بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

۹۴۱۵۷

دانشکدهٔ کشاورزی

گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی

پایان‌نامه

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی علوم و صنایع غذایی

عنوان

# شبیه سازی و بهینه سازی پروتئولیز و لیپولیز در طی رسیدگی پنیر سفید ایرانی تولید شده به روش UF

استاد راهنما

دکتر ناصر همدمی

استادان مشاور

دکتر جواد حصاری  دکتر اکبر تقی زاده

پژوهشگر

حسین عباسی منفرد

شهریور ماه ۱۳۸۶

۹۴۱۵۷

| |
|---|
| نام خانوادگی دانشجو: عباسی منفرد نام: حسین |
| عنوان پایان‌نامه: شبیه سازی و بهینه سازی پروتئولیز و لیپولیز در طی رسیدگی پنیر سفید ایرانی تولید شده به روش UF |
| استاد راهنما: دکتر ناصر همدمی |
| استادان مشاور: دکتر جواد حصاری دکتر اکبر تقی‌زاده |
| مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: علوم و صنایع غذایی دانشگاه: تبریز |
| دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور۱۳۸٦ تعداد صفحه:۹۰ |
| کلید واژه‌ها : پنیرUF، رسیدن، پروتئولیز، لیپولیز، دما، مدلسازی، معادله آرنیوس، خواص فیزیکوشیمیایی |
| چکیده:<br>رساندن پنیر یکی از مهمترین مراحل در طی آماده سازی پنیر می‌باشد. در پنیر UF حضور پروتئین های آب پنیر در داخل دلمه، موجب بروز صفات و رفتارهای غیر عادی در این محصول می‌گردد که از جمله آنها می توان به رسیدن کند، عطر و طعم ضعیف و بافت نرم و نامطلوب اشاره کرد. با توجه به اینکه دما و زمان از مهمترین عوامل بیرونی قابل کنترل در رسیدن پنیر محسوب می شوند در این تحقیق سعی شده است به مطالعه اثر این عوامل بر روی رساندن پنیر سفید ایرانی تهیه شده به روش UF پرداخته شده و از تکنیک مدلسازی برای پیش‌بینی تغییرات کمی و کیفی ایجاد شده بعنوان تابعی از عوامل مذکور در طی رسیدن پنیر با هدف کنترل فرایند استفاده شود. به این منظور، نمونه های پنیر تولیدی در شرکت شیر و پاستوریزه پگاه تبریز در دماهای (°C ۲۰ ,۱۵ ,۱۰ , ۵) قرار داده شده و در پایان هر مقطع زمانی (۹ و ٦، ۳، ۱ هفته ) نمونه ها مورد آنالیز قرار گرفتند. متغیرهای PH٤/٦-SN وNPN ( به عنوان شاخص میزان پروتئولیز) و ADV (شاخص میزان |

لیپولیز)، تغییرات بافت، نمک، رطوبت، pH و ویژگیهای حسی برآورد شده و پس از تجزیه آماری داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS، مدلسازی داده ها به کمک نرم افزارهای MatLab و Excel انجام گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که بر خلاف انتظار با افزایش دما، مقدار ازت محلول افزایش نمی یابد. به نظر می‌رسد خروج بخشی از پروتئینهای آب پنیر باقیمانده در داخل پنیر UF در اثر سینرسیس بالا و یا تاثیر کاهش رطوبت و pH در دماهای بالا در این پدیده مؤثر باشد. بالا بردن دما و گذر زمان موجب افزایش معنی‌داری هم در مورد میزان ازت غیر پروتئینی و هم در مورد میزان لیپولیز (ADV) شد. دمای بالا، موجب کاهش بیشتری در pH می شود در حالیکه گذر زمان در هفته های اول موجب کاهش و سپس افزایش pH می گردد به طوری که کمترین pH در هفته سوم و دمای ۲۰°C مشاهده گردید. افزایش دما موجب کاهش رطوبت نمونه های پنیر می شود ولی این تفاوت مابین دمای ۵ و ۱۰°C معنی‌داری نبود. گذر زمان در دماهای ۱۵ و ۲۰°C موجب کاهش شدیدی در مقدار رطوبت پنیر در اثر پدیده سینرسیس شد. با توجه به سینرسیس زیاد و کاهش کیفیت پنیرها پس از هفته ششم در دمای ۲۰°C و نیز طعم پایین پنیرهای رسانده شده در ۵ و ۱۰°C، رساندن در دمای ۱۵ °C مناسبتر از بقیه تیمارها به نظر می رسد. در بعضی تکرارها در دمای ۵°C، شل شدگی مشاهده شد. سفتی بافت بعنوان تابعی از دما و زمان بترتیب تا دمای ۱۵ °C و هفته ششم افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. از معادلات سینتیکی درجه صفر، درجه اول و ویبل وهمچنین معادله آرنیوس به منظور توصیف تغییرات ویژگیهای اندازه گیری شده بعنوان تابعی از عوامل بیرونی استفاده شده و میزان مطابقت هر مدل با داده‌های آزمایشگاهی برآورد گردید.

