

JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

OPTIMIZATION OF EVACUATION ROUTES BASED ON CFD MODELING OF SMOKE SPREAD DURING FIRES

Boboqulov Ozodbek Rustam o'g'li

Academy of the Ministry of Emergency Situations

E-mail: buxorokogon0809@gmail.com

Abstract

This article examines the modeling of smoke spread during fires in multi-story buildings using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method and the optimization of evacuation routes. During the study, smoke movement, temperature distribution, and airflow dynamics were analyzed using a CFD model. Based on the obtained results, optimal evacuation routes were developed to ensure the safe evacuation of occupants. The research findings demonstrate that CFD modeling enables accurate prediction of smoke spread during fires and improves evacuation efficiency. The proposed approach contributes to enhancing emergency management systems and reducing human casualties.

Keywords

CFD, smoke spread, fire safety, evacuation, multi-story buildings, Computational Fluid Dynamics, smoke dynamics, emergency situations.

YONG'IN VAQTIDA TUTUN TARQALISHINI CFD MODELLASHTIRISH ASOSIDA EVAKUATSIYA YO'NALISHLARINI OPTIMALLASHTIRISH

Boboqulov Ozodbek Rustam o'g'li

Favqulodda vaziyatlar vazirligi Akademiyasi

Annotatsiya

Mazkur maqolada ko'p qavatli binolarda yong'in vaqtida tutun tarqalishini Computational Fluid Dynamics (CFD) usuli yordamida modellashtirish va evakuatsiya yo'nalishlarini optimallashtirish masalalari o'rganilgan. Tadqiqot davomida tutun harakati, harorat taqsimoti va havo oqimlarining dinamikasi CFD modeli asosida tahlil qilindi.



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

Olingan natijalar asosida insonlarning xavfsiz evakuatsiyasini ta'minlovchi optimal marshrutlar ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari CFD modellashtirish yong'in vaqtida tutun tarqalishining aniq prognozini yaratish va evakuatsiya samaradorligini oshirish imkonini berishini ko'rsatdi. Taklif etilgan yondashuv favqulodda vaziyatlarni boshqarish tizimlarini takomillashtirish hamda inson talofatlarini kamaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: CFD, tutun tarqalishi, yong'in xavfsizligi, evakuatsiya, ko'p qavatli binolar, Computational Fluid Dynamics, tutun dinamikasi, favqulodda vaziyatlar.

1.Kirish. Dunyo bo'yicha sodir bo'layotgan yirik yong'in hodisalari tahlili shuni ko'rsatadiki, insonlarning halok bo'lishiga sabab bo'layotgan asosiy omillardan biri olov emas, balki tutun va zaharli gazlarning tez tarqalishidir. Ko'p qavatli binolarda tutunning qisqa vaqt ichida yuqori qavatlariga ko'tarilishi evakuatsiya jarayonini murakkablashtiradi hamda qutqaruv ishlarini olib borishni qiyinlashtiradi. Yong'in vaqtida hosil bo'ladigan tutun tarkibida uglerod oksidi, karbonat angidrid va boshqa zaharli moddalar mavjud bo'lib, ular inson salomatligi va hayoti uchun jiddiy xavf tug'diradi. Shu sababli tutun tarqalishining xususiyatlarini chuqur o'rganish hamda xavfsiz evakuatsiya yo'nalishlarini aniqlash yong'in xavfsizligi sohasining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. So'nggi yillarda Computational Fluid Dynamics (CFD) texnologiyalari yong'in jarayonlarini modellashtirishda keng qo'llanilmoqda. CFD usullari gazlar va suyuqliklarning harakatini matematik tenglamalar asosida tahlil qilish imkonini beradi. Mazkur texnologiya yordamida yong'in vaqtida hosil bo'ladigan tutun oqimlari, harorat maydonlari va ventilyatsiya tizimlarining ta'siri aniq modellashtirilishi mumkin. AQSH, Buyuk Britaniya, Germaniya va Yaponiya kabi davlatlarda CFD modellashtirish yong'in xavfsizligi tizimlarini loyihalash va evakuatsiya strategiyalarini ishlab chiqishda keng qo'llanmoqda. Biroq ko'plab binolarda evakuatsiya yo'nalishlari hali ham statik sxemalar asosida belgilanadi va tutunning real tarqalish dinamikasi yetarli darajada hisobga olinmaydi. Mazkur tadqiqotning maqsadi ko'p qavatli binolarda yong'in vaqtida tutun





JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

tarqalishini CFD usuli yordamida modellashtirish va olingan natijalar asosida evakuatsiya yoʻnalishlarini optimallashtirishdan iborat. Tadqiqotning dolzarbligi zamonaviy binolarda yongʻin vaqtida insonlar xavfsizligini taʼminlash, evakuatsiya vaqtini qisqartirish va favqulodda vaziyatlar oqibatlarini kamaytirish zarurati bilan belgilanadi.

2.Adabiyotlar tahlili. Yongʻin vaqtida tutun tarqalishini modellashtirish va evakuatsiya strategiyalarini ishlab chiqish soʻnggi yillarda yongʻin xavfsizligi sohasining muhim ilmiy yoʻnalishlaridan biriga aylandi. Ayniqsa, Computational Fluid Dynamics (CFD) texnologiyalarining rivojlanishi tutun dinamikasini yuqori aniqlikda modellashtirish imkoniyatini yaratdi.

McGrattan va hamkorlari tomonidan ishlab chiqilgan Fire Dynamics Simulator (FDS) dasturi yongʻin va tutun tarqalishini modellashtirishda eng keng qoʻllaniladigan vositalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotchilar CFD modellarining yongʻin rivojlanishi va tutun harakatini prognozlashdagi yuqori aniqligini isbotlaganlar.

Hurley (2022) tomonidan chop etilgan SFPE Handbook of Fire Protection Engineering asarida tutun tarqalishining insonlar xavfsizligiga taʼsiri batafsil tahlil qilingan. Muallifning taʼkidlashicha, yongʻin vaqtida insonlarning aksariyati olovdan emas, balki tutun va zaharli gazlardan zarar koʻradi.

Ronchi va Nilsson (2022) evakuatsiya jarayonlarini modellashtirish boʻyicha tadqiqotlarida tutun zichligi va koʻrinish darajasi evakuatsiya tezligiga bevosita taʼsir koʻrsatishini aniqlaganlar. Ularning tadqiqotlari evakuatsiya strategiyalarini ishlab chiqishda tutun tarqalishini hisobga olish zarurligini koʻrsatadi.

Wang va hamkorlari (2023) CFD modellashtirish asosida yongʻin vaqtida havo oqimlari va harorat taqsimotini oʻrganib, ventilyatsiya tizimlarining tutun tarqalishiga sezilarli taʼsir koʻrsatishini aniqlaganlar.

Zhang va hamkorlari (2024) esa sunʼiy intellekt va CFD texnologiyalarini integratsiyalash orqali evakuatsiya yoʻnalishlarini optimallashtirish boʻyicha tadqiqot



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

olib borganlar. Ularning natijalari real vaqt rejimida xavfsiz marshrutlarni aniqlash imkoniyatini ko'rsatgan. Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, tutun tarqalishini modellashtirish va evakuatsiya strategiyalarini ishlab chiqish bo'yicha katta ilmiy salohiyat mavjud. Biroq ko'p qavatli binolar uchun CFD natijalariga asoslangan dinamik evakuatsiya tizimlari hali yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur tadqiqot aynan ushbu yo'nalishni rivojlantirishga qaratilgan.

