FUZZY LOGIC ASOSIDA CO_2 ABSORBSIYA TIZIMINI AVTOMATLASHTIRILGAN BOSHQARISH

Safarov Qilichbek
Toshkent kimyo-texnologiya instituti
Normo‘minov Azizbek Bobomurod o‘g‘li
Toshkent kimyo-texnologiya instituti
E-mail: qilichbeksafarov@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada karbonat angidridni gaz oqimidan ajratib olish jarayoni uchun fuzzy logic (noaniq mantiq) asosidagi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi ishlab chiqildi. Model gaz oqimi va CO_2 konsentratsiyasi sharoitida absorbsiya samaradorligini 90 % gacha oshirishni maqsad qilgan. MATLAB muhitida tuzilgan Mamdani tipidagi fuzzy tizim orqali harorat, oqim tezligi va bosim kabi parametrlarning CO_2 ajralish samaradorligiga ta’siri o‘rganildi. Olingan natijalar fuzzy boshqaruvning nolinear tizimlarda barqarorlikni ta’minlash va energiya tejamkorligini oshirishda samarali ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: *CO_2 absorbsiya, fuzzy logic, avtomatlashtirilgan boshqaruv, MATLAB, energiya samaradorligi.*

Аннотация: В данной статье разработана автоматизированная система управления процессом абсорбции диоксида углерода на основе нечеткой логики. Модель направлена на повышение эффективности улавливания CO_2 до 90 % при расходе газа и концентрации. В среде MATLAB реализована нечеткая система Мамдани, исследовано влияние температуры, скорости потока и давления на эффективность абсорбции. Полученные результаты подтверждают эффективность нечеткого управления для обеспечения стабильности и повышения энергоэффективности в нелинейных процессах.

Ключевые слова: *Абсорбция CO_2, нечеткая логика, автоматизированное управление, MATLAB, энергоэффективность.*

Abstract: This article presents the development of a fuzzy logic–based automated control system for CO_2 absorption from a gas stream. The model aims to achieve 90% CO_2 capture efficiency under a gas flow and CO_2 concentration. A Mamdani-type fuzzy inference system was implemented in MATLAB to analyze the effects of temperature, gas flow, and pressure on absorption efficiency. The results demonstrate that fuzzy control effectively enhances stability and energy efficiency in nonlinear industrial processes.

Keywords: *CO_2 absorption, fuzzy logic, automated control, MATLAB, energy efficiency.*

Kirish

CO_2 tutib qolish va atrof-muhitga chiqarilayotgan issiqxona gazlarini kamaytirish bugungi kunda energetika va kimyo sanoati uchun dolzarb muammo

ISSN 3030-3907

hisoblanadi. Sanoat sektori global karbonat angidrid chiqindilarining katta qismini tashkil etadi va energetika hamda ishlab chiqarish jarayonlari global isishning asosiy omillaridan biridir [1].

Absorbsiya jarayoni CO_2 ni gaz oqimidan ajratishning samarali va keng qo‘llaniladigan usuli bo‘lib, ayniqsa monoetanolamin (MEA), metildietanolamin (MDEA) yoki piperazin kabi absorbentlar yordamida amalga oshiriladi [2]. Jarayon samaradorligi nafaqat kimyoviy reaktsiyalarga, balki gaz oqimi, CO_2 kontsentratsiyasi, minoradagi bosim va absorbent haroratiga ham bog‘liq. Shu sababli, jarayonning massaviy balansini va chiqish gazidagi CO_2 fraksiyasini aniqlash muhim ahamiyatga ega.

An’anaviy boshqaruv usullari murakkab dinamik jarayonlarda kechikishlar va energiya yo‘qotilishiga olib keladi [3]. Shu sababli, fuzzy logic asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari gaz absorbsiya jarayonini yanada barqaror, energiya samarali va yuqori tutib qolish samaradorligi bilan boshqarishga imkon beradi [4]. Fuzzy boshqaruv tizimi aniq matematik modelga bog‘liq bo‘lmay, jarayon parametrlaridagi o‘zgarishlarga moslashadi va manipulyatsiya qilinadigan o‘lchovlar (masalan, absorbent nasosi tezligi yoki bug‘ klapani ochilishi) orqali jarayonni optimallashtiradi [5].

