to'liq shamol maydonini olish uchun olingan fayllarni bir-lashtiradi.

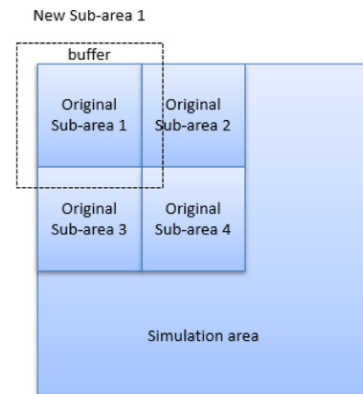


Figure 3. Bufer usuli.

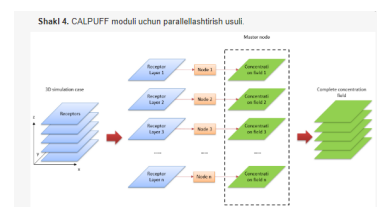


Figure 4. CALPUFF moduli uchun parallellashtirish usuli

CALPUFF moduli uchun parallellashtirish usuli

Lagranj puff modelining xarakteristikalarini tufayli CALPUFF modulidagi simulyatsiya jarayoni uzluksiz va parallellashtirish qiyin. Biroq, muayyan muayyan holatlar uchun parallellashtirish imkoniyatlari mavjud. Hozirgi vaqtda CALPUFF moduli asosan er konsentratsiyasini hisoblash uchun ishlatiladi va uch o'lchovli konsentratsiya maydonini hisoblash nisbatan kam uchraydi. As-lida, CALPUFF uch o'lchovli konsentratsiya maydonini chiqarishi mumkin, bu favqulodda vaziyatga javob berish uchun muhimdir. Uch o'lchovli simulyatsiya holatida, odatda, 4-rasmda ko'rsatil-gandek, hisoblash tugunlarida parallel ravishda hisoblanishi mumkin bo'lgan z - o'qi bo'ylab retseptorlarning bir nechta qatlamlari mavjud.

Hisoblash so'rovini olgandan so'ng, asosiy tugun shamol maydonining to'liq faylini va qatlamlar ma'lumotlarini har bir hisoblash tuguniga tayinlaydi. Keyin, hisoblash tugunlari modulni bir qatlamda boshqaradi va natijalarni asosiy tugunga yuboradi. Nihoyat, asosiy tugun to'liq konsentratsiya maydonini olish uchun olingan fayllarni birlashtiradi.

Xulosa

Ushbu maqolada CALPUFF favqulodda yo'naltirilgan atmosfera dispersiyasi modeli uchun parallel hisoblash algoritmi bulutli platformada ishlab chiqilgan va baholangan. Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, algoritim parallel hisoblash interfeyslarini (masalan, MPI, CUDA) ishlatadigan usullarga qaraganda sodda va samaraliroqdir. Shu bilan birga, u favqulodda vaziyatlarga javob berishda yaxshi tezlashuv ko'rsatkichlariga erishadi.

To'qqizta hisoblash tugunidan tashkil topgan klasterda tezlik 6,83, samaradorlik esa 75,89% ni tashkil qiladi. 22,500 hisoblash tarmog'i kataklari va 120 vaqt qadamlari bo'lgan favqulodda vaziyatlarda javob berish uchun bitta kompyuterda hisoblash vaqti taxminan 158,01 s, klasterda hisoblash vaqti esa taxminan 23,13 s. Favqulodda vaziyatlarga javob berish tizimi real vaqt rejimidagi meteorologik ma'lumotlarni har daqiqada yangilaydi deb faraz qilsak (ishdagi vaqt bosqichi bilan bir xil), algoritim simulyatsiya natijalarini shu daqiqada olishni ta'minlashi mumkin, bu favqulodda vaziyatlarga javob berishning asosiy ehtiyojlarini qondiradi. Bunday algoritim atmosfera dispersiyasi modelini favqulodda vaziyat maydoniga kengaytirish uchun juda muhimdir.

Butun simulyatsiya maydoni uchun parametrlarga bog'liq bo'lgan model uchun hisoblash tezligi va aniqligi bir-biri bilan cheklanadi va ular orasidagi muvozanatni topish kerak. Bufer hajmi 10 bo'lgan usul ushbu maqoladagi simulyatsiya holati uchun eng mos keladi. Bufer hajmi 10 dan katta bo'lsa, tezlik juda past va bufer hajmi 10 dan kam bo'lsa, aniqlik juda past bo'ladi. Usulni real holatlarga qo'llashda, bufer hajmi tezlikning haqiqiy talablariga muvofiq sozlanishi kerak. va aniqlik. Favqulodda vaziyat yuzaga kelganda, parallel dastur imkon qadar tezroq javob berish uchun taxminiy baho berishi mumkin, keyin esa keyingi qarorlarni qo'llab-quvvatlash uchun nisbatan past tezlikdagi dastlabki dastur amalga oshirilishi mumkin.

