TEMIR OKSIDLI PIGMENT OLISHNING ZAMONAVIY USULLARINI O‘RGANISH VA TAHLIL QILISH.

Askarova Nilufar Musurmanovna
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. PhD, dotsent
Olmaliq sh., O‘zbekiston
E-mail: askarovanilufar435@gmail.com
Axmedova Nigora Erkin qizi
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali. katta o‘qituvchi
Olmaliq sh., O‘zbekiston.
E-mail: nigora07051991@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada temir oksidli pigmentlarni olishning zamonaviy usullari keltirilgan. Temir oksidlarining barqarorligi, ekologik xavfsizligi hamda keng sanoat tarmoqlarida qo‘llanilishi ularni amaliy jihatdan muhim pigmentlar sirasiga kiritadi. Maqolada tabiiy xomashyo va texnogen chiqindilardan pigment olish texnologiyalari tahlil qilindi, xususan, gidrotermal, termik parchalanish, cho‘ktirish va koagulyatsiya usullarining afzalliklari va kamchiliklari baholandi. Shuningdek, chiqindilarni qayta ishlash asosida temir oksidli pigmentlarni olish istiqbollari o‘rganilib, ekologik va iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan tavsiyalar ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari temir oksidli pigmentlar ishlab chiqarishda resurs tejovchi va barqaror texnologiyalarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Tayanch so‘zlar: temir oksidli pigmentlar, Fe_2O_3, Fe_3O_4, gidrotermal usul, kaltsinatsiya, cho‘ktirish, sol-gel texnologiyasi, texnogen chiqindilar, ekologik texnologiya, sanoat pigmentlari, noorganik bo‘yoqlar

Аннотация. В данной статье представлены современные методы получения железооксидных пигментов. Стабильность, экологическая безопасность оксидов железа и их применение в широких отраслях промышленности делают их практически важными пигментами. В статье проанализированы технологии получения пигментов из природного сырья и техногенных отходов, в частности, оценены преимущества и недостатки гидротермального метода, методов термического разложения, осаждения и коагуляции. Также изучены перспективы получения железооксидных пигментов на основе переработки отходов и разработаны рекомендации с точки зрения экологической и экономической эффективности. Результаты исследования послужат для разработки ресурсосберегающих и устойчивых технологий производства железооксидных пигментов.

Ключевые слова: оксидные пигменты железа, Fe_2O_3, Fe_3O_4, гидротермальный метод, кальцинация, осаждение, технология sol-gel,

ISSN 3030-3907

техногенные отходы, экологически чистая технология, промышленные пигменты, неорганические красители

Abstract. This article presents modern methods for obtaining iron oxide pigments. The stability, environmental safety, and wide industrial applications of iron oxides make them practically important pigments. The article analyzes technologies for producing pigments from natural raw materials and industrial waste, particularly evaluating the advantages and disadvantages of hydrothermal, thermal decomposition, precipitation, and coagulation methods. The prospects for obtaining iron oxide pigments through waste processing were also examined, and recommendations were developed from the perspective of environmental and economic efficiency. The research findings will contribute to the development of resource-saving and sustainable technologies for iron oxide pigment production.

Key words: iron oxide pigments, Fe_2O_3, Fe_3O_4, hydrothermal method, calcination, precipitation, sol-gel technology, industrial waste, eco-friendly technology, industrial pigments, inorganic colorants.

Kirish

Temir oksidli pigmentlar sanoatda keng qo‘llanilib, qurilish materiallari, bo‘yoqlar, plastmassa va boshqa mahsulotlarda rang beruvchi moddalar sifatida ishlatiladi. Temir oksidli pigmentlarni olishda ishlatiladigan asosiy usullar, jumladan, quruq va nam usullar, yuqori texnologik jarayonlar yordamida pigmentlarning sifatini va iqtisodiy samaradorligini oshirishga imkon yaratadi. Maqolada ushbu usullarning o‘ziga xos afzalliklari, kamchiliklari va ekologik jihatlari hamda ularning sanoat sharoitlarida qo‘llanilishi bo‘yicha ilmiy tahlillar keltirilgan. Shuningdek, yangi texnologiyalar va innovatsion yondashuvlar yordamida temir oksidli pigment ishlab chiqarishning samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Ushbu tadqiqot, temir oksidli pigmentlarni ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish va ekologik toza texnologiyalarni joriy etishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Sanoatning tez sur’atlar bilan rivojlanishi va turli sohalarda yangi materiallar talabining ortishi, rang beruvchi moddalarga bo‘lgan ehtiyojni sezilarli darajada oshirgan. Temir oksidli pigmentlar, o‘zining yuqori mustahkamligi, ekologik xavfsizligi va arzonligi bilan sanoat bo‘yoqlari, qurilish materiallari, plastmassa, kosmetika va boshqa ko‘plab mahsulotlarda keng qo‘llaniladi. Ushbu pigmentlar asosiy tarkibiy qismi sifatida temir oksidini o‘z ichiga oladi va rangni yuqori sifatli, uzoq muddatli va atrof-muhitga xavf tug’dirmaydigan tarzda beradi. Shuning uchun temir oksidli pigmentlarni ishlab chiqarish jarayoni ilmiy va sanoat nuqtai nazaridan katta ahamiyatga ega.