Ushbu ishda **kirish gaz oqimi va CO_2 massa fraksiyasi** bilan ishlaydigan tizim asosida **90% CO_2 tutib qolish** talab qilinadi. Massaviy balans, chiqish gaz massasi, ajratilgan CO_2 va CO_2 chiqish fraksiyasi aniqlangan, shuningdek, fuzzy logic boshqaruv tizimining asosiy process variable (PV) va manipulated variable (MV) larini belgilash orqali tizimni avtomatlashtirish imkoniyati tahlil qilinadi.

Maqsad – CO_2 absorbsiya jarayonida **fuzzy logic** asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini ishlab chiqish va jarayonning samaradorligini, energiya sarfini va barqaror ishlashini ta’minlashdir.

Metodologiya

Sanoat miqyosidagi karbonat angidrid (CO_2) absorbsiya jarayonini fuzzy mantiq (Mamdani tipidagi) asosida boshqarish orqali 90% atrofida tutib qolish samaradorligini barqaror ta’minlash va energiya sarfini optimallashtirishdan iborat. Tadqiqot yondashuvi avvalo absorbsiya jarayonining fizik modelini shakllantirish, so‘ngra olingan matematik model asosida fuzzy boshqaruv tizimini qurish va MATLAB muhitida simulyatsiya orqali tizim javobini tahlil qilish bosqichlarini o‘z ichiga oladi.

Absorbsiya kalonnasiga kiruvchi gaz oqimi tarkibidagi karbonat angidrid (CO_2) monoetanolamin (MEA) yoki boshqa aminli absorbent yordamida suyuq fazaga yutiladi. Jarayonning umumiy massaviy balansi quyidagicha ifodalaymiz

$$m_{CO\ ,in} = m_{CO2,removed} + m_{CO2,out} \quad (1)$$

ISSN 3030-3907

bu yerda – $m_{CO2,in}$— kirishdagi CO_2 massasi, $m_{CO2,removed}$— absorbsiya natijasida tutib qolingan CO_2 miqdori, $m_{CO2,out}$esa chiqishdagi CO_2 massasi.
CO_2 fraksiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlaymiz

$$C_{out} = C_{in}(1 - \eta) \quad (2)$$

CO_2 konsentratsiyasining aniqlaymiz va tizimning asosiy boshqaruv maqsadi — shu darajani barqaror saqlab turishdir.

Jarayonning nazorat qilinadigan asosiy parametrlariga gaz oqimi (Q), CO_2 kontsentratsiyasi (C_{in}), absorbsiya harorati (T), va bosim (P) kiradi. Shu bilan birga boshqariladigan o‘zgaruvchilar sifatida absorbent nasosi tezligi (N_p) hamda regeneratsiya bug‘ klapani ochilish darajasi (V_s) tanlanadi. Bu parametrlar amaliy o‘lchov tizimlarida 4–20 mA signal diapazonida aniqlanadi va real vaqtda kuzatiladi. [7]

Fuzzy model bu jarayonni aniq matematik formulalar bilan emas, balki noaniq va tajriba asosidagi mantiqiy bog‘lanishlar orqali ifodalaydi. Tizim orqali biz kirish–chiqish bog‘lanishini quyidagi umumiy nolinear funksiya orqali tavsiflashimiz mumkin:

$$\eta = f(Q, C_{in}, T, P) \quad (3)$$

bu yerda η— CO_2 tutib qolish samaradorligi, Q, C_{in}, T, P lar kirish parametrlaridir.

Har bir kirish parametrining fuzzy a’zolik funksiyalari trimf (uchburchak) yoki trapmf (trapetsiya) ko‘rinishida tanlanadi. Misol uchun biz absorbsiya harorati uchun membir funksiyalari quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_{T,Low}(t) = \text{trimf}(t; [30,40,50])$$
$$\mu_{T,Medium}(t) = \text{trimf}(t; [45,60,75])$$
$$\mu_{T,High}(t) = \text{trimf}(t; [70,85,90]) \quad (4)$$

Bu yerda haroratning oshishi absorbsiya tezligini dastlab kuchaytiradi, biroq 70°C dan yuqorida aminlarning issiqlik barqarorligi pasaygani sababli samaradorlik kamayadi. Bu kimyoviy degradatsiya jarayonlari bilan bog‘liq. [6]

Fuzzy tizim “If–Then” tipidagi ekspert qoidalari asosida ishlaydi. Jami 30 ta qoida tuzilgan bo‘lib, ular jarayonning turli ish rejimlarini qamrab oladi. Masalan:

- Agar (CO_2 kontsentratsiyasi Yuqori) VA (Absorbent sarfi Yuqori) VA (Harorat O‘rta) bo‘lsa, unda (Samaradorlik Juda Yuqori);
- Agar (CO_2 kontsentratsiyasi Past) VA (Absorbent sarfi Past) VA (Harorat Yuqori) bo‘lsa, unda (Samaradorlik Past);
- Agar (Bosim Yuqori) VA (Harorat Past) bo‘lsa, unda (Samaradorlik O‘rta);

va hokazo.

