



Deep learning of chemical kinetics using physics concepts

Naser Karimi ^{1,*}, Marziyeh Yahyavi ¹

¹Department of Physics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

* Corresponding author: (✉ n.karimi@cfu.ac.ir)

ABSTRACT

Background and Objectives: This article examines the relationship between physics concepts in teaching chemistry concepts, especially the importance of understanding physical principles in teaching chemical kinetics. The aim of this study is to identify and explain the effect of various factors such as temperature, catalysts, and concentration on the rate of reactions, so that this understanding can help improve educational processes in this area. **Methods:** An experimental and analytical approach was used in this research. Experiments were conducted to investigate the effect of temperature, pressure, concentration of reactants, and type of catalysts. Temperature changes in the range of 20 to 80 °C, pressure from 1 to 5 atmospheres, and changes in the concentration of reactants were systematically investigated from 0.1 to 2 molar, and data collection was carried out by measuring reaction time and changes in the concentration of substances. **Findings:** The results showed that as the temperature increased, the kinetic energy of molecules increased, resulting in faster reactions. The results also show that the use of catalysts reduces the activation energy and increases the rate of reactions. The results clearly showed that the concentration of reactants, as an important factor, has a significant effect on the rate of reactions, and these findings confirm the links between physical and chemical concepts. **Conclusion:** Overall, this article emphasizes an interdisciplinary approach that can help to gain a deeper understanding of scientific concepts and is important in designing and predicting the behavior of chemical reactions in real applications. Improving science education by integrating physics and chemistry concepts can prepare a new generation of students for success in scientific and industrial fields.

Keywords: Chemical kinetics, Reaction rates, Physical concepts, Multidisciplinary approach, Experimental models.

RESEARCH ARTICLE

Received: 24 November 2024

Revised: 13 February 2025

Accepted: 28 February 2025

Published online: 28 February 2025

Print ISSN: [3041-9271](#)

ISSN (Online): [2717-2279](#)

Citation: Karimi, N.; Yahyavi, M. (2025). Deep Learning of Chemical Kinetics Using Physics Concepts. *Research in Chemistry Education*, 7(3), 110-132.

 <https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.18128.1302>



© The author(s)
Publisher: Farhangian University



Extended Abstract

Introduction

Chemistry, as one of the fundamental natural sciences, plays a crucial role in analyzing the behavior of materials and the processes that govern chemical reactions. This discipline examines the interactions and transformations of substances, enabling students to grasp the underlying logic behind various chemical reactions. However, a profound understanding of chemical principles cannot be achieved without a solid foundation in the principles of physics. Physics, the science dedicated to studying motion, forces, and energy, provides essential insights that are particularly significant when analyzing chemical reactions and understanding the behavior of materials at a molecular level. Chemical kinetics, a critical branch of chemistry, specifically focuses on the rates and mechanisms of chemical reactions, which are influenced by a multitude of factors such as temperature, pressure, concentration, and the types of reactants involved in the reactions. By understanding these factors, students can better appreciate how changes in conditions can affect the speed and outcomes of chemical reactions.

Furthermore, a thorough understanding of physical concepts and thermodynamics not only enhances comprehension of chemical processes but also sheds light on the intricate mechanisms at play during reactions. For instance, studying activation energy and the various energy changes that occur throughout chemical reactions allows for a more profound insight into material behavior and the dynamics of reaction mechanisms. This relationship between physics and chemistry is vital for students, as it not only contributes to the development of their scientific knowledge but also strengthens their logical reasoning and analytical abilities. Recognizing that these two scientific domains complement one another underscores the importance of delivering cohesive and integrated education at the high school level, especially in topics such as chemical kinetics and essential physical concepts. This article aims to explore these connections in detail, illustrating how principles of motion and established physical laws can deepen the understanding of chemical kinetics and provide a more comprehensive perspective on chemical reactions. Ultimately, this exploration seeks to highlight the critical role that both physics and chemistry play in advancing science education at the secondary level, preparing students to engage thoughtfully with the complex scientific phenomena present in the world around them.

Methodology

This research employs a systematic experimental design to investigate the influence of various factors, notably temperature, pressure, concentration, and the presence of catalysts, on the rates of selected chemical reactions. The reactions chosen for this study are characterized by their distinct physical attributes, which significantly affect their kinetics. In the first phase of the experiments, we executed three distinct reaction setups where the effects of varying temperature ranges from 20°C to 80°C and pressure levels from 1 to 5 atmospheres were examined. The concentrations of reactants were adjusted systematically from 0.1 to 2 molar to observe the corresponding changes in reaction rates, allowing for a robust analysis of how thermal and pressure dynamics pertain to the kinetics of chemical processes.

Data collection during these experiments was multifaceted and included both quantitative and qualitative methods. Observational data were used to record the time taken for noticeable changes, such as the formation of precipitate or color change in the reaction mixture. Furthermore, spectroscopic techniques were applied to monitor the concentration variations of the reactants over time. To calculate the reaction rates, we utilized the general equation for reaction rates, which correlates changes in concentration over time with the kinetics of the chemical processes under investigation. This combination of data collection methods ensures a comprehensive understanding of the factors affecting the reaction rates and underscores the relationship between classical physical principles and contemporary chemical kinetics.

The analysis utilized kinetic models to interpret the data gathered from the experiments. Specifically, we applied the Arrhenius equation to establish the correlation between temperature and the rate constants of the reactions. By plotting $\ln(k)$ against $1/T$, we determined the activation energies from the slope of the resulting graph. This analysis not only elucidates the mechanisms underlying the reactions studied but also emphasizes the interconnectivity of physics and chemistry in understanding reaction kinetics. The insights derived from this methodology can significantly contribute to the educational approaches used in chemistry, allowing students to grasp the fundamental principles impacting chemical reaction dynamics in real-world contexts.

Results and Discussion

This study highlights the critical interplay between physical principles and chemical kinetics, revealing that a robust understanding of physics enhances the comprehension of chemical reaction dynamics among students. The experimental findings substantiate that variables such as temperature, pressure, and concentration significantly influence reaction rates. Specifically, increases in temperature were shown to raise the kinetic energy of molecules, leading to a greater frequency of effective molecular collisions, which result in accelerated reaction rates. This relationship illustrates how foundational physical theories underpin the behavior of chemical processes, providing students with a clearer framework to relate abstract scientific concepts to observable phenomena.

The role of catalysts in manipulating activation energy was further emphasized as essential for grasping reaction mechanisms relevant in both academic and industrial settings. The data gathered confirmed the theoretical tenets set forth by the Arrhenius equation, which delineates the dependency of reaction rate constants on temperature. The experiments distinctly showed that catalysts not only expedite reactions by lowering the activation energy threshold but also contribute to optimized efficiencies across various chemical processes. This aspect underscores the importance of teaching about catalysts in chemistry education, where students can appreciate their industrial applications as well as their theoretical significance. Integrating these insights helps students grasp how various factors, including the presence of catalysts, interplay to govern reaction kinetics, allowing them to predict and manipulate reaction outcomes in practice.

In conclusion, the integration of physical and chemical principles can significantly improve science education and foster a new generation of learners equipped to tackle complex scientific challenges. The results advocate for an interdisciplinary pedagogical approach that bridges physics and chemistry, enabling students to cultivate critical thinking and problem-solving skills. By delving into these connections, educators can prepare students to effectively navigate the rapidly evolving landscape of scientific inquiry and innovation. This research serves as a valuable suggestion for curricula redesign, emphasizing the need for collaborations between the fields to enhance understanding and foster effective science education that meets contemporary educational standards.

Conclusions

This study highlights the profound significance of integrating physics concepts into the understanding of chemical kinetics, demonstrating that a solid grasp of physical principles greatly enhances students' comprehension of reaction rates and mechanisms. The experimental findings elucidate that critical factors such as temperature, pressure, and concentration significantly influence chemical reactions, reinforcing the intrinsic connection between physics and chemistry. For instance, the analysis reveals that increasing temperature elevates the kinetic energy of molecules, leading to a greater frequency of effective collisions. This not only supports theoretical models but also provides a robust framework for understanding how elevated temperatures expedite reaction rates.