تقدیم به خانواده گرامی‌ام:

پدر و مادرم عزیزم

برادرانم حسن، ابوالفضل، میلاد

و خواهر عزیزم الناز

به پاس حمایتها و صبوریشان

## تقدیر و تشکر

خداوند را شکر می‌کنم که مرحله‌ای دیگر از زندگی را در سایه رحمتش، با موفقیت به پایان رساندم. بدون شک انجام این پایان‌نامه با همکاری اساتید بزرگوار و دوستان گرامی‌ام میسر نبود که شاگردی این اساتید و آشنایی با دوستان را افتخاری بزرگ دانسته و تشکر صمیمانه از این عزیزان را وظیفه خود می‌دانم.

از زحمات و سعه صدر استاد راهنمای گرامی‌ام جناب آقای **دکتر ناصر همدمی** که با راهنماییهای ارزنده و صبورانه خود اینجانب را مورد لطف خود قرار دادند سپاسگزاری می‌نمایم.

از استادان مشاورم جناب آقای **دکتر جواد حصاری** و دکتر **اکبرتقی‌زاده** کمال تشکر را دارم.

از داور محترم پایان‌نامه جناب آقای **دکتر محمد علیزاده** که هم در اجرای پایان‌نامه از اطلاعات ایشان استفاده نمودم و هم زحمت داوری پایان‌نامه را متقبل شدند، قدردانی می‌نمایم.

از سرکار خانم دکتر ملیحه امیرذهنی و دکتر محمد مقدم به خاطر همکاریشان در تنظیم این طرح تشکر می‌نماییم و نیز از اساتید محترم گروه علوم و صنایع غذایی (آقای مهندس جلالی، دکتر احمدی، خانم مهندس قیاسی‌فر، مهندس ایاسه، دکتر قنبرزاده، دکتر بزمی و دکتر پیغمبردوست) سپاسگزارم.

از مسئول محترم آزمایشگاه گروه علوم‌وصنایع غذایی سرکار خانم مهندس‌احمدی و همکلاسی‌های عزیزم مخصوصا جناب آقای مهندس کوروش‌رحمانی و خانم مهندس رودابه محمدی تشکر می‌کنم.

از اساتید محترم سایر گروههای آموزشی (دکتر مطلبی، دکتر نیکنام، دکتر حداد، دکتر زهتاب، دکتر قاسمی و دکتر طباطبایی) و نیز از مسئولین محترم آزمایشگاهها (سرکار خانم مهندس شریعت، شکوئی، شربیانلو و آقایان مهندس اسماعیل‌زاده و جهانگیری) نیز صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

از مدیریت و کارکنان **شرکت شیر پاستوریزه پگاه تبریز** مخصوصا آقای مهندس داوود صوتی و همچنین از سرکار خانم مهندس طباطبایی کارشناس اداره **استاندارد و تحقیقات صنعتی** و خانم مهندس قهرمانی کارشناس **مرکز تحقیقات کشاورزی** تبریز کمال قدردانی را دارم.

از همکاری دوستان گرامی‌ام: آقایان علیلو، میسمی، خسروی، صفرعلیزاده، شرفی، نظری، مهتابی، نصرالله‌زاده، پایا، حسنی و خانمها اسلامی و گنجخانلو سپاسگزارم.

در نهایت از خانواده عزیزم که در تمام مدت تحصیلم با کمال صبوری، به لحاظ مادی و معنوی پشتیبان و مشوق اینجانب بوده‌اند قدردانی نموده و این پایان‌نامه را به این بزرگواران تقدیم می‌کنم.

