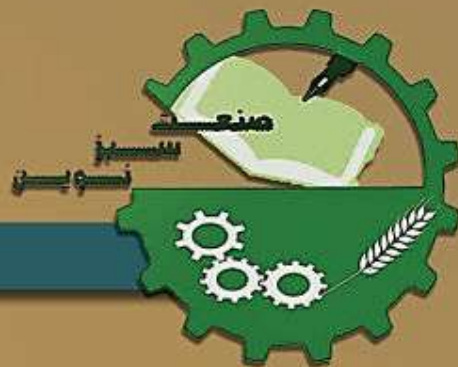


نشریه علمی - ترویجی

صنعت سبز نوین

دوره ششم، شماره سوم



شماره مجوز: ۱۳۰۸۰۱/۱۳۲



در این شماره خواهیم خواند:

- فراصوت؛ یک فناوری سبز و نوین در تجهیزات صنایع غذایی
- مؤلفه‌های فنی تولید پایدار
- کاربرد تکنیک تلفیق داده‌ها در حسگرهای مصنوعی
- اتوماسیون ریزازدیادی گیاهان از طریق کشت بافت
- معرفی مؤلفه‌های حل مسئله با رویکرد تفکر طراحی



مهندسی
مکانیک پیوسته



مهندسی
مکانیزم‌های کشاورزی



مهندسی
ماشین‌های صنایع غذایی



دانشگاه گیلان

فakولت مهندسی

دانشکده مهندسی مکانیک



نشریه علمی ترویجی صنعت سبز نوین

Sanatsabz_UT



sanatsabzsj.ut.ac.ir



انجمن علمی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
دانشگاه تهران

SAAME_UT

instagram.com/
sanatsabz_ut



lme/sanatsabz_ut



نشریه علمی ترویجی صنعت سبز نوین

مهندسی مکانیک بیوسیستم، مهندسی مکانیزاسیون و مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی



Sanatsabz_UT



انجمن علمی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
دانشگاه تهران

SAAME_UT



مهندسی مکانیک بیوسیستم، مهندسی مکانیزاسیون و مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی

شناسنامه

صنعت سبز نوین

نشریه علمی ترویجی مهندسی مکانیک بیوسیستم، مهندسی مکانیزاسیون و مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

دوره ششم، شماره سوم، بهار ۱۴۰۱

شماره مجوز: ۱۳۰۸۰۱/۱۳۲

صاحب امتیاز: انجمن علمی دانشجویی مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

مدیر مسئول: محمد قوشچیان

سر دبیر: محمد قوشچیان، عمار صالحی

اساتید مشاور:

دکتر علی جعفری (مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش طراحی)، دکتر شاهین رفیعی (مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر)، دکتر سید سعید محتسبی (مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش فناوری پَس از برداشت) و دکتر اسداله اکرم (مهندسی مکانیزاسیون)

هیئت تحریریه تخصصی:

دکتر کامران خیرعلی‌پور (عضو هیئت علمی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ایلام و رئیس موسسه فنی مهندسی و کشاورزی دهلران)، دکتر سلیمان حسین‌پور (عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران)، محمد قوشچیان (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران)، عمار صالحی (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران)، میثم امامیان (دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران)

همکاران این شماره:

دکتر شاهین رفیعی (عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران)، دکتر سید سعید محتسبی (عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران)، دکتر کامران خیرعلی‌پور (عضو هیئت علمی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ایلام و رئیس موسسه فنی مهندسی و کشاورزی دهلران)، دکتر محمود سلطانی فیروز (عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران)، ریحانه پیروزی (دانشجوی دکتری آگرو تکنولوژی بدر، دانشگاه تهران)، محمد قوشچیان (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران)، عمار صالحی (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران)، محمدرسلول شعبانی شادیانی (دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران)

طراح جلد و صفحه آرا: عمار صالحی

ویراستاران علمی و ادبی: میثم امامیان، پوریا شجاعی رنجبر، عمار صالحی، محمد قوشچیان
بر اساس مجوز شماره ۷۴۰۲۸۴۱ تاریخ ۲۰/۱۲/۱۳۹۸ با اعطای امتیاز نشریه حرفه‌ای به نشریه «صنعت سبز نوین» از سوی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران موافقت شد. بر این اساس، «نشریه صنعت سبز نوین» یک نشریه علمی-ترویجی یک امتیازی محسوب می‌شود.

