IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 24. Issue 01. Oktabr, 2026

KIMYO TEXNOLOGIYASI TA'LIMIDA "POLIMERLARNING ERUVCHANLIGI VA BO'KISH DARAJASINI ANIQLASH" MAVZUSINI O'QITISHDA INFORMATSION TEXNOLOGIYALARDAN FOYDALANISH METODIKASI

Abdurahmanova R.A.
Asqarova O.K.
Namangan davlat texnika universiteti
oydinasqarova90@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.23244792

Annotatsiya. Ushbu maqolada kimyo texnologiyasi yo'nalishi talabalariga "Polimerlarning eruvchanligi va bo'kish darajasini aniqlash" mavzusini o'qitishda informatsion texnologiyalardan foydalanishning metodik imkoniyatlari tahlil qilingan. Polimerlarning erituvchilar bilan o'zaro ta'siri, chekli va cheksiz bo'kish, bo'kish kinetikasi hamda bo'kish darajasini hisoblashning nazariy asoslari yoritilgan. Mavzuni o'qitishda elektron taqdimot, animatsion model, virtual laboratoriya, elektron jadval, grafik vizualizatsiya va raqamli nazorat vositalaridan kompleks foydalanishga asoslangan metodik model taklif etilgan. Mazkur yondashuvda informatsion texnologiyalar real laboratoriya tajribasini almashtiruvchi vosita sifatida emas, balki tajribaga tayyorlash, kuzatilayotgan hodisaning molekulyar mohiyatini tushuntirish, eksperimental ma'lumotlarni qayta ishlash va talabaning mustaqil tahlil qilish faoliyatini tashkil etuvchi didaktik vosita sifatida qaraladi.

Kalit so'zlar: polimer, eruvchanlik, bo'kish, bo'kish darajasi, kimyo texnologiyasi, informatsion texnologiya, virtual laboratoriya, elektron jadval, vizualizatsiya, laboratoriya mashg'uloti.

Kirish

Oliy ta'limda kimyo texnologiyasi fanlarini o'qitish faqat tayyor nazariy ma'lumotlarni o'zlashtirish bilan chegaralanmaydi. Talaba moddaning tuzilishi, uning xossalari va kuzatilayotgan texnologik jarayon o'rtasidagi sababiy bog'lanishni tushunishi, tajriba natijalarini mustaqil tahlil qilishi va olingan ma'lumot asosida ilmiy xulosa chiqara olishi lozim. Ayniqsa, yuqori molekulyar birikmalar bilan bog'liq mavzularda bu talab alohida ahamiyat kasb etadi. Chunki polimerlarda sodir bo'ladigan ko'plab jarayonlar tashqi kuzatish darajasida oddiy ko'rinsa-da, ularning molekulyar mexanizmi ancha murakkab. "Polimerlarning eruvchanligi va bo'kish darajasini aniqlash" mavzusi shunday mavzulardan biridir. Talaba tajribada polimer massasining yoki hajmining ortishini kuzatadi, biroq bu o'zgarish ortida erituvchi molekulalarining makromolekulalar oralig'iga diffuziyalanishi, zanjirlararo masofaning o'zgarishi, polimer-erituvchi o'zaro ta'siri va fazaviy muvozanat kabi hodisalar mavjud. Polimerning erishi oddiy quyi molekulyar moddalar erishidan farq qilib, ko'p hollarda dastlab bo'kish bosqichi orqali amalga oshadi. Askarov, Rafikov va Abdusamatova polimer eritmalarining ushbu o'ziga xosligini ta'kidlab, bo'kishni erishdan oldin yuz beruvchi kinetik jarayon sifatida tavsiflaydilar [1, 205-208-b.].Mazkur mavzuni faqat og'zaki tushuntirish yoki statik chizma bilan yoritish talabaning jarayon mohiyatini to'liq tasavvur qilishi uchun har doim

ham yetarli bo‘lmaydi. Informatsion texnologiyalar esa molekulyar darajada sodir bo‘ladigan jarayonlarni vizuallashtirish, eksperimental ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash, vaqtga bog‘liq o‘zgarishlarni grafik ko‘rinishda ifodalash va talabani mustaqil tahlilga jalb qilish imkonini beradi. Shu sababli kimyo texnologiyasi ta’limida informatsion texnologiyalardan foydalanish masalasi faqat taqdimot namoyish etish bilan emas, balki butun o‘quv faoliyatini ilmiy asosda tashkil qilish bilan bog‘liq bo‘lishi kerak.

