

IKKI O'LCHOVLI ELASTIK JISMLARNI CHEKLI ELEMENTLAR USULIDA YECHISH

Javohir Asfandiyorov¹, Ja'far Rabbimqulov²
Sharof Rashidov nomidagi
Samarqand davlat universiteti magistranti
Telefon: +998(95) 3350909
e-mail: asfandiyorovj@samdu.uz

Annotasiya

Mazkur ishda ikki o'lchovli elastik jismlarning deformatsiya va kuchlanish holatlarini aniqlash masalasi chekli elementlar usuli asosida yechilgan. Tadqiqot davomida tekis kuchlanish va tekis deformatsiya holatlari uchun asosiy differensial tenglamalar keltirilib, ularni chekli elementlarga ajratish (diskretlash) jarayoni ko'rib chiqilgan. Hisoblashda elastiklik nazariyasining asosiy qonunlari, material konstantalari va chegaraviy shartlar hisobga olingan. Tadqiqot natijalari chekli elementlar usulining murakkab shaklli elastik jismlar uchun samarali va aniqligi yuqori bo'lgan hisoblash usuli ekanligini ko'rsatadi.

Abstract

This article addresses the solution of deformation and stress analysis problems of two-dimensional elastic bodies using the Finite Element Method (FEM). The basic differential equations for plane stress and plane strain cases are introduced, and the discretization process using finite elements is described. The analysis considers the fundamental laws of elasticity, material constants, and boundary conditions. The results indicate that FEM is an effective and accurate numerical tool for solving elasticity problems with complex geometrical configurations.

Kalit so'zlar: *Chekli elementlar usuli; ikki o'lchovli elastiklik; deformatsiya; kuchlanish; tekis kuchlanish; sonli modellashtirish.*

Key words: *Finite Element Method; two-dimensional elasticity; deformation; stress; plane stress; numerical modeling.*

Kirish: Zamonaviy muhandislik amaliyotida konstruksiya va inshootlarning mustahkamligi hamda ishonchliligini ta'minlash muhim masalalardan biri hisoblanadi. Bunda elastik jismlarning deformatsiyalanish va kuchlanish holatini aniqlash masalalari alohida ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, murakkab geometriyaga ega bo'lgan ikki o'lchovli elastik jismlar uchun analitik usullar yordamida aniq yechim olish ko'pincha mushkul yoki imkonsiz bo'ladi. Shu sababli, bunday masalalarni yechishda

sonli usullar, xususan, chekli elementlar usuli (ChEU) keng qo'llanilmoqda. Chekli elementlar usuli elastiklik nazariyasiga asoslangan bo'lib, hisoblash sohasini kichik elementlarga ajratish orqali differensial tenglamalarni algebraik tenglamalar sistemasiga keltirish imkonini beradi. Ushbu usul murakkab chegaraviy shartlar va material xossalarini hisobga olgan holda yuqori aniqlikdagi natijalarni olishga imkon yaratadi. Mazkur maqolada ikki o'lchovli elastik jismlarning tekis kuchlanish va tekis deformatsiya holatlari chekli elementlar usuli yordamida tahlil qilinadi. Asosiy differensial tenglamalar, diskretlash jarayoni hamda material konstantalari va chegaraviy shartlarning hisoblash natijalariga ta'siri ko'rib chiqiladi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Chekli elementlar usuli (ChEU) elastik jismlarni tahlil qilishda eng ko'p qo'llaniladigan sonli metodlardan biri bo'lib, uning nazariy asoslari va amaliy qo'llanilishi bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar mavjud. Avvalo, elastiklik nazariyasining asosiy differensial tenglamalari va ular orqali deformatsiya hamda kuchlanish holatlarini aniqlash masalalari klassik mexanika adabiyotlarida batafsil yoritilgan (Masalan, Timoshenko & Goodier, 1970; Sadd, 2009). Bu manbalarda elastik jismlarning kontinum modeli, strain–stress munosabatlari hamda chegaraviy shartlar bilan bog'liq masalalar aniq matematik ifoda bilan berilgan. So'nggi yillarda ChEU bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar elastik jismlarni tahlil qilishdagi samaradorlikni oshirishga qaratilgan (Zienkiewicz & Taylor, 2005). Ushbu ishlar ChEU ning differensial tenglamalarni diskret shaklga keltirish mexanizmini, element turlarini tanlash tamoyillarini hamda element yig'indisidan global tizim matritsasini hosil qilish algoritmlarini yoritadi. Shuningdek, tekis kuchlanish va tekis deformatsiya holatlari uchun mos variantlarning farqlari – ular uchun differensial tenglamalar va chegaraviy shartlar tuzilishi – alohida tahlil qilingan. Amaliy tadqiqotlarda ChEU ANSYS, ABAQUS kabi dasturiy komplekslarda keng qo'llanadi. Misol uchun, ANSYS dasturida murakkab geometriyaga ega elastik jismlar modellari qurilib, ularning statik va dinamik yuklamalar ostidagi reaksiyalari tahlil qilinadi. Bu turdagi adabiyotlar ChEU ning murakkab yuklash sharoitlarida ham yuqori aniqlikni saqlash qobiliyatini ko'rsatadi. Shuningdek, ilmiy maqolalarda ChEUning samaradorligini taqqoslashga oid tadqiqotlar ham mavjud. Ular ChEUni boshqa sonli metodlar, masalan, chegara elementlar usuli yoki spektr metodlari bilan taqqoslab, har bir metodning afzallik va cheklovlarini ko'rsatadi. Bunday taqqoslash natijalari ko'pincha ChEUning murakkab geometriyalar va nozik chegaraviy shartlar bo'yicha ustunligini tasdiqlaydi. Umuman olganda, adabiyotlarda ko'rsatilgan tadqiqotlar ChEUning elastiklik nazariyasi masalalarini yechishda katta amaliy ahamiyatga ega ekanligini, ayniqsa murakkab shaklli elastik jismlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik va hisoblash samaradorligini ta'kidlashadi. Mazkur maqola ushbu ilmiy asoslarni davom