حسین عباسی منفرد

شهریور ۱۳۸۶

# فهرست مطالب

عنوان صفحه


مقدمه ..... ۱

۱- فصل اول : بررسی منابع ..... ٤

۱-۱ مقدمه ای بر مدلسازی ..... ٤

۱-۲ کاربرد های یک مدل ریاضی: ..... ٦

۱-۳ روش های مدل سازی: ..... ۷

۱-۳-۱ روش تئوری یا پایه : ..... ۷

۱-۳-۲ روش تجربی : ..... ۸

۱-۳-۳ روش نیمه تجربی : ..... ۹

۱-۳-٤ روش تشابه : ..... ۱۰

۱-٤ مراحل مدل سازی : ..... ۱۱

۱-۵ سینتیک و مرتبه واکنش ها : ..... ۱٤

۱-۵-۱ واکنش مرتبه صفر: ..... ۱۵

۱-۵-۲ واکنش مرتبه یک : ..... ۱٦

۱-۵-۳ واکنش های مرتبه دوم : ..... ۱٦

۱-۵-٤ واکنش های مرتبه سوم : ..... ۱۷

۱-۵-۵ سرعت واکنش های کاتالیز شده توسط آنزیم : ..... ۱۷

۱-٦ وابستگی دمایی واکنش ها : ..... ۱۸

۱-۷ رسیدن پنیر: ..... ۱۸

۱-۷-۱ پروتئولیز: ..... ۲۱

۱-۷-۲ لیپولیز : ..... ۲٦

۱-۷-۳ گلیکولیز : ..... ۲۷

۱-۸ تاثیررسیدن (پروتئولیز، لیپولیز و گلیکولیز) بر روی ویژگیهای پنیر: ..... ۲۸

۱-۸-۱ بافت پنیر: ..... ۲۸

۱-۸-۲ تغییرات طعم و آروما : ..... ۲۹

۱-۸-٤ تغییرات رطوبت : ..... ۳۰
۱-۸-٥ تغییرات نمک : ..... ۳۱
۱-۸-٦ تغییرات ازت محلول pH=٤/٦ : ..... ۳۱
۱-۸-۷ تغییرات میزان لیپولیز (ADV) : ..... ۳۲
۱-۹ تفاوت رسیدن پنیر UF و پنیر سنتی : ..... ۳۲
۱-۱۰ عوامل مؤثر بر رسیدن پنیر: ..... ۳۳
۱-۱۰-۱ فعالیت آبی یا رطوبت لخته : ..... ۳۳
۱-۱۰-۲ دمای محیط : ..... ۳٤
۱-۱۰-۳ pH : ..... ۳٥
۱-۱۰-٤ نمک : ..... ۳٦
۱-۱۱ تسریع رساندن پنیرها : ..... ۳۷
۱-۱۲ تاثیر دما بر رسیدن پنیر: ..... ۳۹
۱-۱۳ مطالعه تأثیر دما بر سینتیک واکنشهای رسیدن پنیر: ..... ٤۳
۲ - فصل دوم : مواد و روش ها : ..... ٤۶
۲-۱ دستگاهها، مواد و وسایل مورد استفاده : ..... ٤٦
۲-۲ مراحل انجام پژوهش : ..... ٤٦
۲-۳ مراحل تولید پنیر: ..... ٤۷
۲-٤ آزمایشات مربوط به اندازه گیری متغیرها : ..... ٤۹
۲-٤-۱ اندازه گیری ازت محلول در pH=4.6 ..... ٤۹
۲-٤-۲ اندازه گیری ازت غیر پروتئینی (NPN) : ..... ٤۹
۲-٤-۳ اندازه گیری نمک (روش موهر) : ..... ٤۹
۲-٤-٤ اندازه گیری میزان رطوبت: ..... ٥۰
۲-٤-٥ اندازه گیری pH پنیر : ..... ٥۰
۲-٤-٦ اندازه گیری درجه اسیدی چربی پنیر (ADV) : ..... ٥۰
۲-٤-۷ ارزیابی حسی : ..... ٥۰
۲-٤-۸ آزمون فشردگی : ..... ٥۲
۲-٤-۹ اندازه گیری چربی ( روش ژربر) : ..... ٥۲