Moreover, the research emphasizes the role of catalysts in optimizing reaction rates by lowering activation energy. By elucidating the mechanisms through which catalysts enhance chemical processes, students can better appreciate their importance in various industrial applications. This understanding is crucial, particularly as chemical industries increasingly rely on catalysts to improve efficiency and sustainability.

The study also addresses how concentration affects reaction dynamics. A clear correlation is established: higher reactant concentrations result in increased chances of molecular collisions, thereby accelerating reaction rates. This relationship underscores the relevance of physical principles in chemical contexts, as many kinetic principles arise from foundational laws of physics.

Adopting a multidisciplinary approach that intertwines physics with chemistry not only enriches science education but also equips students with the necessary skills to tackle real-world challenges in chemical processes. As students learn to apply these integrated concepts, they develop the ability to design and predict outcomes more effectively in practical scenarios, such as the development of new materials or the improvement of existing chemical reactions.

In conclusion, fostering an educational environment that embraces both physics and chemistry enhances the overall quality of science education. This integrated perspective prepares students for higher studies in both fields, nurturing a new generation of scientists capable of addressing complex challenges within science and technology. Continuous exploration of the interconnections between these disciplines will pave the way for advancements in educational practices and scientific research, leading to innovative solutions in industrial applications and beyond.

پژوهش در آموزش شیمی، سال هفتم، شماره سوم، صفحات ۱۱۰-۱۳۲



پژوهش در آموزش شیمی

<https://chemedu.cfu.ac.ir>



یادگیری عمیق سینتیک شیمیایی با استفاده از مفاهیم فیزیک

ناصر کریمی^۱، مرضیه یحیوی^۱

^۱ گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، ۱۴۶۶۵-۸۸۹، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: (n.karimi@cfu.ac.ir)

چکیده

پیشینه و اهداف: مقاله حاضر به بررسی رابطه بین مفاهیم فیزیک در آموزش مفاهیم شیمی، به ویژه اهمیت درک اصول فیزیکی در آموزش سینتیک شیمیایی می پردازد. هدف این مطالعه شناسایی و تبیین تأثیر عوامل مختلف مانند دما، کاتالیست ها، و غلظت بر سرعت واکنش ها می باشد، به گونه ای که این درک بتواند به بهبود فرآیندهای آموزشی در این حوزه کمک کند. **روش ها:** در این تحقیق از یک رویکرد تجربی و تحلیلی استفاده شده است. آزمایش هایی برای بررسی تأثیر دما، فشار، غلظت واکنش دهنده ها و نوع کاتالیست ها انجام شد. تغییرات دما در محدوده ۲۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد، فشار از ۱ تا ۵ اتمسفر، و تغییرات غلظت واکنش دهنده ها به طور سیستماتیک از ۰/۱ تا ۲ مولار مورد بررسی قرار گرفته، و جمع آوری داده ها از طریق اندازه گیری زمان واکنش و تغییرات غلظت مواد انجام شد. **یافته ها:** نتایج نشان دادند که در اثر افزایش دما، انرژی جنبشی مولکول ها افزایش یافته و در نتیجه واکنش ها با سرعت بیشتری انجام شود. همچنین نتایج نشان می دهند استفاده از کاتالیست ها باعث کاهش انرژی فعال سازی و افزایش سرعت واکنش ها می شود. نتایج به وضوح نشان دادند که غلظت واکنش دهنده ها، به عنوان یک فاکتور مهم، تأثیر بسزایی بر سرعت واکنش ها داشته، و این یافته ها پیوندهای میان مفاهیم فیزیکی و شیمیایی را تأیید می کند. **نتیجه گیری:** به طور کلی، این مقاله بر یک رویکرد میان رشته ای تأکید دارد که می تواند به درک عمیق تری از مفاهیم علمی کمک کند و در طراحی و پیش بینی رفتار واکنش های شیمیایی در کاربردهای واقعی دارای اهمیت باشد. بهبود آموزش علوم از طریق ادغام مفاهیم فیزیک و شیمی می تواند نسل جدیدی از دانش آموزان را برای موفقیت در حوزه های علمی و صنعتی آماده سازد.

واژه های کلیدی: سینتیک شیمیایی، سرعت واکنش ها، مفاهیم فیزیکی، رویکرد چندرشته ای، مدل های تجربی.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

شاپا چاپی: ۹۲۷۱-۳۰۴۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: کریمی، ناصر؛ یحیوی، مرضیه (۱۴۰۴). یادگیری عمیق سینتیک شیمیایی با استفاده از مفاهیم فیزیک. پژوهش در آموزش شیمی، (۷(۳)، ۱۱۰-۱۳۲.

<https://doi.org/10.48310/chemedu.2025.18128.1302>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان



مقدمه

علم شیمی به عنوان یکی از رشته‌های بنیادی علوم طبیعی، وظیفه‌ای کلیدی در تجزیه و تحلیل رفتار مواد و فرآیندهای شیمیایی بر عهده دارد. شیمی تعاملات مواد و تغییرات مربوط به آن‌ها را بررسی می‌کند و به دانش‌آموزان این امکان را می‌دهد که منطق پشت این واکنش‌ها را بفهمند. اما درک عمیق از شیمی نمی‌تواند بدون آگاهی از اصول فیزیک حاصل شود. فیزیک، علم مطالعه‌ی حرکت، نیرو و انرژی است و قوانین آن به‌ویژه در تحلیل واکنش‌های شیمیایی و رفتار مواد بسیار مهم هستند (آتکینز^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ مانک^۲، ۲۰۰۸؛ موسیل^۳، ۲۰۲۱). سینیتیک شیمیایی، به عنوان یکی از شاخه‌های مهم شیمی، به مطالعه سرعت و مکانیسم واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد (کاولوتی^۴، ۲۰۲۳؛ میلار^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). واکنش‌های شیمیایی تحت تأثیر چندین عامل قرار دارند، از جمله دما، فشار، غلظت و نوع واکنش‌دهنده‌ها. یکی از مسائلی که در سینیتیک شیمیایی ضروری است، درک چگونگی تأثیر این عوامل بر سرعت واکنش‌ها می‌باشد (چو^۶ و همکاران، ۲۰۲۱؛ تیلور^۷ و همکاران، ۲۰۲۳؛ جان^۸ و همکاران، ۲۰۲۳). برای نمونه، افزایش دما معمولاً منجر به افزایش انرژی جنبشی ذرات می‌شود که در نتیجه، تعداد تصادف‌های مؤثر و در نتیجه سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. این موضوع بر مبنای قوانین حرکت در فیزیک بیان شده است که به ما می‌گوید که چگونه تغییر در انرژی می‌تواند بر رفتار مواد تأثیر بگذارد.

علاوه بر این، درک مفاهیم فیزیکی و ترمودینامیک، می‌تواند نکات بیشتری را درباره سازوکارهای واکنش‌ها روشن کند. به‌طور خاص، مطالعه‌ی انرژی فعال‌سازی و چگونگی تغییرات انرژی در طول واکنش‌ها، شناخت بهتری از رفتار مواد و مکانیسم واکنش‌ها فراهم می‌کند (حمید^۹ و همکاران، ۲۰۲۵؛ پیچولچ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹؛ وینچنزو و فلوریانو^{۱۱}، ۲۰۲۰). این ارتباط بین فیزیک و شیمی نه تنها به توسعه دانش علمی کمک می‌کند، بلکه توانایی استدلال منطقی و تحلیلی دانش‌آموزان را تقویت می‌کند. با توجه به اینکه این دو علم در عین حال مکمل یکدیگراند، اهمیت ارائه آموزش‌های منسجم و یکپارچه در سطح دبیرستان به‌ویژه در زمینه سینیتیک شیمیایی و مفاهیم فیزیکی بیشتر مشخص می‌شود.

¹ Atkins² Monk³ Musil⁴ Cavallotti⁵ Miller⁶ Chu⁷ Taylor⁸ Zhan⁹ Hamid¹⁰ Piskulich¹¹ Vincenzo and Floriano

(چاکماجی^۱ و همکاران، ۲۰۰۶؛ جاستی^۲، ۲۰۰۲؛ متیوز^۳ و همکاران، ۲۰۰۰). ادغام این دو حوزه می‌تواند به دانش‌آموزان کمک کند تا ارتباطات میان مفاهیم مختلف علمی را درک کنند و نظارت بیشتری بر روی فرایندهای طبیعی در دنیای اطراف خود داشته باشند (بگالی‌اف^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اشنايدر^۵ و همکاران، ۲۰۲۲).