Tadqiqotning maqsadi va metodlari

Tadqiqotning maqsadi “Polimerlarning eruvchanligi va bo‘kish darajasini aniqlash” mavzusini o‘qitishda informatsion texnologiyalardan foydalanishning didaktik imkoniyatlarini aniqlash hamda nazariya, laboratoriya tajribasi va raqamli ma’lumotlarni qayta ishlashni o‘zaro bog‘lovchi metodik modelni ishlab chiqishdan iborat.Maqolani tayyorlashda ilmiy va o‘quv-uslubiy adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil, pedagogik modellashtirish, kimyoviy jarayonlarning mazmuniy tahlili hamda laboratoriya mashg‘ulotining didaktik tuzilishini loyihalash metodlaridan foydalanildi. Taklif qilinayotgan yondashuv tajriba-sinov natijalariga oid sun’iy raqamlarni keltirishga emas, balki mavzuni o‘qitish uchun ilmiy asoslangan metodik tizimni shakllantirishga qaratildi.

Polimerlarning eruvchanligi va bo‘kish jarayonining nazariy asoslari

Polimerlarning erituvchi bilan o‘zaro ta’siri quyi molekulyar birikmalardan sezilarli darajada farq qiladi. Bunga, avvalo, makromolekulalarning katta o‘lchami, zanjir tuzilishi, molekulyar massa, molekulalararo bog‘lanish va polimer strukturasining amorf yoki kristallik darajasi sabab bo‘ladi. Erituvchi polimer bilan kontaktda bo‘lganda dastlab uning kichik molekulalari makromolekulalar orasidagi bo‘shliqlarga kiradi. Natijada polimer namunasining massasi va hajmi ortib, bo‘kish hodisasi kuzatiladi [1, 205-206-b.]. Jarayon davom etishiga qarab bo‘kish **chekli** yoki **cheksiz** bo‘lishi mumkin. Cheksiz bo‘kishda makromolekulalar orasidagi masofa tobora ortib, natijada polimer eritmaga o‘tadi. Chekli bo‘kishda esa polimer ma’lum miqdordagi erituvchini yutgach, sistema muvozanat holatiga keladi va polimer to‘liq erimaydi. Fazoviy to‘r hosil qilgan, ya’ni makromolekulalari ko‘ndalang bog‘lar orqali birikkan polimerlarda aynan chekli bo‘kish hodisasi ko‘proq uchraydi [1, 206-b.]. Bo‘kish jarayonini miqdoriy tavsiflash uchun polimerning boshlang‘ich va bo‘kkandan keyingi massasi yoki hajmi taqqoslanadi. Massaga nisbatan bo‘kish darajasi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\mathbf{Qm = (m_t - m_0) / m_0 \times 100\ \%}$$

bu yerda $\mathbf{m_0}$-polimer namunasining boshlang‘ich massasi, $\mathbf{m_t}$-ma’lum vaqt davomida erituvchi bilan kontaktdan keyingi massasi. Hajmga nisbatan bo‘kish darajasi esa:

$$\mathbf{Qv = (V_t - V_0) / V_0 \times 100\ \%}$$

ko‘rinishida ifodalanadi. Bo‘kish darajasini vaqt bo‘yicha kuzatish $\mathbf{Q = f(t)}$ bog‘lanishini olish imkonini beradi. Bunday bog‘lanish talaba uchun faqat yakuniy natijani emas, balki jarayon kinetikasini ham tahlil qilish imkonini yaratadi. Askarov va hammualliflar bo‘kish kinetikasini ma’lum vaqt oralig‘ida namuna massasi yoki hajmidagi o‘zgarishni o‘lchash orqali kuzatish mumkinligini ko‘rsatadilar [1, 206-207-b.]. Bo‘kish darajasiga polimerning molekulyar

massasi, makromolekula tuzilishi, zanjirlararo bog‘lar, erituvchining polimerga termodinamik moyilligi, temperatura va kontakt davomiyligi ta’sir qiladi. Shu bois laboratoriya mashg‘ulotida talaba faqat formuladan foydalanib sonli natija topishi emas, balki nima sababdan turli polimer namunalari bir xil sharoitda turlicha bo‘kishini ham izohlay olishi kerak.