۲-۵ مدل سازی : ..... ۵۳
۳- فصل سوم : نتایج و بحث : ..... ۵۶
۳-۱ تغییرات pH : ..... ٥٦
۳-۲ تغییرات رطوبت : ..... ٦٠
۳-۳ تغییرات نمک : ..... ٦٢
۳-٤ تغییرات بافت : ..... ٦٣
۳-۵ تغییرات ازت محلول در pH٤/٦ : ..... ٦٧
۳-٦ تغییرات ازت غیر پروتئینی( TCA- SN ) : ..... ٦٩
۳-۷ نسبت ازت غیر پروتئینی به ازت محلول : ..... ۷۰
۳-۸ درجه اسیدی(شاخص لیپولیز) : ..... ۷۲
۳-۹ ارزیابی حسی: ..... ۷۳
۳-۹-۱ مطلوبیت ظاهر، بافت و بو : ..... ۷۳
۳-۹-۲ مطلوبیت طعم : ..... ۷۵
۳-۹-۳ مطلوبیت کلی : ..... ۷۷
۳-۱۰ مدلسازی داده ها : ..... ۷۹
۳-۱۰-۱ مدلسازی تغییرات درصد ازت محلول در ٤/٦pH : ..... ۷۹
۳-۱۰-۲ مدلسازی تغییرات درصد ازت غیر پروتئینی : ..... ۸۰
۳-۱۰-۳ مدلسازی تغییرات درصد ازت غیر پروتئینی از ازت محلول : ..... ۸۲
۳-۱۰-٤ مدلسازی تغییرات درجه اسیدی (ADV) : ..... ۸٤
۳-۱۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات: ..... ۸۵
منابع مورد استفاده ..... ۸۸

**مقدمه :**

رساندن پنیر فرایندی است که طی آن لخته نرم و کم عطروطعم به پنیری رسیده با عطر و طعم و بافت مطلوب تبدیل می شود. این فرایند شامل یکسری واکنش های پیچیده بیوشیمیایی و احتمالا شیمیایی است که منجربه ایجاد ویژگیهای طعمی، آروما و بافت هر نوع پنیر می شود و اساسا شامل سه فرایند پروتئولیز، لیپولیز و گلیکولیز است. طی این واکنشها، محصولات اولیه و ثانویه تولید می شوند که از این میان، پپتیدها، آمینواسیدها، آمین ها، اسیدها، تیول ها و تیواسترها از طریق پروتئولیز، اسیدهای چرب متیل کتونها، لاکتونها و استرها از طریق لیپولیز، اسیدهای ارگانیک بویژه اسید لاکتیک و نیز اسید استیک، اسید پروپیونیک، دی اکسید کربن، استرها و الکل ها از طریق گلیکولیز تولید می شوند که همه اینها مسؤول خصوصیات عطر و طعم در گونه های مختلف پنیر و منجر به ایجاد ویژگیهای پنیر رسیده می شود. با توجه به اینکه این فرایند هزینه بر و وقت گیر میباشد (مثلا رساندن پنیر چدار ٦تا ۹ماه و رساندن پنیر پارمسان۲سال طول می کشد) لذا تسریع رساندن پنیر از لحاظ اقتصادی خیلی سودمند می باشد. عوامل بسیاری بر سرعت واکنش‌های رسیدن پنیر تاثیرگذار هستند و بنابراین برای تسریع رساندن پنیرها لازم است میزان تاثیر این عوامل و سینتیک واکنشهای رساندن بررسی شود وسپس با استفاده از تکنیکهای بهینه سازی می توان شرایط بهینه را برای تولید پنیر با کیفیت مطلوب در کمترین زمان ممکن تخمین زد. سرعت واکنش های بیوشیمیایی عموما با افزایش دما افزایش می یابد، بنابراین منطقی به نظر می رسد که با افزایش دمای رساندن، سرعت واکنش های بیوشیمیایی که منجر به تولید ترکیبات معطر یا پیش سازهای آنها می شوند، افزایش یابد.

سیستم اولترافیلتراسیون برای فراوری شیر به منظور تولید پنیر در سال ۱۹٦۹ اختراع و به نام مخترعین آن MMV نامیده شد. پنیر فتای تولید شده به روش UF از لحاظ یکنواختی بافت با پنیر

فتای سنتی تفاوت دارد. حضور پروتئین های آب پنیر در این فرآورده باعث نرمی خاص بافت در مقایسه با پنیر سنتی می گردد. مزایای پنیر فتا به روش فراپالایش عبارتند از:

- ✓ افزایش بازده تولید پنیر به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد.
- ✓ کاهش مصرف آنزیم رنت و مایه کشت میکروبی به میزان ۸۰ درصد.
- ✓ ممانعت از هدر رفتن چربی در آب پنیر.
- ✓ صرفه جویی در فضای کار.
- ✓ کاهش BOD[1] پرمیت.