این نشریه با حمایت بنیاد علمی آموزشی قلم‌چی منتشر شده است.



sanat.sabz.pub@gmail.com



http://sanatsabzsju.ut.ac.ir



09037025739



: کانال تلگرام ایتا و سروش



@SanatSabz_UT



: پیج اینستاگرام

instagram.com/SanatSabz_UT



پایگاه ملی اطلاعات علمی و فناوری
سازمان اسناد و کتابخانه ملی
اداره کل کتابخانه تخصصی

فراصوت یک فناوری سبز و نوین در ماشین‌ها و تجهیزات صنایع غذایی



مولفه‌های فنی تولید پایدار



معرفی و بررسی تکنیک تلفیق داده‌ها در حسگرهای مصنوعی جهت ارزیابی کیفیت

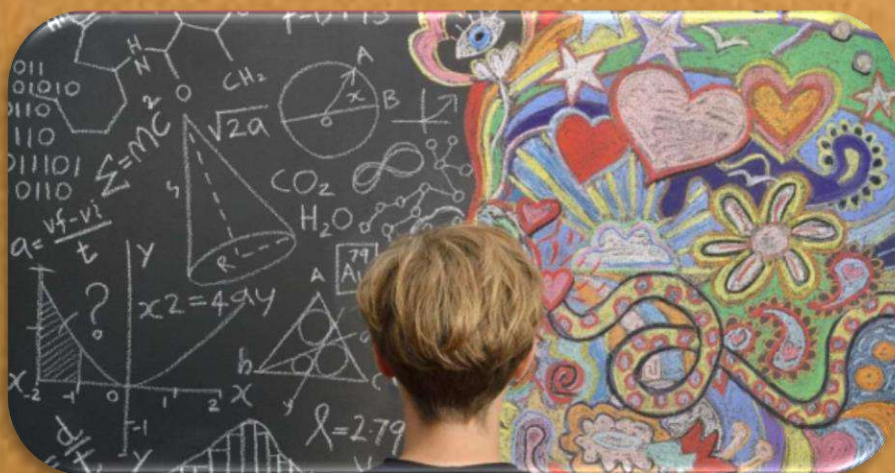


معرفی و بررسی تکنیک تلفیق داده‌ها در حسگرهای مصنوعی جهت ارزیابی کیفیت

۳۶



معرفی و بررسی تکنیک تلفیق داده‌ها در حسگرهای مصنوعی جهت ارزیابی کیفیت



۴۶

امام علی (علیه السلام) فرمودند:

الْعِلْمُ سُلْطَانٌ، مَنْ وَجَدَهُ صَالِحًا بِهِ، وَمَنْ لَمْ يَجِدْهُ
صِلَ عَلَيْهِ

علم، اقتدار و قدرت است، هر کس آن را
بیابد، به وسیله آن غلبه پیدامی کند و هر کس آن
را نیابد، بر او غلبه پیدامی کند.



سخن آغازین

گزیده‌ای از بیانات مقام معظم رهبری در دیدار جمعی از نخبگان علمی کشور

رمز پیشرفت یک کشور، یعنی آن محور اصلی برای اقتدار یک کشور، پیشرفت همراه با اقتدار، علم است. آماج بسیاری از توطئه‌های امروزی که علیه جمهوری اسلامی هست، علم و اهل علم و دانشجویان علم و محیط علمی است؛ این را توجه داشته باشید. نگذارید این تیر طبق آن هدفگیری دشمن، به هدفی که آنها گرفته‌اند، اصابت کند. کار علمی را نگذارید متوقف بشود. از همه‌ی این حرف‌هایی که گفته شد، مهم‌تر، مسئله‌ی علم و تحقیق و پژوهش است. دنیای غرب ثروتش از ناحیه‌ی علم است، اقتدارش از ناحیه‌ی علم است، زورگوئی‌ای که امروز می‌کند، به خاطر علمی است که دارد. **پول فی نفسه اقتدار نمی‌آورد. آنی که اقتدار می‌آورد، دانش است.** امروز اگر آمریکا پیشرفتگی علمی خودش را نمی‌داشت، نمی‌توانست در دنیا اینجور زورگوئی بکند و در همه‌ی مسائل عالم دخالت بکند. **ثروت هم اگر به دست می‌آید، از ناحیه‌ی علم به دست می‌آید.** علم را اهمیت بدهید. این که من سال‌هاست روی مسئله‌ی علم، تحقیق، پژوهش، پیشرفت، نوآوری، شکستن مرزهای علمی موجود تکیه می‌کنم، به خاطر این است. **بدون انواع دانش، اقتدار کشور امکانپذیر نیست. دانش اقتدار می‌آورد.**

گیرم نطنز را بمباران کردند، کارخانه‌ی اصفهان را بمباران کردند، علم را چه جوری بمباران می‌کنند؟ علم را که نمی‌شود بمباران کرد. ببینید، **علم مصونیت می‌آورد، اقتدار می‌آورد.** مراقب باشید در دانشگاه شما، در کلاس شما، در مرکز تحقیقات شما، در کار پژوهشی شما، اختلال ایجاد نکنند. اگر دیدید دستی دارد اختلال ایجاد می‌کند، به آن دست بدبین بشوید. اقتدار شما را، آینده‌ی شما را هدف گرفته‌اند.