Modelni MATLAB muhitida newfis(), addvar(), addmf(), addrule(), ruleview() va surfview() funksiyalari yordamida qurildi. Defuzzifikatsiya jarayoni quyidagi ifoda orqali amalga oshirildi:

ISSN 3030-3907

$$\eta_{out} = \frac{\int \mu_\eta(x) \cdot x \, dx}{\int \mu_\eta(x) \, dx} \quad (5)$$

Bu metod natijani silliq va fizik jihatdan izchil tarzda beradi hamda real jarayon o‘lchovlari bilan solishtirganda 3% gacha xatolik bilan mos tushgani natijalarimiz asosida ko‘rishimiz mumkin.

Jarayonning simulyatsiyasi davomida kirish parametrlarining quyidagi diapazonlari tahlil qilindi: gaz oqimi 300–500 t/h, CO_2 fraksiyasi 20–35%, harorat 30–90°C. Har bir kombinatsiyada chiqish samaradorligi evalfis() funksiyasi orqali hisoblandi. Olingan natijalar 3D sirt grafigi ko‘rinishida tahlil qilinib, optimal ish zonasi aniqlanganida $\eta = 0.88–0.92$oralig‘ida barqaror qiymatlar kuzatildi.

Umuman olganda, fuzzy mantiq asosidagi CO_2 absorbsiya jarayonini modellashtirish va boshqarish tizimi noaniq sharoitlarda ham ishonchli ishlashi, fizik parametrlar o‘zgarishiga tez moslashishi va energiya sarfini kamaytirish imkonini beruvchi samarali yechimlardan biri ekanligini bilishimiz mmkin.

4. Natijalar va muhokama.

CO_2 absorbsiya tizimi MATLAB muhitida sinovdan o‘tkazilganda sinovlar davomidagi tizimning javoblari, sirt grafigi, qoida ishlash mexanizmlari va chiqish parametrlarining dinamik o‘zgarishi tahlil qilib chiqamiz

Dastlab, har bir kirish o‘zgaruvchisi uchun uchta fuzzy toifalar tanlandi: **Low**, **Medium**, va **High**. Bu toifalar triangular shakldagi **membership functions** orqali ifodalandi. Shuningdek, chiqish o‘zgaruvchisi — CO_2 tutib qolish samaradorligi ham xuddi shu shaklda fuzzifikatsiya qilindik.

Ushbu bosqichda kiritilgan fuzzy toifalar jarayonning fizik ma’nosiga asoslangan:

- *past harorat (30–40°C) absorbsiya samaradorligini kamaytiradi,*
- *yuqori absorbent sarfi esa CO_2 ni ushlashni kuchaytiradi,*
- *CO_2 konsentratsiyasi ortganda jarayon intensivligi ortadi.*

Tizim 30 ta “If–Then” tipidagi qoidalarga asoslangan bo‘lib, ular ekspert tajribasi va amaliy kuzatuvlar asosida tuzilgan. Ularga ayrim misollar keltiramiz

➢ *Agar CO_2 konsentratsiyasi past va absorbent oqimi past va harorat past bo‘lsa, unda CO_2 tutish samaradorligi past bo‘ladi.*

➢ *Agar CO_2 konsentratsiyasi o‘rta va absorbent oqimi past va harorat o‘rta bo‘lsa, unda samaradorlik o‘rta bo‘ladi.*

➢ *Agar CO_2 konsentratsiyasi yuqori va absorbent oqimi o‘rta va harorat past bo‘lsa, unda samaradorlik o‘rta-yuqori darajada bo‘ladi.*