ettirib, ikki o'lovli elastik jismlarning tekis kuchlanish va tekis deformatsiya holatlarini aniq modellashtirishga yo'naltirilgan.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu tadqiqot ikki o'lovli elastik jismlarning deformatsiya va kuchlanish holatini aniqlashga qaratilgan bo'lib, asosiy metod sifatida **chekli elementlar usuli (ChEU)** tanlandi. Tadqiqot elastiklik nazariyasining fundamental qonunlariga tayangan holda olib borildi va tekis kuchlanish (plane stress) hamda tekis deformatsiya (plane strain) holatlari alohida ko'rib chiqildi. Tadqiqot jarayoni bir necha mantiqan bog'langan bosqichlardan iborat bo'lib, ular matematik modellashtirish, hisoblash sohasi diskretlashtiruv, algebraik tenglamalarni yechish va natijalarni tahlil qilishni o'z ichiga oladi.

Tadqiqotning birinchi bosqichi nazariy asoslarni aniqlashdan iborat bo'ldi. Bu bosqichda elastik jismlarning **muvozanat tenglamalari, geometrik bog'lanishlar va konstitutiv (material) tenglamalari** tadqiqotning markaziy elementi sifatida qabul qilindi. Muvozanat tenglamalari jismlar ichidagi kuchlar va momentlarning muvozanatini ifodalaydi, geometrik bog'lanishlar deformatsiya va siljishlar orasidagi munosabatni belgilaydi, konstitutiv tenglamalar esa stress va strain orasidagi fizik bog'lanishni ifodalaydi. Hisoblashlarda materiallar izotrop va chiziqli elastik deb qabul qilindi, asosiy material parametrlar sifatida **Young moduli (E)** va **Poisson koeffitsienti (ν)** ishlatildi. Shu bilan birga, tadqiqotda jismlarga ta'sir etuvchi **chegaraviy shartlar** aniqlab olindi, ular siljish va aylanishlarning cheklanishini ta'minlab, tashqi yuklar orqali jismlarga ta'sir qiluvchi kuchlar va momentlarni ifodalaydi. chegaraviy shartlar aniq matematik ifodalar bilan belgilangan bo'lib, bu sonli modelning aniqligi va ishonchligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi.

Matematik model tuzilganidan so'ng, hisoblash sohasi **chekli elementlarga diskretlashtirildi**. Diskretlash jarayonida uchburchak va to'rtburchak shaklli elementlar ishlatildi va har bir element uchun **siljish funksiyalari (shape functions)** tanlandi. Ularning asosida element **qattqlik matritsalar** hosil qilindi. Barcha elementlarning qattqlik matritsalar yig'ilib, global qattqlik matritsasi tuzildi, bu esa masalaning analitik yechimga keltirilishini va murakkab geometriyaga ega jismlarni ham tahlil qilishni osonlashtirdi.