این مقاله به بررسی این ارتباطات خواهد پرداخت و نشان خواهد داد که چگونه اصول حرکتی و قوانین فیزیکی می‌توانند در عمق بخشی به درک سینیتیک شیمیایی و ایجاد شناختی جامع و همه‌جانبه از واکنش‌های شیمیایی موثر باشند. با تحلیل روش‌ها و مدل‌های تجربی که براساس این مفاهیم شکل گرفته‌اند، عزم داریم درک واضح‌تری از تعاملات پیچیده میان فیزیک و شیمی ارائه دهیم و به نقش آن‌ها در آموزش علوم در سطح دبیرستان بیشتر بپردازیم.

پیشینه پژوهش

سینیتیک شیمیایی به بررسی فرایندهای شیمیایی و سرعت واکنش‌ها می‌پردازد و مفاهیم کلیدی آن به درک عمیق‌تری از چگونگی وقوع این فرایندها کمک می‌کند. در این زمینه، چندین عامل اصلی بر سرعت واکنش‌ها تأثیر می‌گذارد:

۱- دما: دما یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سرعت واکنش‌های شیمیایی است. با افزایش دما، انرژی جنبشی ذرات افزایش می‌یابد که به نوبه خود، تعداد برخوردهای مؤثر و انرژی‌های فعال‌سازی را بالا می‌برد. براساس معادله آرنیوس، جایی که سرعت واکنش با افزایش دما به‌طور نمایی افزایش می‌یابد، این ارتباط به‌وضوح قابل مشاهده است (لاگت^۶، ۲۰۲۳؛ روسیدی^۷ و همکاران، ۲۰۲۱؛ یانگ^۸ و همکاران، ۲۰۲۱). معادله آرنیوس به‌عنوان یک رابطه ریاضی، وابستگی سرعت واکنش‌ها را به دما توصیف می‌کند و به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

¹ Cakmakci

² Justi

³ Mathews

⁴ Begaliyev

⁵ Schneider

⁶ Lugt

⁷ Rusydi

⁸ Yang

که در آن k ثابت سرعت واکنش، A عامل پیش‌ساز (فرکانس) یا ثابت آرنیوس که نمایانگر تعداد برخوردهای مؤثر در واحد زمان، E_a انرژی فعال‌سازی^۱ نمایانگر مقدار انرژی لازم برای آغاز واکنش، R ثابت گازها، که تقریباً برابر با

$$8.314 \frac{J}{mol.K} \text{ است، و } T \text{ دما برحسب کلوین (K) است.}$$

عامل پیش‌ساز (A) نشان‌دهنده تأثیر تعداد برخوردهای مؤثر بر سرعت واکنش است. هر چه این مقدار بزرگ‌تر باشد، سرعت واکنش بیشتر خواهد بود. انرژی فعال‌سازی (E_a) یک معیار حیاتی است که میزان انرژی مورد نیاز برای انجام واکنش را نشان می‌دهد. هر چه این انرژی بالاتر باشد، واکنش به انرژی بیشتری برای شروع نیاز خواهد داشت و در نتیجه، سرعت واکنش تحت تأثیر دما کمتر خواهد بود. همچنین، با افزایش دما (T)، مقدار $e^{-\frac{E_a}{RT}}$ افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش دما اساسی‌ترین تغییرات در رفتار مواد رخ می‌دهد و این امر منجر به افزایش سرعت واکنش می‌شود.

۲- غلظت: غلظت واکنش‌دهنده‌ها نیز تأثیر بسزایی بر سرعت واکنش دارد. در واکنش‌های گازی و مایع، با افزایش غلظت مواد، تعداد ذرات در واحد حجم افزایش می‌یابد، بنابراین احتمال برخوردهای مؤثر بین آن‌ها بیشتر می‌شود. این رابطه در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی به‌وضوح قابل مشاهده است (اوزای^۲ و مک‌کالا^۳، ۲۰۲۱؛ پیپلز و روزن^۴، ۲۰۲۱).

۳- فشار: فشار به‌ویژه در واکنش‌های گازی تأثیرگذار است. با افزایش فشار، حجم گازها کاهش می‌یابد و در نتیجه غلظت واکنش‌دهنده‌ها افزایش می‌یابد. این تأثیر، از قوانین گاز و اصول ترمودینامیک نشئت می‌گیرد (سرمنت-مورن^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). در بسیاری از واکنش‌ها، به‌ویژه آن‌هایی که شامل گازها هستند، افزایش فشار، منجر به افزایش سرعت واکنش می‌شود.

۴- نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها: نوع واکنش‌دهنده‌ها و حضور کاتالیست‌ها می‌تواند، به شکل قابل توجهی بر سرعت واکنش تأثیر بگذارد. کاتالیست‌ها، به‌عنوان مواد غیرفعال در واکنش، می‌توانند مسیرهای جایگزین با انرژی فعال‌سازی کمتر را فراهم کنند، که به این ترتیب باعث افزایش سرعت واکنش می‌شوند. این موضوع همواره زیر چتر مفاهیم فیزیکی قرار دارد و نشان می‌دهد که چگونه تعاملات بین مواد می‌توانند بر رفتار شیمیایی تأثیرگذار باشند (تان^۶ و همکاران، ۲۰۲۱).

¹ Activation Energy

² Özyay

³ McCalla

⁴ Peeples and Rosen

⁵ Serment-Moreno

⁶ Tan

۵- **مدل‌های سینتیکی:** مدل‌های مختلفی وجود دارد که توضیح‌دهنده رفتار و الگوهای واکنش‌ها هستند. در این راستا، مدل‌های سینتیکی مانند مدل‌های اول و دوم چیدمان می‌توانند به تحلیل رفتار واکنش‌ها کمک کنند. مدل‌های سینتیکی بر مبنای قوانین فیزیکی و ریاضی ساخته شده‌اند و به موجب آن‌ها می‌توان سرعت واکنش‌ها را به‌طور دقیق محاسبه کرد (بوزی-فراریس^۱ و ماننتی^۲، ۲۰۰۹؛ عزیزیان^۳، ۲۰۰۴).

روش پژوهش

برای رسیدن به اهداف مقاله، یک رویکرد تجربی و تحلیلی با استفاده از مدل‌های ریاضی و آزمایشگاهی اتخاذ شد. در این بخش، روش‌شناسی تحقیق، فرایند محاسبات و تجزیه و تحلیل نمودارها توصیف می‌شود.

۱- طراحی آزمایش

در این تحقیق، چندین واکنش شیمیایی منتخب با توجه به ویژگی‌های فیزیکی خاص آن‌ها بررسی شد. واکنش‌هایی که در شرایط مختلف دما و فشار انجام شدند، شامل:

- واکنش‌های اسید-باز: به‌منظور بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش.
- واکنش‌های ترکیبی گاز: برای مطالعه تأثیر فشار و دما بر سرعت واکنش.
- واکنش‌های کاتالیزوری: برای بررسی تأثیر کاتالیست‌ها و نوع واکنش‌دهنده‌ها.

شرایط آزمایش

- دما: محدوده‌های مختلف از ۲۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد در فواصل ۱۰ درجه بررسی شد.
- فشار: استفاده از فشارهای مختلف از ۱ تا ۵ اتمسفر.
- غلظت: غلظت واکنش‌دهنده‌ها به‌طور سیستماتیک از ۰.۱ تا ۲ مولار تغییر یافت.
- نوع کاتالیست‌ها: مطالعه تأثیر کاتالیست‌های مختلف بر سرعت واکنش، شامل کاتالیست‌های فلزی و غیر فلزی.

۲- جمع‌آوری داده‌ها

- در هر آزمایش، داده‌های مربوط به سرعت واکنش با استفاده از روش‌های زیر جمع‌آوری شد:
- مشاهده بصری: ثبت زمان لازم برای تغییر رنگ یا تشکیل رسوب.