سیستم UF باعث حفظ پروتئین های آب پنیر شده و بنابراین ضمن افزایش راندمان پنیرسازی، موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای پنیر و همچنین صرفه جویی در هزینه های انرژی و نیروی انسانی می شود. با این حال حضور پروتئین های آب پنیر در داخل دلمه پنیرهای UF موجب بروز صفات و رفتارهای غیر عادی این محصول می گردد که از جمله آنها می توان به رسیدن کند، عطر و طعم ضعیف و بافت نرم و نامطلوب اشاره کرد، بنابراین لازم است با بهینه کردن عوامل مؤثر بر رسیدن پنیر، پنیری با کیفیت مطلوب در حداقل زمان ممکن بدست آورد. با توجه به اینکه دما و زمان از مهمترین عوامل مؤثر بر رسیدن می باشند در این تحقیق سعی شده است به مطالعه تأثیر این عوامل بر روی رسیدن پنیرسفید ایرانی تهیه شده به روش UF پرداخته شود. یکی از روش های معمول برای درک پدیده های درگیر در طی هر فرایندی استفاده از شبیه سازی با کمک مدل های ریاضی می باشد. با استفاده از شبیه سازی می توان به درک، پیش بینی و بهینه سازی فرایند به عنوان تابعی از متغیرهای گوناگون با صرف هزینه و زمان کمتر دست یافت. به همین دلیل در این پایان نامه سعی شده است مدلی برای توصیف تغییرات ویژگیهای اندازه گیری شده پنیر مورد مطالعه بعنوان تابعی از دما و زمان توسعه داده شود.

---

[1] Biological oxygen demand

# فصل اول

# بررسی منابع

# ۱- بررسی منابع

## ۱-۱ مقدمه‌ای بر مدلسازی

انسان به کمک دانش و تجربیات خود سعی در فهم دنیای اطراف خویش و پدیده های طبیعت دارد. کوشش وی در این مسیر، طی دوران گذشته، به ایجاد و توسعه شاخه های مختلف علوم و کشف قوانین و محدودیت های حاکم بر این پدیده ها منجر شده است. دانش ریاضی ابزار توانمندی در تفسیر این پدیده ها بوده که به مرور تکامل یافته و به اجزا و زمینه های متنوع و با کاربردهای اختصاصی تقسیم شده است.

بنابراین ریاضیات، و یا حداقل بخش کاربردی آن را می توان دانش تشریح طبیعت و به طور کلی پدیده های موجود در زندگی بشر نامید. نتیجه جزئی آن در هر شاخه از علوم، بدست آوردن و کشف قوانین و روابط حاکم بر پدیده ها بوده است.

به طور اخص در مهندسی، استفاده از ابزار ریاضی باعث شناخت فرایندها می شود. فرایند عبارتست از یکسری از اعمال که بر روی مواد انجام می گیرد. این اعمال می تواند یک انتقال ساده از مکانی به مکان دیگر یا انجام یک واکنش شیمیایی باشد. مدل سازی ریاضی[1] از یک فرایند، بدست آوردن مجموعه معادلاتی است که بیانگر رفتار فرایند است. حل این مجموعه معادلات، نشانگر پاسخ فرایند در مقابل اطلاعات و داده ها ی ورودی است. بنابراین مدل، قالبی برای کمیت سنجی یک فرایند در جهت پیش بینی رفتار آن به ازای مقادیر ورودی و شرایط اعمال شده است که به یک مجموعه معادلات منجر می گردد (رفیع زاده،۱۳۷۹). یک مدل ریاضی، نیازمند بکارگیری یک سری فرضیات است