Hosil bo'lgan global algebraik tenglamalar tizimi sonli usullar yordamida yechildi. Bu jarayonda **Gaussian eliminatsiyasi, iterativ metodlar** va boshqa zamonaviy algoritmlar qo'llanildi. Natijada, tugunlardagi siljishlar aniqlandi va shu asosda deformatsiya va kuchlanish komponentlari hisoblab chiqildi. Hisoblash natijalari grafik va jadval ko'rinishida vizualizatsiya qilindi, bunda deformatsiya maydonining taqsimoti, kuchlanish komponentlarining maksimal va minimal qiymatlari hamda murakkab geometriyaga ega jismlardagi stress konsentratsiyalari ko'rsatildi.

Tadqiqot natijalarini tekshirish va tasdiqlash maqsadida olingan yechimlar adabiyotlarda keltirilgan nazariy va eksperimental natijalar bilan solishtirildi. Shuningdek, ChEU natijalari **ANSYS dasturi** yordamida qurilgan modellarda ham tekshirildi. Natijalar yuqori darajada moslikni ko'rsatdi va metodologiyaning to'g'riligini, shuningdek, ChEUning murakkab geometriyaga ega elastik jismlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik va hisoblash samaradorligini ta'minlashini tasdiqladi.

Shu tarzda, ushbu metodologiya matematik modellashtirish, diskretlash, sonli yechim va natijalarni tahlil qilish bosqichlarini o'z ichiga oladi va ikki o'lchovli elastik jismlarni sifatli, ishonchli va ilmiy asoslangan tarzda o'rganishga imkon yaratadi. Tadqiqotning keng qamrovli yondashuvi murakkab geometriyaga ega jismlarni tahlil qilish, turli chegara shartlari va material parametrlarini hisobga olish, shuningdek, natijalarni aniq va mantiqan tahlil qilish imkonini beradi.

Tahlil va natijalar. Ushbu bo'limda ikki o'lchovli elastik jismlarning deformatsiya va kuchlanish holati chekli elementlar usuli yordamida aniqlangan natijalar tahlil qilinadi. Hisoblash jarayonida turli geometriyaga ega jismlar, material parametrlar va chegara shartlari inobatga olindi. Olingan natijalar tugunlardagi siljish qiymatlari asosida deformatsiya maydonini va kuchlanish taqsimotini aniqlash imkonini berdi. Hisoblash natijalari ko'rsatdiki, murakkab geometriyaga ega jismlarda stress konsentratsiyasi ko'pincha keskin o'zgarishlar yuz beradigan joylarda, ya'ni chekka burchaklar, teshiklar yoki yuk ta'sir qiluvchi yuzalarda kuzatiladi. Tekis kuchlanish holatida maksimal kuchlanish qiymatlari yuklanish yuzalariga yaqin joylarda hosil bo'lib, stress taqsimoti jihatdan nisbatan bir tekis bo'ldi. Tekis deformatsiya holatida esa kuchlanish maydonida lokal konsentratsiyalar va deformatsiya o'zgarishlari aniqlanib, bu ChEUning murakkab geometriyalarni aniqlik bilan modellashtirish imkoniyatini ko'rsatdi. Tugunlardagi siljish qiymatlari asosida hisoblangan deformatsiya komponentlari ham tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, jismlarning elastik deformatsiyasi elementlarning shakl va o'lchamiga bog'liq bo'lib, kichik elementlardan iborat diskretizatsiya yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Shu bilan birga, global qattqlik matritsasining yig'ilishi va sonli yechimlar orqali olingan natijalar ChEUning murakkab yuklash va chegaraviy shartlar ostida ham ishonchli yechim berishini tasdiqlaydi. Natijalar grafik va jadval ko'rinishida taqdim etildi. Grafiklar deformatsiya maydonining taqsimoti va kuchlanish komponentlarining o'zgarishini vizual tarzda ko'rsatdi. Jadval shaklidagi natijalar esa maksimal va minimal kuchlanish qiymatlari, shuningdek, tugunlardagi siljish qiymatlarini aniq ifodaladi. Bu esa natijalarni kvantitativ tahlil qilish imkonini berdi va ChEU yordamida olingan natijalarni ilmiy asoslashga yordam berdi. Olingan natijalar adabiyotlarda keltirilgan nazariy yechimlar bilan solishtirildi. Shuningdek, ANSYS dasturida qurilgan modellar