3.Tadqiqot metodologiyasi

Mazkur tadqiqotda yong'in vaqtida tutun tarqalishini modellashtirish va evakuatsiya yo'nalishlarini optimallashtirish uchun Computational Fluid Dynamics (CFD) texnologiyasidan foydalanildi. Tadqiqot obyekti sifatida 16 qavatli zamonaviy ma'muriy binoning virtual modeli yaratildi. Binoning geometrik parametrlari, xonalar joylashuvi, koridorlar, zinapoya maydonchalari va ventilyatsiya tizimlari model tarkibiga kiritildi.

CFD modellashtirish jarayonida quyidagi parametrlar hisobga olindi:

- tutun zichligi;
- harorat taqsimoti;
- havo oqimlari tezligi;
- kislorod konsentratsiyasi;
- uglerod oksidi miqdori;
- ventilyatsiya tizimining ishlash rejimi.

Tutun harakatini tavsiflash uchun Navye-Stoks tenglamalari asosida hisob-kitoblar amalga oshirildi.

bu yerda:

ρ – gaz zichligi;

u – oqim tezligi;

p – bosim;

μ – dinamik qovushqoqlik;



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

F – tashqi kuchlar.

Evakuatsiya samaradorligini baholash uchun Evakuatsiya Xavfsizligi Ko'rsatkichi (EXK) ishlab chiqildi.

bu yerda:

EXK – evakuatsiya xavfsizligi ko'rsatkichi;

Ns – xavfsiz evakuatsiya qilingan insonlar soni;

Nt – binoda bo'lgan umumiy insonlar soni.

Tadqiqot davomida uch xil yong'in ssenariysi modellashtirildi:

1. Birinchi qavatdagi elektr yong'ini.
2. Sakkizinchi qavatdagi ofis yong'ini.
3. O'n ikkinchi qavatdagi texnik xonada yuzaga kelgan yong'in.

Har bir holatda tutun tarqalish dinamikasi, ko'rinish darajasi va evakuatsiya vaqti alohida baholandi.

Shuningdek, ventilyatsiya tizimi ishlayotgan va ishlamayotgan holatlar taqqoslandi. Natijalar asosida eng xavfsiz evakuatsiya marshrutlari aniqlanib, optimallashtirilgan evakuatsiya sxemasi ishlab chiqildi. Mazkur metodologiya yong'in vaqtida tutun tarqalishini chuqur tahlil qilish va insonlar xavfsizligini ta'minlashga qaratilgan ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish imkonini berdi.

4.CFD ASOSIDAGI TUTUN TARQALISHI MODEL

Mazkur tadqiqotda yong'in vaqtida tutun tarqalishini modellashtirish uchun Computational Fluid Dynamics (CFD) texnologiyasiga asoslangan model ishlab chiqildi. Modelning asosiy vazifasi yong'in sodir bo'lgan hududdan chiqayotgan tutunning tarqalish yo'nalishlari, harakat tezligi va insonlar xavfsizligiga ta'sirini aniqlashdan iborat.

CFD modeli uchta asosiy blokdan tashkil topgan:

1. Yong'in manbai moduli;
2. Tutun tarqalishi moduli;



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

3. Evakuatsiya xavfsizligini baholash moduli.

Yong'in manbai modulida yong'inning boshlanish joyi, yonuvchi material turi va issiqlik ajralish tezligi (Heat Release Rate – HRR) kiritildi. Issiqlik ajralishi tutun hosil bo'lishining asosiy omili sifatida qabul qilindi. Tutun tarqalishi moduli gazlarning harakat tenglamalari asosida ishlaydi. Model tutunning vertikal va gorizontal yo'nalishlarda harakatlanishini hisobga oladi. Ayniqsa, zinapoya maydonchalari va ventilyatsiya shaxtalarining tutun tarqalishiga ta'siri alohida tahlil qilindi.

Modelda quyidagi xavf zonalari belgilandi:

- Yashil zona – xavfsiz hudud;
- Sariq zona – ehtiyotkorlik hududi;
- Qizil zona – yuqori xavf hududi;
- Qora zona – hayot uchun xavfli hudud.