Informatsion texnologiyalarning mavzuni o‘qitishdagi didaktik imkoniyatlari

Kimyo fanini o‘qitishda kompyuter va axborot texnologiyalarini qo‘llash nazariy tushunchalarni tizimlashtirish, mustaqil bilim olishni tashkil qilish hamda o‘quvchining tahliliy fikrlashini rivojlantirish imkoniyatini kengaytiradi. Sultonov, Julboyev, Xolboyev, Bakaxonov va Babayev kimyo ta’limida elektron axborot resurslari, virtual laboratoriyalar, interaktiv materiallar va kompyuter dasturlaridan foydalanishni alohida ko‘rsatib o‘tadilar [2, 141-145-b.].Mazkur mavzuda informatsion texnologiyani qo‘llashning birinchi vazifasi-**ko‘rinmaydigan jarayonni ko‘rinadigan holga keltirish**. Real tajribada talaba polimer namunasining kattalashayotganini kuzatadi. Animatsion modelda esa erituvchi molekulalarining polimer strukturasiga kirishi, makromolekulalar orasidagi masofaning ortishi va zanjirlarning asta-sekin ajralishi tasvirlanishi mumkin. Natijada tashqi kuzatish va molekulyar mexanizm o‘rtasida mazmuniy bog‘lanish hosil bo‘ladi.

Ikkinchi vazifa-laboratoriya mashg‘ulotidan oldingi tayyorgarlikni tashkil qilish. Talabaga tajribadan oldin qisqa elektron material, jarayon sxemasi va nazorat savollari taqdim etilishi mumkin. Virtual model orqali u tajribaning mantiqiy ketma-ketligi va o‘lchanadigan kattaliklarning ma’nosini oldindan tushunib oladi. Bunday yondashuv real laboratoriyada vaqtning asosiy qismini yo‘riqnoma o‘qishga emas, kuzatish va tahlilga yo‘naltirish imkonini beradi. Virtual laboratoriyalar real kimyoviy eksperimentni butunlay almashtirishi kerak, degan xulosa to‘g‘ri emas. Ularning eng samarali vazifasi-real tajribaga tayyorlash, murakkab yoki ko‘z bilan bevosita kuzatib bo‘lmaydigan jarayonni modellashtirish va tajribadan keyingi tahlilni chuqurlashtirishdir. Sultonov va hammualliflar virtual laboratoriyaning takroriy tajriba, vizualizatsiya va jarayon mexanizmini tushuntirishdagi imkoniyatlarini qayd etadilar [2, 141-145-b.]. Xalqaro tadqiqotlarda ham kompyuter simulyatsiyalari an’anaviy ta’limni, ayniqsa laboratoriya faoliyatini pedagogik ssenariy bilan uyg‘unlashtirilganda kuchaytirishi ko‘rsatilgan [6, 136-153-b.].

Laboratoriya ma’lumotlarini raqamli qayta ishlash

Mazkur mavzuda informatsion texnologiyalarning eng amaliy jihatlaridan biri tajriba natijalarini elektron jadval yordamida qayta ishlashdir. Elektron jadval dasturlari ma’lumotlarni tartibga solish, formulalar asosida avtomatik hisoblash, natijalarni grafik ko‘rinishda tasvirlash va tendensiyalarni aniqlash imkonini beradi [2, 38-40-b.]. Masalan, talaba vaqt qiymatlarini bir ustunga, polimer namunasining tegishli vaqtdagi massasini ikkinchi ustunga kiritadi. Keyingi ustunda yuqoridagi formula orqali bo‘kish darajasi avtomatik hisoblanadi. So‘ngra **Q = f(t)** grafigi quriladi. Bunda talaba formulani bir necha marta qo‘lda hisoblashga ketadigan vaqtni qisqartirib, asosiy e’tiborini grafikning shakli va fizik-kimyoviy mazmuniga qaratadi. Grafik bilan ishlash jarayonida talaba “bo‘kishning qaysi vaqt oralig‘ida tezligi yuqori bo‘lgan?”, “qaysi vaqtdan boshlab jarayon sekinlashgan?”, “muvozanat holatiga yaqinlashish qaysi sohada ko‘rinmoqda?” kabi savollarga tajriba ma’lumotlari asosida javob izlaydi. Bu esa laboratoriya