¹ Buzzi-Ferraris

² Manenti

³ Azizian

- تحلیل اسپکتروسکوپی: استفاده از اسپکتروسکوپی برای اندازه‌گیری تغییرات غلظت واکنش‌دهنده‌ها در طول

زمان.

این اطلاعات به منظور محاسبه سرعت واکنش مورد استفاده قرار گرفت.

۳- محاسبات و تجزیه و تحلیل

با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، محاسبات زیر انجام شد:

- سرعت واکنش: طبق معادله عمومی سرعت واکنش $r = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ محاسبه شد.

- محاسبه ثابت سرعت واکنش k : براساس معادله آرنیوس: $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$

- محاسبات انرژی فعال‌سازی E_a : با استفاده از خطوطی از نمودار $\ln k$ بر حسب $\frac{1}{T}$ به دست آمد.

۴- بررسی تأثیر نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش

در این بخش، تأثیر نوع واکنش‌دهنده‌ها و حضور کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش‌ها مورد بررسی قرار گرفت:

- نوع واکنش‌دهنده‌ها: بررسی شد که چگونه ساختار شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها، می‌تواند،

سرعت واکنش را تحت تأثیر قرار دهد. به عنوان مثال، واکنش‌دهنده‌هایی که پیوندهای ضعیف‌تری دارند، معمولاً به انرژی

کمتری برای شکستن پیوندها نیاز دارند و این می‌تواند منجر به افزایش سرعت واکنش شود.

- کاتالیست‌ها: برای بررسی این تأثیر، آزمایش‌هایی با استفاده از کاتالیست‌های مختلف مانند کاتالیست‌های معدنی

و آلی انجام شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که کاتالیست‌ها می‌توانند انرژی فعال‌سازی را کاهش دهند و در نتیجه سرعت

واکنش را افزایش دهند.

۵- بررسی تأثیر مدل‌های سینتیکی بر سرعت واکنش

مدل‌های سینتیکی به عنوان ابزارهای تحلیلی برای توصیف و پیش‌بینی رفتار واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌شوند.

این مدل‌ها بر اساس قوانین فیزیکی و ریاضی ساخته شده‌اند و می‌توانند به درک بهتر، از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش

کمک کنند. در ادامه، به چند مدل سینتیکی اصلی اشاره می‌شود:

• مدل‌های مرتبه اول و دوم: این مدل‌ها بر اساس تغییرات غلظت واکنش‌دهنده‌ها و تأثیر آن‌ها بر سرعت

واکنش‌ها طراحی شده‌اند. برای مثال، در یک واکنش مرتبه اول، سرعت واکنش به طور مستقیم با غلظت یک

واکنش‌دهنده مرتبط است، در حالی که در واکنش‌های مرتبه دوم، سرعت واکنش به غلظت دو واکنش‌دهنده بستگی دارد.

• **مدل‌های آرنیوس:** این مدل‌ها رابطه بین دما و ثابت سرعت واکنش را توصیف می‌کنند. معادله آرنیوس نشان می‌دهد که با افزایش دما، ثابت سرعت واکنش به طور نمایی افزایش می‌یابد، که به دلیل افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها و در نتیجه افزایش تعداد برخوردهای مؤثر است.

• **مدل‌های کاتالیستی:** این مدل‌ها به بررسی تأثیر کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش می‌پردازند. کاتالیست‌ها می‌توانند، مسیرهای جایگزین با انرژی فعال‌سازی کمتر را فراهم کنند، که منجر به افزایش سرعت واکنش می‌شود.

• **مدل‌های تجربی:** این مدل‌ها براساس داده‌های تجربی به دست آمده از آزمایش‌ها طراحی می‌شوند و می‌توانند برای پیش‌بینی رفتار واکنش‌ها در شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

• **مدل‌های دودویی:** این مدل‌ها به بررسی سیستم‌هایی می‌پردازند که شامل دو واکنش‌دهنده هستند. در این مدل‌ها، تأثیر هر یک از واکنش‌دهنده‌ها بر سرعت واکنش به صورت جداگانه و در تعامل با یکدیگر تحلیل می‌شود. این مدل‌ها می‌توانند به درک بهتر از نحوه تعامل دو ماده در واکنش‌های شیمیایی کمک کنند.

• **مدل‌های چندمتغیره:** این مدل‌ها به بررسی تأثیر هم‌زمان چندین عامل بر سرعت واکنش می‌پردازند. در این مدل‌ها، می‌توان تأثیر دما، غلظت، فشار و نوع واکنش‌دهنده‌ها را به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار داد. این نوع مدل‌ها به ویژه در شرایط پیچیده و در سیستم‌های صنعتی کاربرد دارند.

با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان به درک عمیق‌تری از رفتار واکنش‌های شیمیایی و عوامل مؤثر بر سرعت آن‌ها دست یافت. این اطلاعات نه تنها در زمینه آموزش شیمی بلکه در طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی نیز کاربرد دارد.

در این مطالعه:

- **تحلیل مدل‌های سینتیکی:** رفتار واکنش‌ها با استفاده از مدل‌های مختلف سینتیکی مانند مدل‌های اول و دوم چیدمان مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌ها بر اساس این مدل‌ها تجزیه و تحلیل شدند تا رابطه بین غلظت و سرعت واکنش بررسی شود.

- **مدل‌های تجربی:** از معادلات تجربی برای تعیین ثابت‌های دینامیکی و سرعت واکنش در شرایط مختلف استفاده شد، که توانست دقت بیشتری را در پیش‌بینی رفتار واکنش فراهم کند.

۶- ترسیم نمودارها

نمودارهای زیر در نرم‌افزارهای تحلیلی تهیه و تجزیه و تحلیل شدند:

- نمودار روند سرعت: برای نمایش تأثیر دما و فشار بر روی سرعت واکنش‌ها.
- نمودار آرنیوس: برای نمایش وابستگی ثابت سرعت به دما و انرژی فعال‌سازی.
- نمودارهای عناصر مختلف: برای نشان دادن تأثیر نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش.
- نمودارهای مدل‌های سینتیکی: برای بررسی دقیق سرعت واکنش‌ها براساس مدل‌های ریاضی.

۷- آزمایش‌ها

در این تحقیق، چندین واکنش شیمیایی منتخب با توجه به ویژگی‌های فیزیکی خاص آن‌ها بررسی شد. آزمایش‌ها به‌گونه‌ای طراحی شدند که تأثیر دما، فشار، نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها را بر سرعت واکنش‌ها مورد بررسی قرار دهند. در ادامه، مراحل انجام هر آزمایش به تفصیل شرح داده می‌شود:

۱. آزمایش بررسی تأثیر دما و فشار بر روی سرعت واکنش‌ها

هدف: هدف از این آزمایش بررسی چگونگی تأثیر دما و فشار، بر سرعت واکنش بین گازهای هیدروژن (H_2) و اکسیژن (O_2) است. این واکنش تولید آب (H_2O) را به دنبال دارد و با تغییر دما و فشار می‌توان تأثیر این دو عامل را بر سرعت واکنش تحلیل کرد.

مواد و وسایل

- گاز هیدروژن (H_2): مورد استفاده برای واکنش.
- گاز اکسیژن (O_2): مورد استفاده برای واکنش.
- بالن واکنش: ظرفی که واکنش در آن انجام می‌شود.
- دماسنج: برای اندازه‌گیری دما.
- فشارسنج: برای اندازه‌گیری فشار گازها.
- لوله‌های آزمایشی: برای انجام برخی آزمایش‌های فرعی و نمونه‌گیری.
- سوخت (پمپ): برای تأمین فشار و کنترل شرایط محیطی.

شرح آزمایش

۱. آماده‌سازی

- پرکردن بالن: بالن واکنشی را با مقادیر معینی از H_2 و O_2 پر کنید. برای مثال، می‌توانید از نسبت‌های مولی ۲:۱ استفاده کنید که نشان‌دهنده نسبت مولی واکنش‌دهنده‌ها در تولید آب است. این کار را باید در یک فضا با تهویه مناسب و به دور از منابع آتش‌زا انجام دهید.

- کنترل دما: دماها را از ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور گام به گام آزمایش کنید. می‌توانید دما را با استفاده از یک گرم‌کن یا یخ، کنترل کنید. قبل از ادامه آزمایش، در هر مرحله، مطمئن شوید که دما به مقدار دلخواه رسیده است.