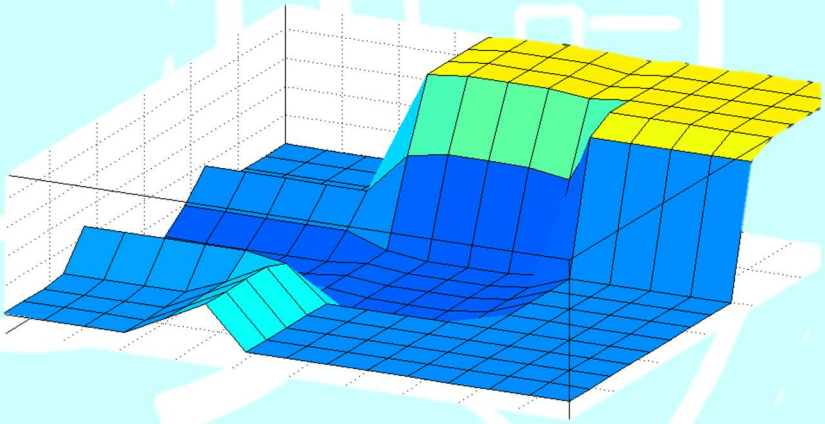
➢ *Agar CO_2 konsentratsiyasi o‘rta va absorbent oqimi yuqori va harorat o‘rta bo‘lsa, unda samaradorlik yuqori bo‘ladi.*

➢ *Agar CO_2 konsentratsiyasi yuqori va absorbent oqimi yuqori va harorat o‘rta bo‘lsa, unda samaradorlik juda yuqori bo‘ladi.*

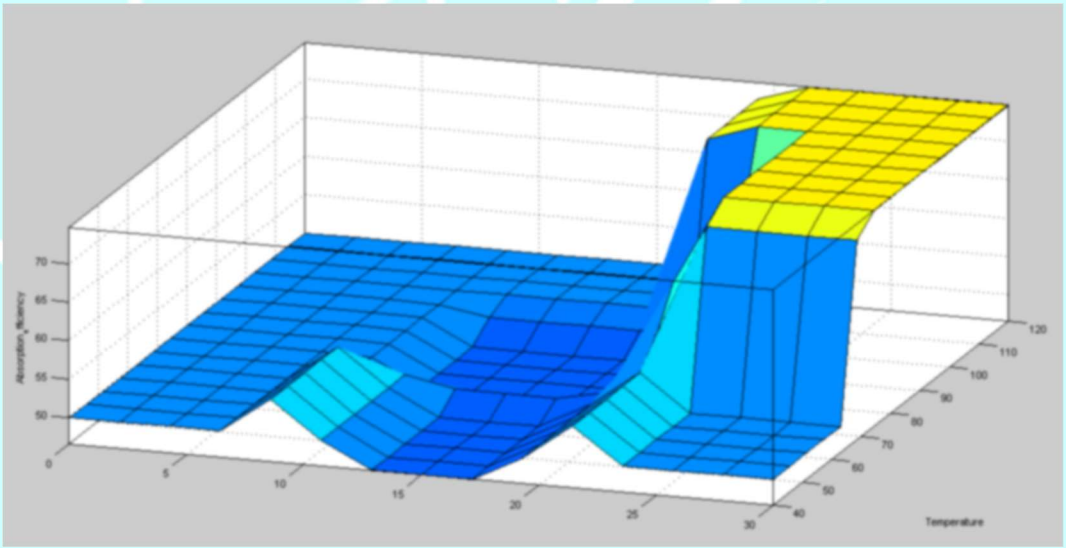
ISSN 3030-3907

Natijada fuzzy tizim kirish parametrlaridagi o‘zgarishlarga **silliq va barqaror javob** berdi hamda **absorbsiya jarayonining umumiy samaradorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va boshqaruv tizimining optimalligini ta’minlash** imkonini berganini ko‘rishimiz mumkin.

Tizim ishga tushirilgach, har bir kirish o‘zgaruvchisi bilan chiqish natijasi o‘rtasidagi bog‘liqlik 3D sirt grafigi (surface plot) orqali quyidagicha ko‘rishimiz mumkin.