ishini faqat “o‘lchash-hisoblash-hisobot yozish” ketma-ketligidan chiqarib, kichik ilmiy tadqiqot ko‘rinishiga olib keladi. Vaxobov va Abdullayev axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan didaktik jihatdan asoslangan holda foydalanish ta’limni individuallashtirish, mustaqil ish samaradorligini oshirish, axborot bilan ishlash va tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytirishini ko‘rsatadilar [3, 169-172-b.].

Taklif etilayotgan metodik model

“Polimerlarning eruvchanligi va bo‘kish darajasini aniqlash” mavzusini informatsion texnologiyalar asosida o‘qitishni bir-biridan ajralgan raqamli vositalar yig‘indisi sifatida emas, balki yagona didaktik jarayon sifatida tashkil etish maqsadga muvofiq.

Mashg‘ulot bosqichi	**Informatsion vosita**	**Talabaning asosiy faoliyati**	**Kutiladigan didaktik natija**
Dastlabki diagnostika	Elektron qisqa test	Avvalgi bilimlarni faollashtirish	Polimer eritmalari bo‘yicha tayanch bilimlar aniqlanadi
Nazariy tushuntirish	Taqdimot, animatsion model	Makromolekula-erituvchi o‘zaro ta’sirini tahlil qilish	Bo‘kishning molekulyar mohiyati tushuniladi
Tajribaga tayyorgarlik	Virtual model yoki videomaterial	Jarayon bosqichlarini oldindan o‘rganish	Amaliy ish algoritmi ongli ravishda o‘zlashtiriladi
Real kuzatish	Raqamli vaqt qaydi va natijalar jadvali	Belgilangan kattaliklarni kuzatish va qayd etish	Eksperimental ma’lumot bilan ishlash ko‘nikmasi shakllanadi
Hisoblash	Elektron jadval	**Qm** yoki **Qv** ni hisoblash	Hisoblash xatolari kamayadi, vaqt tejaladi
Tahlil	Grafik va diagramma	**Q=f(t)** bog‘lanishini sharhlash	Jarayon kinetikasi bo‘yicha ilmiy xulosa chiqariladi
Mustahkamlash	Interaktiv topshiriq	Chekli va cheksiz bo‘kish holatlarini taqqoslash	Nazariya va tajriba o‘rtasidagi bog‘lanish mustahkamlanadi
Yakuniy nazorat	Elektron test va qisqa refleksiya	Natijani izohlash, xulosa chiqarish	Bilim va amaliy ko‘nikma baholanadi

Metodikaning muhim tomoni shundaki, raqamli vosita har bir bosqichda bir xil vazifani bajarmaydi. Dars boshida u diagnostika vositasi, tushuntirish jarayonida vizual model, laboratoriya ishida ma’lumotlarni qayd qilish va qayta ishlash vositasi, mashg‘ulot yakunida esa nazorat va refleksiya vositasi vazifasini bajaradi. Kimyo darslarida AKT va virtual laboratoriyalardan foydalanishga bag‘ishlangan mahalliy metodik tadqiqotlarda ham raqamli vositalar amaliy ishlarni ko‘rgazmali va tushunarli tashkil qilish imkonini berishi ta’kidlanadi [4, 72-74-b.]. Organik va analitik kimyo fanlarini o‘qitishga oid yangi tadqiqotlarda esa AKT, interaktiv metodlar va raqamli ta’lim vositalarini fan mazmuni bilan integratsiya qilish zarurligi qayd etilgan [5, 1257-1259-b.].