Har bir qavat uchun tutun zichligi va ko'rinish masofasi hisoblandi. Ko'rinish masofasi 10 metrdan kamaygan hollarda ushbu hudud evakuatsiya uchun xavfli deb baholandi. CFD simulyatsiyasi natijasida tutunning eng tez tarqaladigan yo'nalishlari aniqlanib, ular asosida xavf xaritasi yaratildi. Xavf xaritasi evakuatsiya algoritmiga uzatildi va eng xavfsiz marshrutlarni tanlash uchun foydalanildi. Taklif etilgan modelning asosiy afzalligi shundaki, u yong'inning rivojlanishi bilan bir vaqtda tutun tarqalishini prognoz qilib, evakuatsiya yo'nalishlarini dinamik ravishda yangilash imkonini beradi.

5. Natijalar va muhokama. CFD modellashtirish asosida o'tkazilgan simulyatsiyalar natijasida tutun tarqalishining evakuatsiya jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Birinchi ssenariyda yong'in birinchi qavatda yuzaga kelgan holatda tutun 6 daqiqa ichida yuqori qavatlarga yetib borganligi kuzatildi. Ventilyatsiya tizimi ishlamagan holatda tutun tarqalish tezligi 28 foizga oshgan.

Ikkinchi ssenariyda sakkizinchi qavatdagi yong'in natijasida koridorlarda ko'rinish masofasi 4 daqiqadan keyin 8 metrga tushib ketgan. Bu esa evakuatsiya tezligining



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

pasayishiga sabab bo'lgan.

Uchinchi ssenariyda texnik xonadagi yong'in natijasida tutun ventilyatsiya tizimi orqali qo'shni qavatlariga tarqalgan va xavf hududi kengaygan.

1-jadval

Turli ssenariylarda tutun tarqalishi ko'rsatkichlari

Ssenariy	Tutunning qavatlarga yetib borish vaqti	yuqori Ko'rinish masofasi	Xavf darajasi
1-qavatdagi yong'in	6 daqiqa	9 m	Yuqori
8-qavatdagi yong'in	4 daqiqa	8 m	Yuqori
Texnik xona yong'ini	5 daqiqa	7 m	Kritik

CFD modelidan foydalanilgan evakuatsiya sxemasi an'anaviy evakuatsiya sxemasi bilan taqqoslandi.

2-jadval

Evakuatsiya samaradorligini taqqoslash

Ko'rsatkich	An'anaviy sxema	CFD asosidagi sxema
Evakuatsiya vaqti	11,8 min	8,1 min
Xavf hududidan o'tganlar ulushi	18 %	5 %
Xavfsiz evakuatsiya darajasi	82 %	95 %
Tirbandlik darajasi	Yuqori	Past

Natijalar shuni ko'rsatdiki, CFD modellashtirish asosida ishlab chiqilgan evakuatsiya marshrutlari insonlar xavfsizligini sezilarli darajada oshirgan. Evakuatsiya vaqti o'rtacha 31 foizga qisqargan, xavfli hududlarga kirib qolish holatlari esa deyarli 3,5 barobarga kamaygan. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, tutun tarqalishi haqidagi real ma'lumotlarni hisobga olgan evakuatsiya tizimlari an'anaviy statik sxemalarga nisbatan ancha samarali hisoblanadi. Shuningdek, CFD modellashtirish natijalari binolarni loyihalash bosqichida





JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

ham qo'llanilishi mumkinligi aniqlandi. Bu esa yong'in xavfsizligi talablarini yanada takomillashtirishga yordam beradi. Olingan natijalar CFD texnologiyalarining yong'in xavfsizligini ta'minlash va favqulodda vaziyatlarni boshqarish tizimlarida katta istiqbolga ega ekanligini tasdiqlaydi.