ISSN 3030-3907

Hozirgi vaqtda temir oksidli pigmentlarni olishda qo‘llaniladigan bir nechta texnologiyalar mavjud bo‘lib, ularning har biri o‘zining samaradorligi, iqtisodiy jihatlari va ekologik ta’siriga qarab farqlanadi. Temir oksidli pigmentlarni ishlab chiqarishning zamonaviy usullari, ularning afzalliklari va kamchiliklari, shuningdek, ishlab chiqarish jarayonlarining optimallashtirilish masalalari tahlil qilingan. Bu tadqiqotning asosiy maqsadi temir oksidli pigmentlar ishlab chiqarish texnologiyalarining samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan ilg’or yondashuvlarni ko‘rib chiqishdir.

Asosiy qism. Temir oksidli pigmentlar — turli valentsiyadagi temir oksidlari asosida olinadigan noorganik bo‘yoq moddalari bo‘lib, sanoatda eng ko‘p qo‘llaniladigan pigmentlar sirasiga kiradi. Bu pigmentlar yuqori kimyoviy barqarorlik, yaxshi ultrabinafsha nurlarga chidamlilik, termal barqarorlik va ekologik xavfsizlik xususiyatlariga ega. Ular toksik bo‘lmaganligi va rang barqarorligi tufayli, ayniqsa, bo‘yoqchilik, qurilish, keramika, asfalt, qog‘oz, plastmassa va kosmetika sanoatlarida keng qo‘llaniladi.

2023-yilda global temir pigmenti bozori hajmi taxminan 2629,4 million AQSH dollarini tashkil etdi. 2023 yildan 2033 yilgacha temir pigmenti savdosining hajmi 4,1 foiz darajasida o‘sishi taxmin qilinmoqda. 2033-yilga kelib bozor 3929,7 million AQSH dollarini tashkil etishi kutilmoqda. Turli sanoat tarmoqlarida temir oksidlaridan foydalanishni ko‘paytirish baholash davrida ularning sarfini oshiradi. Bundan tashqari, temir oksidi to‘qimachilik, kulolchilik va boshqa sanoat tarmoqlarida tobora ko‘proq ishlatilmoqda, bu esa temir oksidli pigment bozorining o‘sishiga turtki berishi kutilmoqda.

“Temir oksidli pigment bozorining o‘sish ko‘rsatkichlari”

Atributlar (yillar kesimida)	Tafsilotlar
Tarixiy qiymat (2022)	2525,8 mln AQSH dollari
Tarixiy qiymati (2023)	2 629,4 mln AQSH dollari
Kutilayotgan prognoz qiymati (2033)	3 929,7 mln AQSH dollari
Tarixiy YO‘O‘S (2018-yildan 2022-yilgacha)	3,5%
Prognozlangan YO‘O‘S (2023-2033)	4,1%

Temir oksidli pigmentlar iqtisodiy samaradorligi va keng qo‘llanilish imkoniyatlari sababli bugungi kunda ilmiy izlanishlar markazida turibdi. Ayniqsa, chiqindilardan foydalanish asosida pigment olish texnologiyalari ekologik xavfsiz va resurs tejovchi yondashuv sifatida alohida e’tiborni talab qiladi.

ISSN 3030-3907

Temir oksidli pigmentlarni olish uchun qo‘llaniladigan zamonaviy kimyoviy usullar, shu jumladan gidrotermal, koagulyatsiya, kaltsinatsiya, pretsipitatsiya, kimyoviy cho‘ktirish, sol-gel va kon drenaj suvlaridan pigment olish jarayonlari, har birining o‘ziga xos texnologik xususiyatlari, afzalliklari va qo‘llanilish sohalari mavjuddir. Har bir jarayonning texnologik xususiyatlari, afzalliklari va qo‘llanilish sohalari mavjud bo‘lib, bu usullar pigment sifatini yaxshilash, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi.