Informatsion texnologiyalar asosidagi mashg‘ulotning metodik xususiyatlari

Taklif qilinayotgan metodikada o‘qituvchi asosiy axborotni yetkazuvchi yagona subyekt bo‘lib qolmaydi. Uning vazifasi talabaning eksperimental va raqamli faoliyatini boshqarish, muammoli savollar qo‘yish va olingan natijaning fizik-kimyoviy ma’nosini ochishga yo‘naltirishdan iborat bo‘ladi. Talaba esa ma’lumotni tayyor shaklda qabul qilish o‘rniga, kuzatadi, hisoblaydi, grafik tuzadi, boshqa natijalar bilan taqqoslaydi va xulosa chiqaradi. Masalan, ikki xil polimer namunasining bo‘kish kinetikasi taqqoslangan holatda talaba faqat qaysi namunada bo‘kish darajasi kattaligini aniqlab qolmasdan, farqni makromolekulyar tuzilish nuqtai nazaridan izohlashi talab qilinadi. Bunda elektron jadval va grafik natijani ko‘rsatadi, ammo ilmiy izohni dastur emas, talabaning o‘zi shakllantiradi. Informatsion texnologiyaning haqiqiy pedagogik qiymati ham shunda namoyon bo‘ladi. Shuningdek, mavzuni o‘qitishda raqamli materiallarni ortiqcha ko‘paytirish maqsadga muvofiq emas. Har bir animatsiya, diagramma yoki elektron topshiriq ma’lum didaktik vazifani bajarishi kerak. Aks holda dars mazmuni texnologik vositalarning tashqi ko‘rinishi ostida qolib ketishi mumkin. Kompyuter simulyatsiyalarining samarasi ham ularning shunchaki mavjudligiga emas, balki dars ssenariysi, o‘qituvchi yordami va o‘rganilayotgan mavzu bilan qanday integratsiya qilinganiga bog‘liq [6, 136-153-b.].

Baholash mezonlarini raqamlashtirish

Mazkur mavzuda talabaning bilimini faqat yakuniy hisoblangan bo‘kish darajasi asosida baholash yetarli emas. Baholashda nazariy tushuncha, eksperimental ma’lumotni to‘g‘ri qayd qilish, formula bilan ishlash, grafikni qurish va uning fizik ma’nosini tushuntirish birgalikda hisobga olinishi kerak. Elektron nazorat tizimida savollarni uch darajada tashkil qilish mumkin. Birinchi darajada polimer eruvchanligi, chekli va cheksiz bo‘kish tushunchalari aniqlanadi. Ikkinchi darajada formula va tajriba ma’lumotlari asosida hisoblash topshiriqlari bajariladi. Yuqori darajada esa talabaga tayyor grafik berilib, undagi jarayonni tahlil qilish, turli egri chiziqlarni taqqoslash yoki kuzatilgan farq sababini izohlash vazifasi qo‘yiladi. Bunday yondashuv oddiy reproduktiv xotirani emas, talabaning tahliliy fikrlashini baholashga imkon beradi.

Muhokama

Polimerlarning eruvchanligi va bo‘kish darajasini aniqlash mavzusi nazariya, laboratoriya tajribasi va matematik hisoblashning birlashgan nuqtasida joylashgan. Shu sababli u informatsion texnologiyalardan foydalanish uchun qulay pedagogik obyekt hisoblanadi. Jarayonni animatsiya orqali tushuntirish molekulyar mexanizmni anglashga xizmat qilsa, real kuzatish eksperimental ko‘nikmani shakllantiradi. Elektron jadval natijalarni tartibga soladi, grafik esa o‘zgarishning umumiy qonuniyatini ko‘rsatadi. Biroq bu komponentlarning birortasi alohida holda to‘liq o‘quv natijasini bermaydi. Faqat virtual model bilan cheklanilsa, talabada real tajriba ko‘nikmasi yetarli shakllanmaydi. Faqat real tajriba bilan chegaralanilganda esa molekulyar darajadagi jarayonni tushunish va katta hajmdagi natijalarni tahlil qilish qiyinlashishi mumkin. Shuning uchun eng maqbul variant-**nazariy tushuntirish + raqamli vizualizatsiya + real kuzatish + elektron hisoblash + ilmiy tahlil** ketma-ketligidir.Bunday integratsiya kimyo texnologiyasi ta’limining amaliy yo‘nalishiga ham mos keladi. Zamonaviy kimyo va polimer

ishlab chiqarish korxonalarida texnologik parametrlarni raqamli qayd etish, ma’lumotlarni grafik tahlil qilish va jarayon natijalarini kompyuter dasturlari asosida qayta ishlash keng qo‘llaniladi. Demak, laboratoriya mashg‘ulotida raqamli ma’lumotlar bilan ishlash ko‘nikmasining shakllantirilishi nafaqat mazkur mavzuni o‘zlashtirish, balki bo‘lajak mutaxassisning kasbiy tayyorgarligi nuqtai nazaridan ham ahamiyatlidir.