E'tibor berib, katta buferli usullarda CALMETni hisoblash ketma-ket dasturdagiga qaraganda sekinroq bo'lganligi sababli, CALMET modulini parallellashtirmaslik juda yuqori aniqlik talab qilinganda yoki CALMETni hisoblash vaqti qabul qilib bo'lmaydigan darajada uzun bo'lmaganda ixtiyoriy usul hisoblanadi. Biroq, ushbu usulning qo'llanilishini yanada chuqurroq o'rganish kerak, chunki xulosalar hal qilinayotgan aniq muammoga qarab farq qilishi mumkin (masalan, CALMETni hisoblash vaqti ancha uzoq bo'lgan simulyatsiya holatlari).

Adabiyotlar ro'yxati

- Kleeman, MJ; Rasmussen, DJ CALPUFFning parallel tezlashishi (versiya 5.8-darajali 070623) MPICH-2 yakuniy hisobotidan foydalanish. Onlaynda mavjud: https://www.djrasmussen.co/assets/parallel_CALPUFF_FINALreport_CARB.pdf (2020-yil 23-martda kirilgan).
- Pinheiro, A.; Desterro, F.; Santos, MC; Pereyra, CMNA; Schirru, R. GPU asosida radionuklidlarning atmosfera tarqalishini real vaqtda bashorat qilishda ishlatiladigan diagnostik shamol maydoni modelini amalga oshirish. Prog. Nukl. Energiya 2017, 100, 146–163. [Google Scholar] [CrossRef]
- Kremlar, PG; Puliafito, ES; Fernandes, CALPUFF ning RP GPU tezlashishi. Mecánica Comput. 2010, 29, 7043–7051. [Google olimi]
- Yao, L.; Wang, Y. MPI asosida havo ifloslanishining dispersiya modelining parallel hisoblash bo'yicha tadqiqotlari. Hisoblash. Eng. 2005, 22, 64–67. [Google olimi]
- Xu, Y.; Lin, H.; Xu, B.; Chju, J.; Xu, M. Ko'p nuqtali manbalar uchun Gauss plume modelini parallel hisoblash asosida kompyuter klasteri bo'yicha tadqiqot. Chin. Yuqori texnologiyalar. Lett. 2010, 4, 436–440. [Google olimi]
- Yau, KH; Thé, J. CALPUFF uchun taqsimlangan hisoblash yechimi. WIT Trans. Ecol. Atrof-muhit. 2007, 101, 129–134. [Google olimi]
- Li, M.; Yang, D.; U, W. AERMOD va CALPUFF gaz dispersiyasi modellarining nazariyalari va simulyatsiya natijalarini taqqoslash va istiqbollari. Geomat. Inf. Sci. Wuhan universiteti. 2020, 45, 1245–1254. [Google olimi]
- Leelőssy, A.; Molnár, F., Jr.; Izsak, F.; Havasi, A.; Lagzi, I.; Mészáros, R. Atmosfera havosini ifloslantiruvchi moddalarining dispersion modellashtirish: sharh. sent. Yevro. J. Geosci. 2014, 6, 257–278. [Google Scholar] [CrossRef]
- Scire, JS; Strimaitis, DG; Yamartino, RJ A CALPUFF dispersiya modeli uchun foydalanuvchi qo'llanmasi. Onlaynda mavjud: <http://www.src.com/calpuff/download/CALPUFFUsersGuide.pdf> (2021 – yil 28 – preldkirishmumkin).
- Sanjuan, G.; Brun, C.; Margalef, T.; Kortés, A. Shamol maydonini hisoblashni tezlashtirish uchun xarita bo'linishini aniqlash. 2014 yil 21–25 iyul, 2014 yil 21–25 iyul, Boloniya, Yuqori unumdorlikdagi hisoblash va simulyatsiya (HPCS) bo'yicha xalqaro konferentsiya materiallarida; 96–103–betlar. [Google olimi]
- Sanjuan, G.; Brun, C.; Margalef, T.; Cortés, A. O'rmon yong'inlari tarqalishini bashorat qilishda shamol maydoni noaniqligini minimallashtirish uchun xarita bo'linishini aniqlash. J. Hisoblash. Sci. 2016, 14, 28–37. [Google Scholar] [CrossRef]