۲. انجام واکنش

- ثبت دما و فشار: با استفاده از دماسنج و فشارسنج، دما و فشار درون بالن را ثبت کنید. این داده‌ها برای تحلیل نتایج، بسیار حیاتی هستند.

- اندازه‌گیری زمان تولید آب: بلافاصله پس از شروع واکنش، زمان لازم برای مشاهده تولید آب (تجمع بخار آب در دیواره‌ی بالن یا تغییرات دیگر در سیستم) را اندازه‌گیری کنید. می‌توانید از یک تایمر استفاده کنید تا زمان دقیق شروع و پایان واکنش را ثبت کنید.

- محاسبه سرعت واکنش: با استفاده از زمان اندازه‌گیری‌شده و مقادیر واکنش‌دهنده‌ها، سرعت واکنش را محاسبه کنید.

۳. تکرار آزمایش

- تکرار در فشارهای مختلف: برای بررسی تأثیر فشار بر سرعت واکنش، فرآیند را برای فشارهای مختلف (مانند ۱ و ۲ اتمسفر) با دماهای یکسان، دوباره تکرار کنید. برای این کار می‌توانید از پمپ برای افزایش فشار در بالن استفاده کنید.

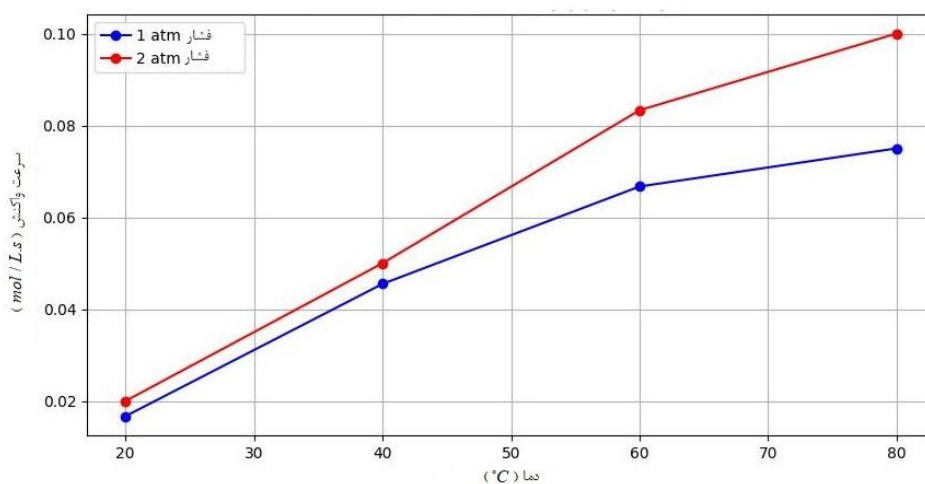
- ثبت داده‌ها: در هر مرحله از تکرار، دما و فشار را ثبت و زمان لازم برای تولید آب را اندازه‌گیری کنید. این داده‌ها برای تحلیل اثر فشار بر سرعت واکنش بسیار مهم خواهند بود.

- تحلیل نتایج

پس از جمع‌آوری داده‌ها، می‌توانید تأثیر دما و فشار را بر سرعت واکنش‌ها تحلیل کنید. معمولاً با افزایش دما، سرعت واکنش، افزایش می‌یابد، زیرا انرژی مولکولی بیشتری وجود دارد که منجر به برخوردهای مؤثرتر می‌شود. همچنین، افزایش فشار به معنی افزایش تعداد مولکول‌ها در واحد حجم است که می‌تواند سرعت واکنش را نیز افزایش دهد. در جدول ۱ داده‌های حاصل و نمودار شکل ۱ نتایج مربوط به این آزمایش را ارائه می‌دهد.

جدول ۱- داده‌ها برای تأثیر دما و فشار بر روی سرعت واکنش‌ها

سرعت واکنش ($mol / L.s$)	زمان واکنش (s)	فشار (atm)	دمای ($^{\circ}C$)
0.0167	60	1	20
0.0455	30	1	40
0.0667	20	1	60
0.0750	15	1	80
0.0200	50	2	20
0.0500	25	2	40
0.0833	15	2	60
0.1000	10	2	80



شکل ۱- تأثیر دما و فشار بر روی سرعت واکنش‌ها

شکل ۱ نشان‌دهنده‌ی تأثیر دما و فشار بر سرعت واکنش است. با افزایش دما، هر دو فشار (۱ و ۲ اتمسفر) به وضوح افزایش سرعت واکنش را نشان می‌دهند. این نشان می‌دهد که دما، نقش مهمی در افزایش انرژی ذاتی مولکول‌ها و در نتیجه تسریع واکنش‌ها دارد. بخصوص در فشار بالاتر (۲ اتمسفر)، سرعت واکنش سریع‌تر افزایش می‌یابد، که احتمالاً به دلیل تراکم بیشتر مولکول‌ها و افزایش احتمال برخوردهای مؤثر است. این نتایج به‌خوبی بیانگر قانون عمومی شیمی هستند که براساس آن با افزایش دما و فشار، سرعت واکنش‌ها تقویت می‌شود.

۲. آزمایش برای نمودار آرنیوس

هدف: هدف این آزمایش بررسی وابستگی ثابت سرعت واکنش به دما و محاسبه انرژی فعال‌سازی E_a با استفاده از معادله آرنیوس است. این مطالعه به ما کمک می‌کند تا درک بهتری از دینامیک واکنش‌ها و تأثیر دما بر میزان واکنش‌ها پیدا کنیم.

مواد و وسایل:

- HCl (محلول ۱.۰ مولار): این اسید قوی به عنوان واکنش دهنده اولیه استفاده می شود.

- NaOH (محلول ۱.۰ مولار): این پایه قوی برای بی اثر کردن HCl به کار می رود.

- بالن ارلن: برای مخلوط کردن و واکنش دو محلول استفاده می شود.

- دماسنج: جهت اندازه گیری دقت دما در حین واکنش.

- گرم کن: برای تنظیم و حفظ دما در مقادیر مختلف.

- ظرف ایمنی: برای ایمنی در هنگام کار با مواد شیمیایی خطرناک.

شرح آزمایش:

۱. آماده سازی محلول ها:

- در ابتدا، مقدار معینی از محلول HCl (1.0 M) و NaOH (1.0 M) را به طوری که نسبت مولی مناسب

بین آنها حفظ شود، در یک بالن ارلن قرار دهید. می توان از نسبت ۱:۱ برای واکنش کامل استفاده کرد.

۲. تنظیم دما:

- با استفاده از گرم کن، دماهای مختلف (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ درجه سانتی گراد) را به تدریج تنظیم کنید. اطمینان

حاصل کنید که دما به درستی با دماسنج، اندازه گیری می شود. این مرحله اهمیت ویژه ای دارد، زیرا دما می تواند تأثیر

قابل توجهی بر سرعت واکنش و در نتیجه بر ثابت سرعت داشته باشد.

۳. انجام واکنش:

- هنگامی که دما به نقطه مورد نظر رسید، به آرامی و به طور هم زمان مقدار معینی از محلول NaOH را به بالن

حاوی HCl اضافه کنید.

- بلافاصله زمان شروع واکنش را ثبت کنید و زمان لازم برای تغییرات مشخصی را که نشان دهنده پایان واکنش

است (مانند تغییر رنگ یا دما) ثبت نمایید. ثابت سرعت k در این آزمایش با استفاده از روش های سینتیکی اندازه گیری

می شود. در این روش، واکنش بین محلول های HCl و NaOH به صورت هم زمان انجام می شود. زمان لازم برای تکمیل

واکنش در دماهای مختلف (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) اندازه گیری می شود. با توجه به واکنش خنثی سازی،

تغییر غلظت یکی از واکنش دهنده ها (HCl یا NaOH) در زمان خاصی ثبت می شود. با استفاده از رابطه زیر، مقدار k

محاسبه می شود:

$$k = \frac{1}{t} \cdot \ln \left(\frac{[A]_0}{[A]} \right)$$

که در آن $[A]_0$ غلظت اولیه و $[A]$ غلظت باقی مانده در زمان t می باشد. برای تعیین عامل پیش ساز A و انرژی فعال سازی E_a ، از رابطه آرنیوس استفاده می شود:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

در اینجا:

- مقادیر T برای هر دما به کلوین تبدیل و در معادله جای گذاری می شود.