Xulosa

“Polimerlarning eruvchanligi va bo‘kish darajasini aniqlash” mavzusini o‘qitishda informatsion texnologiyalardan foydalanish nazariy bilim, eksperimental kuzatish va raqamli tahlilni yagona o‘quv jarayoniga birlashtirish imkonini beradi. Polimerning bo‘kishini animatsion yoki virtual model yordamida molekulyar darajada ko‘rsatish talabaning jarayon haqidagi tasavvurini aniqlashtiradi. Real laboratoriya kuzatuvi esa bu bilimni amaliy tajriba bilan mustahkamlaydi.Eksperimental natijalarni elektron jadvalda qayta ishlash, bo‘kish darajasini avtomatik hisoblash va **Q=f(t)** bog‘lanishini grafik ko‘rinishda tahlil qilish talabani oddiy hisob-kitobdan ilmiy mushohadaga olib o‘tadi. Shuningdek, elektron testlar va raqamli topshiriqlar orqali dastlabki, joriy va yakuniy baholashni tashkil etish imkoniyati yaratiladi.Shu asosda informatsion texnologiyalarni ushbu mavzuda qo‘llashning metodik samaradorligi texnik vositaning mavjudligi bilan emas, balki uning o‘quv maqsadiga mos tanlanishi bilan belgilanadi. Raqamli texnologiya real tajribani almashtirmasdan, uning mazmunini chuqurlashtirishi, talabaning kuzatish, hisoblash, taqqoslash va ilmiy xulosa chiqarish faoliyatini kuchaytirishi lozim. Ana shunday yondashuv kimyo texnologiyasi ta’limida nazariy bilimlarni amaliy va raqamli kompetensiyalar bilan uyg‘unlashtirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Askarov M.A., Rafikov A.S., Abdusamatova D.O. Polimerlar fizikasi va kimyosi: darslik.-Toshkent: Excellent Polygraphy, 2020.-293 b. ISBN 978-9943-6248-1-8. Mavzuga oid foydalanilgan sahifalar: 205-208, 240-b.
2. Sultonov M.M., Julboyev T.A., Xolboyev O.N., Bakaxonov A.A., Babayev B.N. Axborot texnologiyalarini kasbiy faoliyatda qo‘llash: o‘quv qo‘llanma.-Jizzax: Ilm nuri print, 2024.-188 b. ISBN 978-9910-796-64-7. Foydalanilgan sahifalar: 38-40, 141-145-b.
3. Vaxobov D.I., Abdullayev N.X. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari o‘quv jarayonini samaradorligini oshirish omili // “Sifatli ta’lim-inson kapitalini rivojlantirishning muhim omili” xalqaro onlayn ilmiy-amaliy konferensiya materiallari.-Namangan: Usmon Nosir media, 2023.-169-172-b. ISBN 978-9910-743-57-3.
4. Baxirdinova Y. Kimyo fanini o‘qitishda amaliy ishlarni o‘tkazishda axborot kommunikatsiya texnologiyalardan foydalanish // Scientific-theoretical journal of International Education Research.-2023.-Vol. 1, №3.-72-74-b. DOI: 10.5281/zenodo.8434465.
5. Palvanov N.S., Abdullayeva X.D., Tillayeva A.F., Karimova O.R. Organik kimyoni o‘qitishda yangi pedagogik texnologiyalardan foydalanish // Multidisciplinary Journal of Science and Technology.-2025.-Vol. 5, №6.-1257-1259-b. DOI: 10.5281/zenodo.15692337.
6. Rutten N.P.G., van Joolingen W.R., van der Veen J.T. The learning effects of computer simulations in science education // Computers & Education.-2012.-Vol. 58, №1.-P. 136-153. DOI: 10.1016/j.compedu.2011.07.017.