Gidrotermal usul: temir oksidli pigmentlarni sintez qilishda qo‘llaniladigan zamonaviy, ekologik va yuqori nazoratga ega bo‘lgan texnologik jarayonlardan biridir. Ushbu usulda temirning gidroksid yoki tuz shaklidagi birikmalari suvli muhitda 180–250 °C harorat va 10–50 atm bosim ostida ishlov beriladi. Jarayon maxsus avtoklav reaktorlarda amalga oshiriladi. Asosiy reaksiya temir(III) xlorid ($FeCl_3$), nitrat ($Fe(NO_3)_3$) yoki sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) kabi eruvchan temir tuzlarini gidroksidlar bilan reaksiyaga kirishishi, ularni $Fe(OH)_3$ holatiga aylantirib, keyin gidrotermal sharoitda Fe_2O_3 ga aylanishi orqali kechadi:

$$Fe^{3+}+3OH^-\rightarrow Fe(OH)_3\rightarrow Fe_2O_3\cdot xH_2O\rightarrow Fe_2O_3$$

hosil bo‘lgan gematit kristallari (α-Fe_2O_3) yuqori bir xillik, mikron o‘lchamda zarrachalar va barqaror qizil rangga ega bo‘ladi. Ular bo‘yoqchilikda, qurilishda va keramika sanoatida pigment sifatida juda samarali qo‘llaniladi. **Gidrotermal usul** yuqori sifatli Fe_2O_3 pigment olish imkonini beradi, ekologik xavfsiz, ammo energiya sarfi yuqori, uskunalar murakkab va jarayon sekin kechadi. Nanozarrachali pigmentlar olish uchun maqbul yondashuvdir.

Koagulyatsiya usuli: Koagulyatsiya usulida temir oksidli pigmentlar temir tuzlarining kislorodli muhitda oksidlanishi orqali hosil bo‘ladi. Bu jarayon pigmentlarning nozik zarrachalar sifatida to‘planishiga olib keladi. Koagulyatsiya usuli, o‘zining kam energiya sarfi va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi. Pigmentlarning yuqori dispersiyasi va rang sifatini boshqarish uchun usul samarali ishlatiladi.

Dastlab temir ionlari ishqor (masalan, NaOH yoki NH_4OH) ishtirokida gidrolizga uchratiladi:

$$Fe^{3+}+3OH^-\rightarrow Fe(OH)_3\downarrow$$

Hosil bo‘lgan $Fe(OH)_3$ cho‘kmasi kislorodli muhitda qizdirilishi yoki vaqt davomida oksidlanishi natijasida α-Fe_2O_3 (gematit) shaklida temir oksidli pigment hosil qiladi:

$$2Fe(OH)_3\rightarrow \Delta Fe_2O_3+3H_2O$$

Ushbu pigmentlar odatda mikrozarrachalar (100–500 nm) shaklida hosil bo‘lib, ularning dispersiya darajasi yuqori va rangi barqaror bo‘ladi. Jarayon sodda

ISSN 3030-3907

texnologik bosqichlarga ega va past harorat (60–100 °C) sharoitida ham samarali kechadi.

Koagulyatsiya usuli kam energiya sarfi bilan sodda texnologiyada temir oksidli pigmentlar olish imkonini beradi. Cho‘kma dispersiyasi yuqori, ammo pigment sifati uchun doimiy nazorat zarur.

Kaltsinatsiya usuli: Kaltsinatsiya usuli temir oksidli pigmentlar ishlab chiqarishda eng sodda, iqtisodiy jihatdan qulay va sanoat miqyosida keng qo‘llaniladigan usullardan biridir. Bu texnologiyada temirning rudalari (masalan, magnetit, siderit) yoki temirning eruvchan tuzlari ($Fe(OH)_3$, $Fe(NO_3)_3$, FeC_2O_4) yuqori haroratda 800–1000 °C oralig‘ida qizdiriladi. Bu jarayon natijasida suvsizlanish va oksidlanish reaksiyalari sodir bo‘ladi hamda temirning oksidlangan shakllari — Fe_2O_3 yoki Fe_3O_4 pigmentlari hosil bo‘ladi.

Kaltsinatsiya jarayoni tezkor va yuqori mahsuldorlikka ega bo‘lib, oddiy pechlar, doimiy haroratli kameralar yoki konveyerli qurilmalarda olib boriladi. Jarayon davomida pigmentning rangi va zarracha o‘lchami harorat va vaqt bilan boshqariladi. Odatda, 900 °C atrofidagi haroratda hosil bo‘lgan Fe_2O_3 pigmenti intensiv qizil rangga ega bo‘ladi va bo‘yoq sanoatida yuqori baholanadi. Kaltsinatsiya usuli yuqori sifatli pigmentlar ishlab chiqarishda samarali bo‘lib, oddiy va arzon. Biroq, yuqori harorat talab etadi, energiya sarfi katta va rang sifati harorat nazoratiga bog‘liq.