[1] Mathematical modeling

تا از پیچیدگیهای موضوع کاسته شود لیکن این فرضیات می بایستی معقول بوده و با واقعیات حتی المقدور سازگار باشد. از سویی دیگر هر قدر فرضیات کمتری لحاظ گردد، به همان اندازه مدل کاملتر است و رفتار واقعی سیستم را بهتر تبیین و تفسیر خواهد نمود(خراط، ۱۳۸۱). نوع فرایند تحت بررسی و جزئیات مورد نظر تعیین می کند که معادلات، جبری یا دیفرانسیلی یا ترکیبی از معادلات و اعمال ریاضی باشند. بررسی کمیتی فرایند، که شبیه سازی[۱] نامیده می شود، مهمترین انگیزه مدلسازی است. (رفیع زاده،۱۳۷۹)

مهمترین نتیجه حاصل از یک مدلسازی ریاضی، درک واقعی رفتار سیستم می باشد تا ما را قادر سازد بجای بکارگیری انبوهی از متغیرهای سیستم، رفتار نهایی سیستم را به وضوح بیشتری روشن نماییم. مدل ریاضی می تواند در تمام فرایند های مهندسی شیمی، تحقیقاتی، طراحی عملیات واحد های صنعتی و حتی در اقتصاد و تجارت نیز پیاده گردد (خراط،۱۳۸۱).

مدلسازی ریاضی بر دو نوع می باشد. مدل سازی ریاضی نوع اول، بر مبنای فیزیک مسئله و با توجه به اصل بقای ماده، انرژی و یا ممنتوم بدست می‌آید.نوع دوم مدلسازی بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی است، که هدف از این مدل سازی بدست آوردن یک رابطه ریاضی است که بتوان ارتباط تابع و متغیر مستقل را تعریف نمود. بدیهی است که مدل‌های بدست آمده وابسته به شرایطی است که داده‌ها در آن به دست آمده و در شرایط دیگر قابل استفاده نمی‌باشد. مدل‌سازی بر اساس دو روش عمده زیر می‌باشد :

۱- معادله مدل مشخص بوده و هدف بدست آوردن ضرایب ثابت مدل می‌باشد. برای مثال در معادله تغییرات غلظت با دما تعیین ضرایب مدل مورد نظر است : $C(T) = a + bT$

---

[۱] Simulation

چنانچه داده‌های آزمایشگاهی برای غلظت، در دماهای مختلف وجود داشته باشد، می‌توان ضرایب ثابت a و b را بدست آورد. چنانچه مدل از رابطه خط مستقیم پیروی نکند در بعضی شرایط می توان مدل غیر خطی را به خط مستقیم تبدیل نمود.

۲- مدل مشخص نبوده و هدف بدست آوردن بهترین مدلی است که نمایانگر رفتار واقعی سیستم باشد. در ابتدا، داده های آزمایشگاهی را در مختصات دکارتی رسم نموده و بهترین معادله‌ای که از بیشتر نقاط عبور می کند بدست می‌آوریم. چنانچه نقاط حول خط راست قرار بگیرند، از معادله خط می‌توان استفاده نمود و اگر نقاط حول یک منحنی قرار بگیرند از روش تطبیق یک منحنی استفاده می‌کنیم. در این روش همانند قسمت اول می‌توان داده‌ها را بصورت معادله خط در آورد. امروزه برنامه های رایانه‌ای مختلفی برای بدست آوردن ضرایب ثابت معادلات و یا انتخاب مدل مناسب داده‌ها ارائه شده است(خراط و نیک آذر،۱۳۸۱).

## ۱-۲ کاربردهای یک مدل ریاضی:

- ✓ پیش بینی رفتار فرآیند: عبارتست از تعیین رفتار فرایند به ازای تغییر ورودی یا شرایط اعمال شده بر فرایند و تعیین رفتار دینامیکی آن.
- ✓ تحقیق و توسعه (R & D): عبارتست از تعیین اطلاعات جدید مهندسی نظیر مکانیسم و پارامترهای سینتیکی یک واکنش شیمیایی، بررسی اثر پارامترهای مختلف در بهینه سازی[۱]، کمک به بزرگسازی و کوچکسازی[۲].
- ✓ طراحی: عبارتست از محاسبه اندازه‌ها و آرایش فرایند[۱] برای عملکرد بهتر، مطالعه کنش

---

[۱] Optimization

[۲] Scale up & Scale down

قسمتهای مختلف فرایند ، تعیین روش‌های کنترلی، شبیه سازی بخش‌های شروع[۲] ، پایان[۳] و اضطرار[٤].