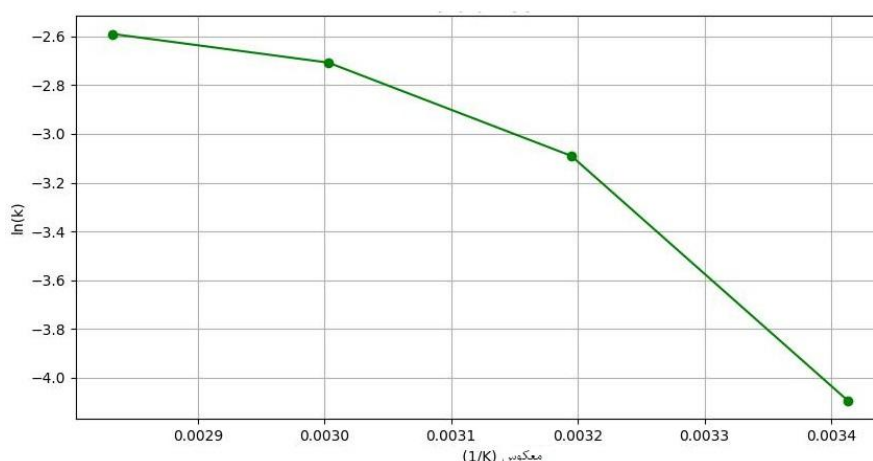
- با توجه به مقادیر به دست آمده از جدول و رسم نمودار $\ln(k)$ نسبت به $\frac{1}{T}$ ، می توان شیب و عرض از مبدأ را

محاسبه کرد. شیب نمودار به ما $-\frac{E_a}{R}$ و عرض از مبدأ به ما $\ln(A)$ را می دهد. جدول ۲ داده ها و نمودار شکل ۲ نتایج

این داده ها را برای آزمایش دوم نشان می دهد.

جدول ۲- داده ها برای نمودار آرنیوس

دما (K)	ثابت سرعت (k) ($mol / L.s$)	$\ln(k)$
293	0.0167	-4.0900
313	0.0455	-3.0922
333	0.0667	-2.7100
353	0.0750	-2.5903



شکل ۲- وابستگی ثابت سرعت به دما و انرژی فعال سازی (نمودار آرنیوس)

شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی وابستگی ثابت سرعت به دما با استفاده از معادله آرنیوس است. با کاهش دما (و در نتیجه افزایش معکوس دما) به‌وضوح ثابت سرعت (k) به صورت نمایی کاهش می‌یابد. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش کاهش می‌یابد. به‌طور خاص، مقادیر منفی $\ln(k)$ با افزایش دما به سمت چپ نمودار کاهش می‌یابند که نمایان‌گر افزایش فعالیت شیمیایی با افزایش دما است. این نتایج با پیش‌بینی‌های نظری منطبق است و تأییدکننده این است که انرژی فعال‌سازی حرارتی برای واکنش‌های تعادلی بسیار مورد توجه است.

۳. آزمایش تأثیر نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها

هدف: هدف این آزمایش بررسی تأثیر نوع واکنش‌دهنده‌ها و کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش است. با مطالعه این تأثیرات، می‌توانیم درک عمیق‌تری از مکانیسم‌های واکنش‌ها و نحوه تسریع آن‌ها با استفاده از کاتالیست‌ها به‌دست آوریم.

مواد و وسایل:

H_2O_2 (محلول ۱۰.۰ مولار): پراکسید هیدروژن به‌عنوان واکنش‌دهنده اصلی در این آزمایش عمل می‌کند.

KI (محلول ۱۰.۰ مولار): یدید پتاسیم به‌عنوان واکنش‌دهنده دوم و پیش‌ساز برای تولید یدید به کار می‌رود.

کاتالیست‌های مختلف:

MnO_2 : دی‌اکسید منگنز به‌عنوان کاتالیست برای تسریع واکنش.

– یدید پتاسیم (KI): به عنوان کاتالیست در غلظت‌های مختلف.

– بالن ارلن: برای مخلوط کردن و انجام واکنش‌ها استفاده می‌شود.

– دماسنج: جهت نظارت بر دما در طول آزمایش.

– لوله‌های آزمایش: برای انجام واکنش‌های جداگانه و اندازه‌گیری‌های بیشتر.

شرح آزمایش:

۱. آماده‌سازی محلول‌ها:

– مقدار مشخصی از محلول H_2O_2 (1.0 M) و KI (1.0 M) را در یک بالن ارلن ترکیب کنید. لازم است که

نسبت مولی بین این دو ماده به‌درستی رعایت شود تا بتوانند واکنش بهینه‌ای انجام دهند.

– همچنین، برای آزمایش تأثیر غلظت‌های مختلف KI ، تعدادی از لوله‌های آزمایش را با غلظت‌های مختلف (مثلاً

0.5 M و 1.5 M) پر کنید و هر کدام را جداگانه آماده نمایید.

۲. انجام واکنش با کاتالیست:

- در یک ارلن، واکنش H_2O_2 و KI را بدون افزودن کاتالیست انجام دهید. زمان لازم برای ایجاد تغییرات قابل مشاهده (تولید کف و تغییرات ظاهری) را ثبت کنید.

- سپس، از کاتالیست MnO_2 استفاده کنید و این دو واکنش را تکرار کنید. زمان صفر شدن کف را نیز در این حالت ثبت کنید. این تفاوت‌ها به ما کمک می‌کند تا تأثیر کاتالیست را بررسی کنیم.

۳. بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف KI:

- ترکیبات مختلف KI با غلظت‌های متفاوت (به عنوان مثال 0.5 M، 1.0 M و 1.5 M) را در لوله‌های آزمایش قرار دهید. سپس به هر یک از آن‌ها مقدار ثابتی از H_2O_2 اضافه کنید و زمان لازم برای تشکیل کف و تغییرات را ثبت کنید.

- این داده‌ها به ما نشان می‌دهد که چگونه تغییر غلظت‌های واکنش دهنده بر سرعت واکنش تأثیر می‌گذارد.

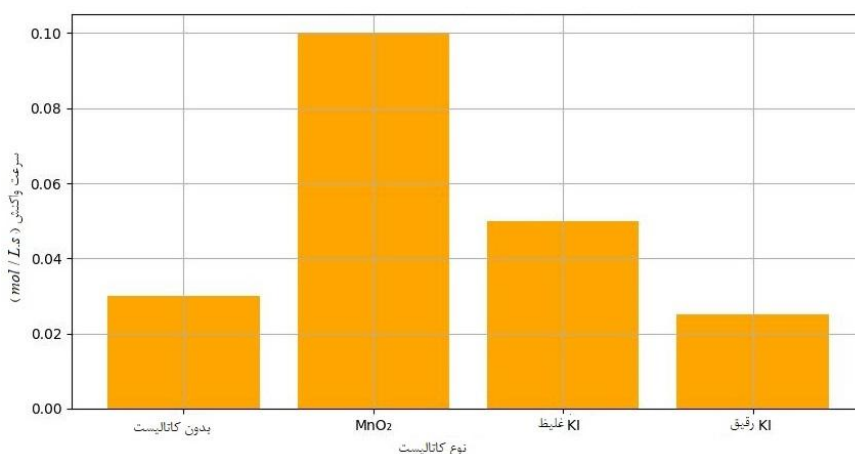
۴. محاسبه سرعت واکنش:

- با جمع‌آوری داده‌ها در مورد زمان‌ها و غلظت‌ها، سرعت واکنش را برای هر ترکیب محاسبه کنید. این محاسبات

بینش‌های ارزشمندی را در مورد تأثیرات مختلف ارائه خواهد داد. جدول ۳ داده‌ها و نمودار شکل ۳ نتایج این داده‌ها را برای آزمایش سوم نشان می‌دهند.