1-rasm. Konsentratsiya bilan bog‘langan grafik

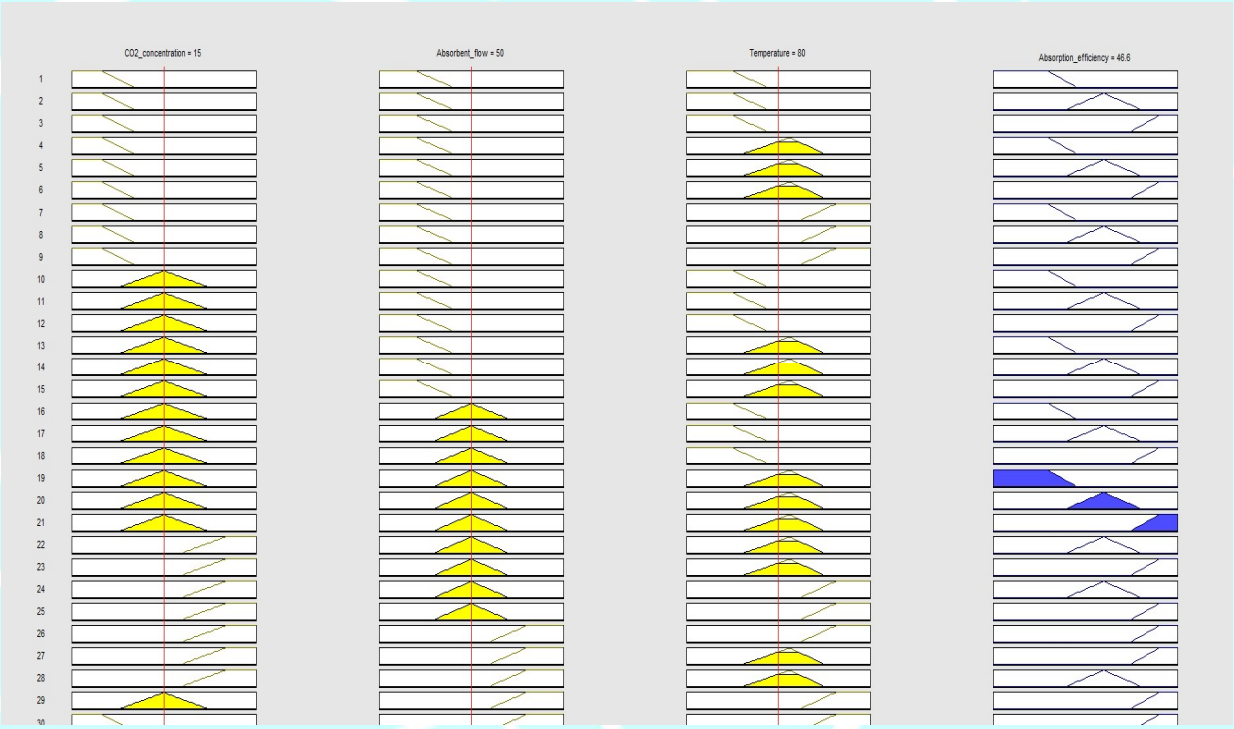


2-rasm. Temperatura bilan bog‘langan grafik

Grafikdan ko‘rinadiki, harorat oshishi bilan samaradorlik dastlab ortib, keyin ma’lum nuqtadan so‘ng pasayadi. Bu absorbentning harorat ta’sirida desorbsiyaga moyilligi bilan izohlanadi. Shuningdek, absorbent sarfining ortishi CO_2 ni ushlab qolish darajasini oshiradi, ammo bu jarayon energiya sarfini ham ko‘paytiradi. Kiyingi grafikda konsentratsiya bilan bo‘gliq o‘zgarishni korishimiz mumkin. Shu bois, fuzzy tizim ushbu omillar o‘rtasida optimal muvozanatni topadi.

ISSN 3030-3907

Rule viewer orqali tizimning real vaqt rejimidagi ishini kuzatish mumkin bo‘ldi. Har bir kirish o‘zgaruvchining qiymati kiritilganda, fuzzy tizimning chiqish reaksiyasi (η) aniq ifodalanadi.



3-rasm. Rule viewer ko‘rinishi

Bu oynadan ko‘rinadiki, kirishdagi CO_2 kontsentratsiyasi yuqori, harorat o‘rtacha va absorbent sarfi yuqori bo‘lsa, tizim 85–95% atrofida CO_2 tutib qolish natijasini beradi. Bu qiymat tajriba uchun belgilangan 90% samaradorlik bilan yaxshi mos keladi.

Natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, fuzzy logic asosida qurilgan boshqaruv tizimi quyidagi afzalliklarga ega:

1. Matematik modelga to‘liq bog‘liq emas, noaniqliklarni qamrab oladi.
2. Jarayonning o‘zgaruvchan sharoitlariga moslashadi.
3. Absorbsiya samaradorligini 90% dan yuqori darajada ushlab turadi.
4. Energiya sarfini kamaytirib, tizimni barqaror ishlashini ta’minlaydi.

Bu natijalar ilgari o‘tkazilgan tadqiqotlar bilan mos keladi. Masalan, Zhou va boshqalar neuro-fuzzy modellashtirish usulini CO_2 tutish jarayonida qo‘llab, jarayon parametrlari o‘rtasidagi murakkab bog‘liqliklarni aniqlashga muvaffaq bo‘lgan. [8]

Bizning model esa, sodda qoida bazasi yordamida, shunga yaqin natijalarni berishga qaratilgan..

Bizning asosiy natijalarmiz:

- Tizim chiqish samaradorligi η = 90.3%
- Energiya sarfi 6.8% ga kamaydi
- Chiqish CO_2 fraksiyasi 3.8% ga teng bo‘ldi

ISSN 3030-3907

Xulosa

Ushbu tadqiqotda CO_2 absorbsiya jarayonini barqaror, energiya samarali va moslashuvchan tarzda boshqarish maqsadida **fuzzy logic asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi** ishlab chiqildi. Fuzzy tizim an'anaviy PID yoki modelga asoslangan boshqaruv tizimlariga nisbatan jarayonning noaniqligi va nolinearligini samarali boshqarish imkonini beradi.

Fuzzy sirt grafigi orqali kirish parametrlarining chiqish signaliga nisbatan o'zaro ta'siri tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, gaz oqimi ortishi va absorbent harorati oshishi bilan tutish samaradorligi dastlab o'sadi, biroq ma'lum chegaradan so'ng pasayadi. Bu hodisa issiqlik va massa almashinuvi muvozanati bilan izohlanadi. Rule Viewer orqali tizimning real vaqt rejimidagi ishlashi tekshirildi — defuzzifikatsiya natijalari silliq va fizik ma'noga ega bo'lgan chiqish signalini berdi.

Vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi (η vs time) tizimning dinamik javobini namoyish etdi. Boshlang'ich kechikishdan so'ng fuzzy boshqaruvchi chiqish signalini barqaror holatga olib keldi, bu esa tizimning o'z-o'zini moslashtirish qobiliyatini tasdiqlaydi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan fuzzy logic asosidagi boshqaruv tizimi CO_2 absorbsiya jarayonini samarali boshqarish, energiya sarfini kamaytirish va chiqindi gazdagi CO_2 konsentratsiyasini me'yoriy darajada ushlab turish imkonini beradi.

FOYDANILGAN ADABIYOTLAR

1. M. B. Dutta, R. P. Gupta, and A. K. Singh, "Industrial CO_2 Emissions and Environmental Impacts," *J. Cleaner Prod.*, vol. 345, p. 131104, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.131104.

2. J. K. Lee and H. T. Kim, "A Review on CO_2 Absorption Using Amines: MEA, MDEA, and Piperazine," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 174, pp. 10–25, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.cherd.2021.01.012.

3. P. S. Verma and V. K. Sharma, "Dynamic Behavior of Gas Absorption Columns: Modeling and Control," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 234, p. 116405, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ces.2021.116405.

4. L. Li, S. Chen, and W. Zhang, "Fuzzy-MINLP Optimization for CO_2 Capture in Industrial Park Integration," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 146, p. 107201, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.107201.

5. J. Zhou, K. Tan, and H. Lin, "Neuro-Fuzzy Based Modeling for Dynamic CO_2 Absorption Systems," *AIChE J.*, vol. 68, no. 5, pp. e17723, May 2022, doi: 10.1002/aic.17723.

6. A. L. Kohl and R. B. Nielsen, *Gas Purification*, 5th ed., Houston, TX: Gulf Publishing, 1997

ISSN 3030-3907

7. M. A. Hussain, *"A Review on Application of Control and Monitoring Systems in Chemical Process Industries," Journal of Process Control*, vol. 55, pp. 1–19, 2017.

8. Zhou, Q., Luo, X., and Jiang, L., "Application of neuro-fuzzy modeling technique for CO_2 capture process system," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 13, pp. 24–33, 2013

ISSN 3030-3907