Pretsipitatsiya usuli: Pretsipitatsiya (lotincha *praecipitare* — “cho‘ktirish”) usuli temir oksidli pigmentlarni olishning an’anaviy va samarali texnologiyalaridan biri hisoblanadi. Bu usulda **Fe^{3+} ionlari** ishqorli muhitda, odatda **NaOH, NH_4OH** yoki **$Ca(OH)_2$** kabi gidroksidlar yordamida cho‘ktiriladi. Jarayon natijasida temir gidroksidi ($Fe(OH)_3$) hosil bo‘ladi, u keyinchalik quritish va kaltsinatsiya bosqichlaridan o‘tib **Fe_2O_3** pigmentiga aylanadi. Ushbu usulda kristallik darajasi yuqori, disperslangan va barqaror rangga ega pigmentlar olishga imkon yaratadi. Jarayon suvli eritmada olib borilishi sababli, zarrachalar bir tekis tarqaladi va pigmentning optik xossalari yaxshilanadi. Shuningdek, reaktivlarning toza bo‘lishi pigment sifatining yuqoriligini ta’minlaydi.

Pretsipitatsiya usuli pigmentlar dispersiyasini oshiradi, rang sifatini yaxshilaydi va ekologik xavfsizdir. Jarayon oddiy va samarali bo‘lsa-da, reaktivlar sarfi yuqori bo‘lishi va kaltsinatsiya sifatga ta’sir qilishi mumkin.

Sol-Gel jarayoni: Sol-gel texnologiyasi temir oksidli pigmentlarni molekulyar darajada shakllantirish imkonini beruvchi zamonaviy sintez usullaridan biridir. Ushbu usul suyuq fazadagi kimyoviy prekursordan (odatda metall alkoksidlari yoki temir tuzlari) gel holatiga o‘tish orqali pigment zarrachalarini hosil qilishga asoslanadi. Jarayon juda yuqori darajada nazorat

ISSN 3030-3907

qilinadi, bu esa nano- yoki mikrozarrachali pigmentlar olish imkonini yaratadi. Jarayon odatda uch bosqichdan iborat:

1. Gidroksilanish va gidroliz — Fe^{3+} ionlari ishqor bilan reaksiyaga kirishib, sol holatga o‘tadi;
2. Gelatsiya (gel hosil qilish) — zarralar bir-biri bilan bog‘lanib, uch o‘lchamli tarmoq hosil qiladi;
3. Quritish va kaltsinatsiya — jel quritiladi va issiqlik bilan ishlov berilib, temir oksidi pigment hosil qilinadi.

Kimyoviy reaksiyalar quyidagicha:

$$Fe(NO_3)_3+H_2O+OH^-\rightarrow Fe(OH)_3\rightarrow gel\rightarrow Fe_2O_3$$

Ushbu usul yuqori sifatli, nanozarrachali pigmentlar olish imkonini beradi. Dispersiyasi mukammal, ammo texnologik jihatdan murakkab va qimmat usul bo‘lib, sanoat darajasida qo‘llanishi cheklangan.

Kimyoviy cho‘ktirish usuli: Temir oksidli pigmentlarni olishda keng qo‘llaniladigan, samarali va iqtisodiy jihatdan foydali jarayonlardan biridir. Bu jarayon, asosan, temir tuzlarining oksidlovchi moddalar bilan reaksiyaga kirishishi orqali temir oksidlarini (Fe_2O_3, Fe_3O_4 va boshqa oksidlar) hosil qilishni ta’minlaydi. Kimyoviy cho‘ktirish jarayonida temir tuzlari, masalan, temir(III) xlorid ($FeCl_3$) yoki temir(II) sulfat ($FeSO_4$) eritmasiga, ko‘pincha kislorod yoki boshqa oksidlovchi modda qo‘shiladi. Bu kimyoviy reaksiya natijasida temir oksidi hosil bo‘ladi, u pigment sifatida ishlatiladi.