جدول ۳- داده‌ها برای تأثیر نوع واکنش دهنده‌ها و کاتالیست‌ها

نوع کاتالیست	زمان واکنش (s)	سرعت واکنش ($mol / L.s$)
بدون کاتالیست	30	0.0300
MnO_2	10	0.1000
KI غلیظ	20	0.0500
KI رقیق	40	0.0250



شکل ۳- تأثیر نوع واکنش دهنده‌ها و کاتالیست‌ها بر سرعت واکنش.

شکل ۳ به بررسی تأثیر کاتالیست‌ها و نوع واکنش‌دهنده‌ها بر سرعت واکنش می‌پردازد. کاتالیست‌ها مزایای متعددی دارند که شامل موارد زیر است:

کاتالیست‌ها می‌توانند مسیرهای جایگزین با انرژی فعال‌سازی کمتر را فراهم کنند، که منجر به افزایش سرعت واکنش می‌شود (کاهش انرژی فعال‌سازی)، با استفاده از آن‌ها، سرعت واکنش‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، که این امر در فرآیندهای صنعتی بسیار حائز اهمیت است (افزایش سرعت واکنش)، همچنین، کاتالیست‌ها می‌توانند به انتخاب‌پذیری واکنش‌ها کمک کنند و محصولاتی با خلوص بالاتر تولید کنند (انتخاب‌پذیری).

در این تحقیق، از کاتالیست‌های خاصی برای بررسی تأثیر آن‌ها بر سرعت واکنش‌ها استفاده شده است. انتخاب این کاتالیست‌ها به دلایل زیر انجام شده است:

کاتالیست‌های MnO_2 : این کاتالیست به دلیل توانایی بالای خود در کاهش انرژی فعال‌سازی و تسریع واکنش‌ها، به طور خاص انتخاب شده است. MnO_2 به عنوان یک کاتالیست غیرآلی شناخته می‌شود که در واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش به خوبی عمل می‌کند.

کاتالیست‌های KI : این کاتالیست‌ها به دلیل قابلیت‌های خود در تسریع واکنش‌های خاص، به ویژه در واکنش‌های کاتالیزوری، انتخاب شده‌اند. KI به عنوان یک کاتالیست غیرفعال در واکنش‌های شیمیایی عمل می‌کند و می‌تواند سرعت واکنش را افزایش دهد.

لازم به ذکر است که می‌توان از سایر کاتالیست‌ها به عنوان جایگزین استفاده کرد. انتخاب کاتالیست مناسب، بستگی به نوع واکنش، شرایط واکنش و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کاتالیست دارد. به عنوان مثال، در برخی واکنش‌ها، کاتالیست‌های آلی می‌توانند به عنوان جایگزین‌های مؤثر عمل کنند و در شرایط خاصی بهتر از کاتالیست‌های غیرآلی عمل کنند. از طرف دیگر، کاتالیست‌های نانو به دلیل سطح فعال بالاتر و ویژگی‌های منحصر به فرد خود، می‌توانند در بسیاری از واکنش‌ها به عنوان گزینه‌های مناسبی مطرح شوند. در نهایت، انتخاب کاتالیست مناسب می‌تواند، تأثیر زیادی بر روی سرعت واکنش و کیفیت محصولات نهایی داشته باشد. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که کاتالیست MnO_2 به طور قابل توجهی سرعت واکنش را افزایش می‌دهد و به 0.1 مولار بر ثانیه می‌رسد، درحالی که بدون کاتالیست، سرعت به 0.03 مولار بر ثانیه محدود می‌شود. استفاده از KI (غلیظ و رقیق) نیز سرعت واکنش‌ها را نسبت به حالت بدون کاتالیست افزایش می‌دهد، اما نه به اندازه MnO_2 . این نتایج تأکید می‌کنند که انتخاب کاتالیست مناسب می‌تواند، تأثیر چشمگیری بر سرعت واکنش‌ها داشته باشد و نشان‌دهنده اهمیت کاتالیست‌ها در تسهیل واکنش‌های شیمیایی است.

۴. آزمایش بررسی دقیق سرعت واکنش‌ها بر اساس مدل‌های سینتیکی

هدف: هدف این آزمایش، بررسی سرعت واکنش بر اساس مدل‌های سینتیکی و تعیین مرتبه واکنش از طریق تحلیل داده‌های تجربی است. این اطلاعات می‌تواند به ما کمک کند تا درک بهتری از رفتار شیمیایی واکنش‌ها و عوامل مؤثر بر سرعت آنها پیدا کنیم.

مواد و وسایل:

- گاز دی‌اکسید کربن (CO_2): به‌عنوان محصول جانبی بررسی می‌شود.
- سدیم بی‌کربنات (NaHCO_3): واکنش‌دهنده اصلی در تولید CO_2 از طریق واکنش با اسید.
- بالن ارلن: برای مخلوط کردن و انجام واکنش‌ها به کار می‌رود.
- ترازوی دقیق: جهت اندازه‌گیری دقیق مقدار NaHCO_3 مورد استفاده.
- لوله‌های آزمایشی: برای انجام آزمایش‌های کمی و ثبت داده‌ها.

شرح آزمایش:

۱. آماده‌سازی محلول‌ها:

- مقدار مشخصی از سدیم بی‌کربنات (NaHCO_3) را با استفاده از ترازوی دقیق در بالن ارلن اندازه‌گیری کنید. مقادیر مختلفی از NaHCO_3 را برای آزمایش انتخاب کنید (به‌عنوان مثال، ۱ گرم، ۲ گرم و ۳ گرم) تا تأثیر غلظت بر سرعت واکنش را بررسی کنید.

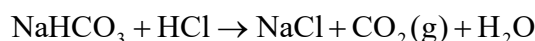
- سپس، مقدار معینی از اسید (مانند HCl) را که می‌تواند در واکنش با NaHCO_3 به گاز CO_2 تبدیل شود، آماده کنید. دقت کنید که غلظت اسید در طول آزمایش ثابت باقی بماند تا تأثیر آن بر سرعت واکنش دقیقاً سنجیده شود.

۲. انجام واکنش:

- سدیم بی‌کربنات را در بالن ارلن قرار داده و سپس به آرامی اسید را به آن اضافه کنید. برای شروع واکنش، باید به‌سرعت مخلوط را هم بزنید.

- زمان لازم برای تولید گاز CO_2 را از شروع واکنش ثبت کنید. این زمان به ما کمک می‌کند تا سرعت واکنش را در شرایط مختلف (در دماهای مختلف و با اندازه‌های مختلف NaHCO_3) محاسبه کنیم.

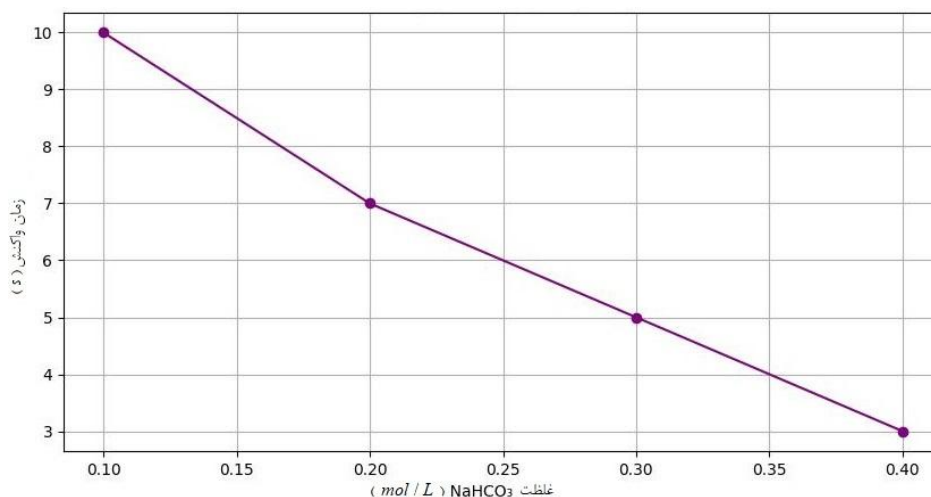
- واکنش بین NaHCO_3 و HCl به صورت زیر است:



جدول ۴ داده‌ها و نمودار شکل ۴ نتایج این داده‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۴- داده‌ها برای بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش

زمان واکنش (s)	غلظت NaHCO_3 (mol/L)
10	0.1
7	0.2
5	0.3
3	0.4



شکل ۴- تأثیر غلظت بر زمان واکنش

شکل ۴ تأثیر غلظت NaHCO_3 بر زمان واکنش را بررسی می‌کند. همان‌طور که غلظت افزایش می‌یابد، زمان واکنش کاهش می‌یابد. این نتیجه به وضوح نشان‌دهنده این است که افزایش غلظت واکنش‌دهنده‌ها به افزایش تعداد برخوردهای مؤثر میان مولکول‌ها و در نتیجه تسریع در سرعت واکنش منجر می‌شود. این نتایج همسو با مباحث نظری در زمینه سینیتیک شیمیایی است که هر چه غلظت واکنش‌دهنده بیشتر باشد، سرعت واکنش نیز بالاتر خواهد بود.