✓ عملیات واحد: عبارتست از رفع معضلات[٥] ، کنترل فرایند، کمک به آموزش پرسنل و بهینه سازی عملیات (رفیع زاده،۱۳۷۹).

## ۱-۳ روش های مدل سازی:

چهار دیدگاه کلی در مدل سازی عبارتند از:

### ۱-۳-۱ روش تئوری یا پایه[٦] :

در این روش یک یا چند قانون از قوانین بقا یا پایستگی[۷]جرم، انرژی و ممنتم برای المان مورد نظر نوشته می‌شود. این المان ممکن است سیستم یا حجم کنترل[۸] باشد. منظور از سیستم، جرم مشخص و تحت بررسی است و مابقی محیط آن گفته می شود. یک سیستم توسط مرزهای خود از محیط جدا می-شود. در نوشتن قوانین بقا دو دیدگاه انتگرالی و دیفرانسیلی وجود دارد. در روش انتگرالی، متوسط پارامترها در المان در نظر گرفته شده و از توزیع پارامتر نسبت به مکان صرفنظر می شود. این روش را توده‌ای[۹] هم می نامند. در روش دیفرانسیلی، توزیع پارامترها در مکان نیز در نظر گرفته می‌شود.این روش

---

[۱] Process Arrangment
[۲] Start-up
[۳] Shut-down
[٤] Emergency
[٥] Trouble-shooting
[٦] Theoretical or Fundamental
[۷] Conservation laws
[۸] Control volume
[۹] Lumped

را توزیع یافته[1] هم می‌نامند. بطور مثال در بررسی سرمایش یک کره، اگر مقاومت انتقال حرارت هدایتی داخل کره نسبت به مقاومت انتقال حرارت جابجایی اطراف آن ناچیز باشد(مانند کره فلزی یا کره کوچک)، می توان از توزیع دما در داخل کره صرفنظر کرده و تنها یک دما برای کره فرض کرد. اما اگر مقاومت انتقال حرارت هدایتی داخل کره نسبت به مقاومت انتقال حرارت جابجایی کوچک نباشد، نظیر یک کره بزرگ یا کره پلاستیکی، می بایست توزیع دمای داخل آنرا نیز در نظر گرفت(رفیع زاده، ۱۳۷۹).

شناخت مکانیسم های کنترل کننده واکنش ها که داده ها را بوجود می آورند، ممکن است به ما توانایی ساخت مدل های مکانیستیک را بدهند. این مدل ها، مکانیسم را با صحت بیشتری نشان داده و به عنوان ابزاری برای پیشگویی استفاده می شوند. از این رو تفسیر پاسخ های مدل شده، بر حسب پدیده ها و فرایندهای شناخته شده امکان پذیر خواهد بود (مرتضوی،۱۳۸۵).

در این نوع مدل از کل به جزء پی برده می شود، در عمل این نوع مدل در حالت ایده آل با یک قانون عمومی شیمیایی- فیزیکی آغاز می شود و از آن برای ساخت مدل های ریاضی واقع گرایانه ای از فرآیند غذایی استفاده می شود (تیجکنس و نیکولای،۲۰۰۱).

۱-۳-۲ روش تجربی[2] :

در این روش با استفاده از آزمایش، متغیرهای مختلف اندازه گیری می‌شود. سپس رابطه‌ای بین این متغیرها حدس زده می شود. این گونه توابع توسط ترسیم حدس زده شده ودر نهایت پارامترهای مربوطه محاسبه می شوند. به طور مثال یکی از رابطه های بین تنش برشی وسرعت برشی برای مواد پلیمری، به خصوص پلاستیک مذاب به شکل زیر می باشد که یک رابطه تجربی است :

---

[1] Distributive

[2] Experimental or Empirical

$$\mu = \mu_{\circ}\gamma^{n-1} = ke^{-b(T-T_0)}\gamma^{n-1} \qquad (۱-۱)$$

که $\mu$ ویسکوزیته پلیمر مذاب، $\gamma$سرعت برشی، T دما، $T_{\circ}$ دمای مرجع و پارامترهای b و n و k از مدل سازی تجربی بدست می آیند (رفیع زاده،۱۳۷۹).