Reaksiyalar quyidagicha amalga oshadi:

$$Fe^{2+}+2OH^-\rightarrow Fe(OH)_2\downarrow$$

$$4Fe(OH)_2+O_2+2H_2O\rightarrow 4Fe(OH)_3\rightarrow 2Fe_2O_3+3H_2O$$

Yoki bevosita temir(III) tuzlaridan:

$$Fe^{3+}+3OH^-\rightarrow Fe(OH)_3\downarrow\rightarrow Fe_2O_3+H2O$$

7. Kon drenaj suvlaridan pigment olish usuli. Tabiiy foydali qazilmalarni qazib olish jarayonida katta hajmdagi drenaj suvlari hosil bo‘ladi. Ushbu suvlar tarkibida, ayniqsa, ko‘mir, mis va polimetall konlarida, temirning ikki valentli ionlari (Fe^{2+}) sezilarli miqdorda uchraydi. Bunday suvlar kon hududida gidrogeokimyoviy jarayonlar natijasida shakllanadi va ekologik muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu bois, drenaj suvlardan foydalanib, temir oksidli pigmentlar olish nafaqat atrof-muhitni muhofaza qilishga, balki iqtisodiy jihatdan foydali mahsulot ishlab chiqarishga xizmat qiladi. Drenaj suvlardan pigment olishda temir ionlari avvalo kislorod ishtirokida oksidlanadi ($Fe^{2+}\rightarrow Fe^{3+}$), so‘ng gidroliz jarayoni orqali temir gidroksidi ($Fe(OH)_3$) shakllanadi. Hosil bo‘lgan gidroksid

ISSN 3030-3907

keyinchalik quritilib, 600–800°C haroratda kaltsinatsiya qilinadi, natijada yuqori sifatli temir oksidi (Fe_2O_3) pigmenti olinadi. Ushbu jarayon kimyoviy cho‘ktirish va oksidlanish asosida amalga oshadi. Temir oksidli pigmentlar o‘zining inertligi, yorqin rangi, ultrabinafsha nurlariga va ob-havo sharoitlariga chidamliligi bilan qurilish, bo‘yoqsozlik, keramika va plastmassa sanoatlarida keng qo‘llaniladi. Kon drenaj suvidan pigment olish texnologiyasi arzon, ekologik xavfsiz va qayta tiklanuvchi resurslardan samarali foydalanishga asoslangan bo‘lib, barqaror sanoat ishlab chiqarish uchun istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Xulosa.

Temir oksidli pigmentlarni olish bo‘yicha olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, har bir texnologik usulning o‘ziga xos afzallik va cheklovlari mavjud bo‘lib, tanlov ishlab chiqarish sharoiti, talab etilayotgan pigment sifati hamda ekologik va iqtisodiy mezonlarga asoslanadi. Gidrotermal va sol-gel usullari nanozarrachali, yuqori sifatli pigmentlar olishga imkon bersa, cho‘ktirish va pretsipitatsiya kabi usullar oddiy texnologiyasi va arzon reaktivlar bilan ajralib turadi. Kaltsinatsiya sanoatda keng qo‘llaniladigan, barqaror pigmentlar beruvchi samarali yo‘l bo‘lsa, kimyoviy cho‘ktirish usuli esa o‘zining texnologik moslashuvchanligi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, chiqindilar asosida pigment olish istiqbollari ekologik xavfsizlikni ta’minlab, qayta ishlash texnologiyalarining barqarorligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Samadov A., Askarova N., Toshkodirova R. Akhmedova N., Boltayev O., Mirzayev K. Processing of waste (tails) after flotation of copper production slag to obtain iron oxide pigment. E3S Web of Conferences 524, 0 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452402014 APEC-VII-2024.

2. Axmedova N.E., O‘razaliyev Sh.B. “Mineral xomashyolar va texnogen chiqindilarni samarali qayta ishlashning muammolari, istiqbollari va innovatsion yondashuvlar” “Olmaliq KMK” AJ ning 75 yilligiga bag_ishlangan) mavzusidagi respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari to‘plami. Olmaliq shahri, 2024-yil 15-16-may. 156-159 betlar.

3. Asqarova N.M, Axmedova N.E. Возможности переработки отходов флотации шлаков медного производства с получением железооксидного пигмента. Московский международный конгресс обогатителей (ммко-2025) удк 662.7. ББК 33.4 Ч-18. 186ст. Издательский Дом «Графит», 2025. – 350 с

4. Asqarova N.M, Axmedova N.E. **Texnogen chiqindilar tarkibidan temir oksidli pigment ajratib olish.** «O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari»

ISSN 3030-3907

5. https://www.futuremarketinsights.com/reports/iron-oxide-market. Iron Oxide Market Size & Forecast 2023-2033. The Iron Oxide Market is segmented by type from 2023 to 2033.

ISSN 3030-3907