تحلیل‌های انجام‌شده بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نشان‌دهنده اهمیت عوامل مختلف مانند دما، فشار، نوع کاتالیز و غلظت در تأثیرگذاری بر سرعت واکنش‌ها هستند. این عوامل نه تنها در فرآیندهای شیمیایی در طبیعت تأثیرگذارند، بلکه در طراحی و بهینه‌سازی واکنش‌های صنعتی نیز بسیار حیاتی هستند. همچنین، نکته مهم در مورد جدول داده‌ها (جدول‌های ۱ تا ۴) این است که مقادیر میانگین داده‌ها برای پارامترهای بررسی شده در جدول‌های ۱ تا ۴ لحاظ گردیده است.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر تأکید می‌کند که سینتیتیک شیمیایی نه تنها به سرعت واکنش‌ها بلکه به ارتباط عمیق بین مفاهیم فیزیکی و شیمیایی می‌پردازد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌ها نشان داد که عوامل فیزیکی مانند دما، فشار و غلظت، تأثیرات قابل توجهی بر سرعت واکنش‌ها دارند. به‌ویژه، افزایش دما و فشار نه تنها بر برقراری توازن در واکنش‌ها مساعدت می‌کند بلکه انرژی فعال‌سازی را نیز کاهش می‌دهد، که این امر ارتباط نزدیکی با قوانین حرکت در فیزیک دارد. علاوه بر این، استفاده از کاتالیست‌ها و بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش‌ها نشان می‌دهد که پیوند بین فیزیک و شیمی می‌تواند در درک و بهینه‌سازی فرآیندهای شیمیایی بسیار مؤثر باشد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها نیز به‌خوبی نمایانگر این است که مدل‌سازی سینتیتیک و تحلیل‌های تجربی می‌تواند به‌عنوان ابزارهایی قوی برای درک بهتر و عمیق‌تر منطق ورای واکنش‌های شیمیایی عمل کند. در نهایت، این مقاله تأکید می‌کند که یک رویکرد چندرشته‌ای میان فیزیک و شیمی می‌تواند به یادگیری عمیق‌تری از مفاهیم علمی و بهبود نحوه تدریس این رشته‌ها منجر شود. با تعمیق در درک روابط بنیادی بین حرکت و واکنش‌های شیمیایی، می‌توان بهبود قابل توجهی در آموزش و پژوهش‌های آینده در این حوزه‌ها حاصل نمود.

مشارکت نویسندگان

۱. ناصر کریمی - ۵۰٪

۲. مرضیه یحیوی - ۵۰٪

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از حمایت مالی دانشگاه فرهنگیان برای انجام این کار پژوهشی تحت پروژه پسادکتری به شماره ۶۰۰/۱۷۳۴۰/۵۰۰۰۰ تشکر و قدردانی نمایند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع

- Atkins, P. W., De Paula, J., Keeler, J. (2023). *Atkins' physical chemistry*. Oxford university press.
- Azizian, S. (2004). Kinetic models of sorption: a theoretical analysis. *Journal of colloid and Interface Science*, 276(1), 47-52.
- Begaliyev, J., Otojonova, N., Tadjibaev, I. (2021). The role of physics in the teaching of exact and natural sciences. *Academic research in educational sciences*, 2(5), 42-57 .
- Buzzi-Ferraris, G., Manenti, F. (2009). Kinetic models analysis. *Chemical Engineering Science*, 64(5), 1061-1074.
- Cakmakci, G., Leach, J., Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1795-1815 .
- Cavallotti, C. (2023). Automation of chemical kinetics: Status and challenges. *Proceedings of the Combustion Institute*, 39(1), 11-28.
- Chu, Y.-M., Nazir, U., Sohail, M., Selim, M. M., Lee, J.-R. (2021). Enhancement in thermal energy and solute particles using hybrid nanoparticles by engaging activation energy and chemical reaction over a parabolic surface via finite element approach. *Fractal and Fractional*, 5(3), 119.
- Hamid, A., Maqsood, Z., Farooq, N. (2025). Significance of Activation energy and binary chemical reaction effects on mixed convection Falkner-Skan flow of nanofluid along a wedge. *International Journal of Thermofluids*, 101070.
- Justi, R. (2002). Teaching and learning chemical kinetics. *Chemical education: Towards research-based practice*, 293-315.
- Lugt, P. M. (2023). On the use of the Arrhenius equation to describe the impact of temperature on grease life. *Tribology International*, 179, 108152.
- Mathews, M., Glencross, M., Kentane, L. (2000). Conceptual integration of some basic concepts in Physics and Chemistry among Science Foundation year students. *South African Journal of Higher Education*, 14(1), 160-165.
- Miller, J. A., Sivaramakrishnan, R., Tao, Y. (2021). Combustion chemistry in the twenty-first century: Developing theory-informed chemical kinetics models. *Progress in Energy and Combustion Science*, 83, 100886.
- Monk, P. M. (2008). *Physical chemistry: understanding our chemical world*. John Wiley and Sons.
- Musil, F., Grisafi, A., Bartók, A. P., Ortner, C., Csányi, G., Ceriotti, M. (2021). Physics-inspired structural representations for molecules and materials. *Chemical Reviews*, 121(16), 9759-9815.
- Özay, B., McCalla, S. E. (2021). A review of reaction enhancement strategies for isothermal nucleic acid amplification reactions. *Sensors and Actuators Reports*, 3, 100033.
- Peeples, W., Rosen, M. K. (2021). Mechanistic dissection of increased enzymatic rate in a phase-separated compartment. *Nature chemical biology*, 17(6), 693-702.
- Piskulich, Z. A., Mesele, O. O., Thompson, W. H. (2019). Activation energies and beyond. *The Journal of Physical Chemistry A*, 123(33), 7185-7194.

- Rusydi, F., Madinah, R., Puspitasari, I., Mark-Lee, W. F., Ahmad, A., Rusydi, A. (2021). Teaching reaction kinetics through isomerization cases with the basis of density-functional calculations. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(2), 216-227.
- Schneider, B., Krajcik, J., Lavonen, J. (2022). Improving science achievement—Is it possible ?Evaluating the efficacy of a high school chemistry and physics project-based learning intervention. *Educational Researcher*, 51(2), 109-121.
- Serment-Moreno, V., Deng, K., Wu, X. (2015). Pressure effects on the rate of chemical reactions under the high pressure and high temperature conditions used in pressure-assisted thermal processing. *Handbook of food chemistry*, 1, 1-23.
- Tan, P. Q., Yin, Y. F., Hu, Z. Y. (2021). Effects of catalyst physicochemical properties on the catalytic activity of Cu zeolite selective catalytic reduction at different inlet gas conditions. *Energy & Fuels*, 35(22), 18653-18663.
- Taylor, C. J., Pomberger, A. (2023). A brief introduction to chemical reaction optimization. *Chemical Reviews*, 123(6), 3089-3126.
- Vincenzo, A. D., Floriano, M. A. (2020). Elucidating the influence of the activation energy on reaction rates by simulations based on a simple particle model. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3630-3637.
- Yang, P., Liu, C., Guo, Q., Liu, Y. (2021). Variation of activation energy determined by a modified Arrhenius approach: Roles of dynamic recrystallization on the hot deformation of Ni-based superalloy. *Journal of materials science & technology*, 72, 162-171.
- Zhan, C., Yi, J., Hu, S. (2023). Plasmon-mediated chemical reactions. *Nature Reviews Methods Primers*, 3(1), 12.