مدل‌های تجربی به نتایج علمی ارتباط داشته و داده‌های حاصل از شرایط آزمایشگاهی را به سادگی به فرم یک رابطه ریاضی توصیف می‌کنند. معادلات چند جمله‌ای متداولترین نوع مدلهای تجربی هستند. این مدلها قابل فهم بوده، به سادگی مورد استفاده قرار گرفته و نیز به اطلاعاتی راجع به فرایند ویژه ای نیاز ندارند. لیکن، چند جمله ایها اغلب فاقد مبنای تئوریکی بوده و غیر خطی می‌باشند، همچنین فقط برای دامنه‌ای از متغیر های داده های واقعی معتبر بوده و دارای چندین پارامتر بدون معنای بیولوژیکی می‌باشند. بنابراین مدلهای چند جمله ای هیچگونه اطلاعاتی راجع به مکانیسم فرایند در اختیار ما قرار نمی دهند (مرتضوی،۱۳۸۵).

فقدان کامل دانش کارشناسی برای این نوع مدل ها هم بعنوان حسن و هم نقصان اصلی به حساب می آید . زیرا مدل ها با سرعت نسبتاً زیادی توسعه می یابند و نتایج خوبی حتی در عدم درک مناسب از مکانیسم فرآیند بدست می دهند ولی در همین حال مدل های تجربی می توانند به افزایش درک یا تولید دانش جدید در مورد مکانیسم کمک کنند. در این نوع مدل از جزء به کل پی برده می شود و ماهیت آن استخراج اطلاعات بسیار سودمند از داده ها حاصل ازاندازه گیری و بدون داشتن دانش پیشین از فرآیند می باشد (تیجکنس و نیکولای،۲۰۰۱).

۱-۳-۳ روش نیمه تجربی[۱] :

[۱] Semi-empirical

در این روش با توجه به روش تئوری، یک مدل انتخاب شده و پارامترهای مدل با استفاده از آزمایش بدست می‌آید. بطور مثال ضریب انتقال حرارت جابجایی h برای جریان آرام یک سیال روی یک صفحه از این رابطه کاملا تئوری محاسبه می‌شود:

$$Nu = 0.332\,\mathrm{Re}_x^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3} \qquad (۲-۱)$$

که $Nu_x = \frac{h_x}{k}$ عدد بی بعد ناسلت، $\mathrm{Re}_x = \frac{\rho v x}{\mu}$ عدد بی بعد رینولدز، $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$ عدد بی بعد پرانتل می باشد.

در بسیاری از موارد عملی مانند جریان درهم روی صفحه یا جریان داخل لوله حل تئوری غیر قابل محاسبه می باشد. لذا رابطه ای مشابه حالت جریان آرام فرض می شود. مانند:

$$Nu = c\,\mathrm{Re}_x^{m}\,\mathrm{Pr}^{n} \qquad (۳-۱)$$

پارامترهای m،c و n از طریق آزمایش محاسبه می‌شوند. نتیجه یک رابطه نیمه تجربی می‌باشد (رفیع زاده،۱۳۷۹).

### ۱-۳-٤ روش تشابه[1] :

در پدیده‌های انتقال اگر دو مسئله از زمینه‌های متفاوت دارای مکانیسمهای مشابه انتقال باشند، معادلات حاکمه آنها و جواب آنها مشابه خواهد بود. بطور مثال، توزیع دما در یک صفحه بزرگ که طرفین آن در دو دمای متفاوت قرار دارد از نظر فیزیکی مشابه توزیع غلظت در یک صفحه نیمه تراوا

[1] Analogy

است که طرفین آن در دو غلظت متفاوت قرار دارد. در این صورت شکل معادلات حاکمه و جواب آنها مشابه خواهد بود. علت اینست که در هر دو حالت، مکانیسم غالب در انتقال، عمل نفوذ می باشد. البته یکی نفوذ حرارت و دیگری نفوذ جرم می باشد (رفیع زاده،۱۳۷۹).

## ۱-٤ مراحل مدل سازی :

در مدل سازی شش مرحله مهم قابل ذکر است که در زیر آمده است، سه مرحله اول توسعه مدل[1] و سه مرحله دوم حل مدل یا شبیه سازی نامیده می شود.

۱- تعریف هدف :

- تعیین مشخصات طراحی
- تعیین مقادیر عددی پارامترها
- تعیین وابستگی بین پارامترها
- تعیین میزان دقت مورد نظر

۲- تهیه اطلاعات لازمه :

- رسم دیاگرام فرایند
- مشخص کردن پارامترها
- بیان فرضیات و داده‌ها

[1] Model development