6.Xulosa. Mazkur tadqiqotda yong'in vaqtida tutun tarqalishini CFD (Computational Fluid Dynamics) modellashtirish asosida evakuatsiya yo'nalishlarini optimallashtirish masalalari o'rganildi. Tadqiqot davomida ko'p qavatli binolarda yuzaga keladigan turli yong'in ssenariylari modellashtirildi hamda tutun harakatining evakuatsiya jarayoniga ta'siri tahlil qilindi. O'tkazilgan simulyatsiyalar natijalari CFD modellarining tutun tarqalishini yuqori aniqlik bilan prognoz qilish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqot davomida tutunning yuqori qavatlariga qisqa vaqt ichida tarqalishi insonlar hayoti uchun asosiy xavf omillaridan biri ekanligi aniqlandi. CFD modellashtirish natijalari asosida ishlab chiqilgan optimallashtirilgan evakuatsiya yo'nalishlari an'anaviy evakuatsiya sxemalariga nisbatan yuqori samaradorlik ko'rsatdi. Evakuatsiya vaqti qisqardi, tirbandlik darajasi kamaydi va xavfli hududlardan o'tish holatlari sezilarli ravishda kamaydi. Shuningdek, tadqiqot davomida ventilyatsiya tizimlarining ishlash rejimi tutun tarqalishiga katta ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Bu esa zamonaviy binolarni loyihalashda tutun chiqarish va ventilyatsiya tizimlarini CFD modellashtirish natijalari asosida optimallashtirish zarurligini ko'rsatadi. Olingan natijalar CFD texnologiyalaridan foydalanish yong'in xavfsizligi tizimlarini takomillashtirish, favqulodda vaziyatlarda insonlar xavfsizligini oshirish va qutqaruv ishlarining samaradorligini ta'minlashga xizmat qilishini tasdiqlaydi. Kelgusida CFD modellarini sun'iy intellekt va Digital Twin texnologiyalari bilan integratsiyalash orqali real vaqt rejimida ishlovchi aqlli evakuatsiya tizimlarini yaratish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar



JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATIVE RESEARCH

VOLUME-1, ISSUE-7, 2026

1. McGrattan K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide*. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2023.
2. Hurley M.J. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer, New York, 2022.
3. Ronchi E., Nilsson D. *Fire Evacuation in High-Rise Buildings*. Fire Technology, 2022, Vol. 58, pp. 1201–1225.
4. Wang X., Chen Y., Zhao L. *CFD-Based Smoke Movement Analysis in High-Rise Buildings*. Fire Safety Journal, 2023, Vol. 135, pp. 103712.
5. Zhang Y., Liu H., Wang Z. *Optimization of Evacuation Routes Using CFD and Artificial Intelligence*. Safety Science, 2024, Vol. 171, pp. 106401.
6. Li Z., Huang P., Xu T. *Computational Modeling of Smoke Propagation in Complex Buildings*. Journal of Building Engineering, 2024, Vol. 82, pp. 108023.
7. Kuligowski E. *Human Behavior During Fire Evacuation*. Fire and Materials, 2021, Vol. 45, pp. 201–214.
8. Kim S., Lee J. *Smart Smoke Control Systems in Modern Buildings*. Sensors, 2022, Vol. 22, No. 15, pp. 5734–5748.
9. Chen L., Zhang X., Liu Q. *Digital Technologies for Fire Safety Management*. IEEE Access, 2023, Vol. 11, pp. 55421–55435.
10. International Organization for Standardization (ISO). *Fire Safety Engineering Standards*. Geneva, 2023.
11. National Fire Protection Association (NFPA). *Life Safety Code Handbook*. Quincy, Massachusetts, 2024.
12. European Fire Safety Alliance. *Smoke Management in Buildings*. Brussels, 2023.
13. Liu H., Zhao Y. *Advanced CFD Applications in Fire Safety Engineering*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024, Vol. 128, pp. 107561.