orqali tekshiruvlar o'tkazildi. Solishtirish natijalari yuqori darajada moslikni ko'rsatdi, bu esa ChEUNing murakkab geometrik jismlarni aniqlik va samaradorlik bilan tahlil qilish qobiliyatini tasdiqlaydi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari ChEUNing ikki o'lchovli elastik jismlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik, ishonchlilik va samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Shuningdek, hisoblash natijalari dizayn jarayonida murakkab shaklli jismlarning stress va deformatsiya xatti-harakatini oldindan aniqlash, xavfli joylarni aniqlash va konstruksiya parametrlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Xulosa va takliflar. Tadqiqot davomida aniqlangan asosiy xulosalar quyidagilar: birinchidan, murakkab geometriyaga ega jismlarda stress konsentratsiyasi ko'pincha chekka burchaklar, teshiklar va yuk ta'sir qiluvchi yuzalarda hosil bo'ladi; ikkinchidan, elementlarning shakl va o'lchami diskretizatsiya natijalarining aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi; uchinchidan, ChEU yordamida olingan natijalar dizayn jarayonida xavfli zonalarini aniqlash va konstruksiya parametrlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari asosida quyidagi takliflar berilishi mumkin:

1. Murakkab geometriyaga ega elastik jismlarni tahlil qilishda **ChEUNing turli element turlaridan foydalanish** hisoblash aniqligi va samaradorligini oshiradi.
2. Dizayn jarayonida olingan natijalar asosida **stress konsentratsiyasi kuzatiladigan zonalarni mustahkamlash** yoki geometrik o'zgartirishlar kiritish tavsiya etiladi.
3. Kelajakdagi tadqiqotlar uchun ChEUNing dinamik yuklamalar, termal ta'sirlar va material noizotropiyalari kabi holatlarda qo'llanilishi o'rganilishi mumkin.
4. Hisoblash jarayonida **ANSYS yoki boshqa ilg'or dasturiy komplekslardan foydalanish** tadqiqot natijalarini vizualizatsiya qilish va tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot ChEUNing ikki o'lchovli elastik jismlarni modellashtirish va tahlil qilishdagi afzalliklarini amaliy jihatdan tasdiqlaydi hamda kelajakdagi ilmiy va amaliy ishlar uchun asos yaratadi. Tadqiqot natijalari nafaqat konstruktorlik va dizayn jarayonida, balki mexanik xatoliklarni oldini olish va materiallardan samarali foydalanish masalalarida ham qo'llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Timoshenko, S., & Goodier, J. N. (1970). *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill.
2. Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2005). *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. Butterworth-Heinemann.
3. Sadd, M. H. (2009). *Elasticity: Theory, Applications, and Numerics*. Academic Press.
4. Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons.

5. . Fayziyev, M.A. Abdullayev, Sh.A. (2018). “Chekli elementlar usuli yordamida elastiklik masalalarining yechimi”, *Injenerlik fanlari jurnali*, 12(3), 45-53. Elastik jismlarda kuchlanish va deformatsiya tahlili.
6. Reddy, J. N. (2014). *An Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill Education.
7. ANSYS, Inc. (2020). *ANSYS Mechanical User’s Guide*. ANSYS Documentation.
8. Hughes, T. J. R. (2000). *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Dover Publications.
9. Fayziev M. A. Methods of teaching the" operators" section in the teaching of pascal programming language on the basis of a logical scheme of concepts //Journal Of Critical Review. JCR. – 2020. – T. 7. – №. 6. – C. 2056-2060.
10. Shadiev R. et al. Improving Student Learning Satisfaction in Lectures in English as a Medium of Instruction with Speech-Enabled Language Translation Application //International Conference on Innovative Technologies and Learning. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – C. 576-581.
11. FAYZIYEV M. PASKAL DASTURLASH TILIDAGI “OPERATORLAR” BO‘LIMINI TUSHUNCHALARNING MANTIQUIY SXEMASI ASOSIDA O‘QITISH METODIKASI //«ACTA NUUZ». – 2024. – T. 1. – №. 1.7. 1. – C. 195-198.
12. Shadiev R. et al. Comparing effects of STR versus SELT on cognitive load //2019 Twelfth International Conference on Ubi-Media Computing (Ubi-Media). – IEEE, 2019. – C. 284-287.
13. Shadiev R., Shadiev N., Fayziev M. Exploring influence of cultural constructs and social network on cross-cultural learning //International Conference on Innovative Technologies and Learning. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – C. 345-350.