حالا من با شما جوان‌ها به‌خصوص، خیلی حرف دارم. یکی از کارها همین است؛ کسانی بیایند طعم نیاز بازارهای غربی را، مثلاً فرض کنید به تابلو نقاشی، به دست بیاورند، بعد بیایند اینجا، پشتیبانی مالی کنند و نقاش ما را به سمت تأمین آن نیاز سوق بدهند. عین همین قضیه در کار علمی ماست؛ **در مقاله‌ای است که در آی.اس.آی منتشر می‌شود؛ در موضوع تحقیقی است که شما در پژوهشگاه خودتان دنبال می‌کنید.** به تعبیر متأسفانه رائج فرنگی امروز، اسپانسرها می‌آیند در بخش‌های مختلف، کمک‌های مالی، کمک‌های مادی، اعانه‌ها را می‌گذارند برای اینکه در آن جهت کار انجام بگیرد. به این توجه کنید. **استقلال علمی کشور یکی از لوازمش همین است: استقلال حرکت علمی، حرکت هنری و به طریق اولی، حرکت سیاسی.** بعضی از حرکات سیاسی هم از این قبیل است.



محمود سلطانی فیروز

عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های
کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گلستان کشاورزی و
منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج

✉ mahsoltani@ut.ac.ir

فراصوت

یک فناوری سبز و نوین در ماشین‌ها و تجهیزات صنایع غذایی



چکیده

فراصوت پر شدت (HIUS) یک فناوری سبز است که می‌تواند منجر به بهبود نرخ انتقال حرارت و جرم، ارائه یک تکنیک پردازش سریع‌تر و محدود کردن هزینه‌های تولید با افزایش بازده فرآیند شود. در فرآوری مواد غذایی، فراصوت به عنوان یک فناوری نوین امیدوارکننده برای سرعت بخشیدن به فرآیندها و تولید محصولات باکیفیت بالا در نظر گرفته می‌شود. این مقاله کاربردهای اخیر HIUS را برای فرآوری محصولات غذایی و مزایا و معایب این فناوری را ذکر می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که HIUS به دلیل اثرات مثبت آن بر کیفیت و حفظ خواص غذایی اولیه و ویژگی‌های حسی، ابزار مفیدی برای فرآوری محصول غذایی است. با مطالعه آخرین تحقیقات و پیشرفت‌ها در زمینه‌های کاربردهای فراصوت، تأیید شده است که این تکنیک می‌تواند در تسریع فرآیندها، کاهش انرژی مورد نیاز، افزایش بهره‌وری و تولید مواد غذایی باکیفیت بهتر مفید باشد. با وجود این، به منظور حل چالش‌های پیش رو و برای کاربردهای بالقوه فناوری HIUS، تحقیقات بیشتری در زمینه‌های ذکر شده باید گسترش یابد. همچنین با پیشرفت تکنولوژی، تجهیزات پیشرفته‌تر، مبدل‌های فراصوت و ابزار دقیق‌تری معرفی می‌شوند که برای رفع چالش‌های کنونی باید در این زمینه به کار گرفته شوند؛ بنابراین تحقیقات آینده منجر به ارتقا و صنعتی شدن این فناوری خواهد شد.

کلمات کلیدی: فراصوت، کاویتاسیون، بهبود فرآیند، افزایش کیفیت.



مقدمه

فراصوت یک فناوری نوآورانه و مبتنی بر کاربرد امواج مکانیکی با فرکانس ۲۰ kHz تا ۱۰ MHz است که می‌توان آن را در دو محدوده طبقه‌بندی کرد: فراصوت با شدت پایین^۱ (LIUS) که از فرکانس‌های در محدوده ۱۰۰ kHz تا ۱۰ MHz استفاده می‌کند و در شدت‌های کمتر از 1 W.cm^{-2} به کار گرفته می‌شود، درحالی‌که فراصوت پرشدت^۲ (HIUS) از شدت‌های بالاتر از 1 W.cm^{-2} در فرکانس‌های پایین بین kHz ۲۰ تا ۱۰۰ kHz استفاده می‌کند [۱]. HIUS توانایی تغییر خواص شیمیایی و فیزیکی مواد غذایی در فیلتراسیون، خشک کردن، استریل کردن، استخراج، نگهداری مواد غذایی، امولسیون کردن و غیره را دارد [۲]. از مزایای کاربرد HIUS در ماشین‌های صنایع غذایی می‌توان به افزایش راندمان، بهبود انتقال جرم و حرارت، کاهش زمان پردازش، افزایش اختلاط فیزیکی، کاهش دمای فرآوری، استخراج انتخابی و افزایش عملکرد اشاره کرد. علاوه بر این، HIUS می‌تواند در استراتژی «فناوری‌های سبز در تولید غذای سبز» به‌عنوان ابزاری کارآمد برای اطمینان از تولید باکیفیت بالا و ایمن مواد غذایی استفاده شود.

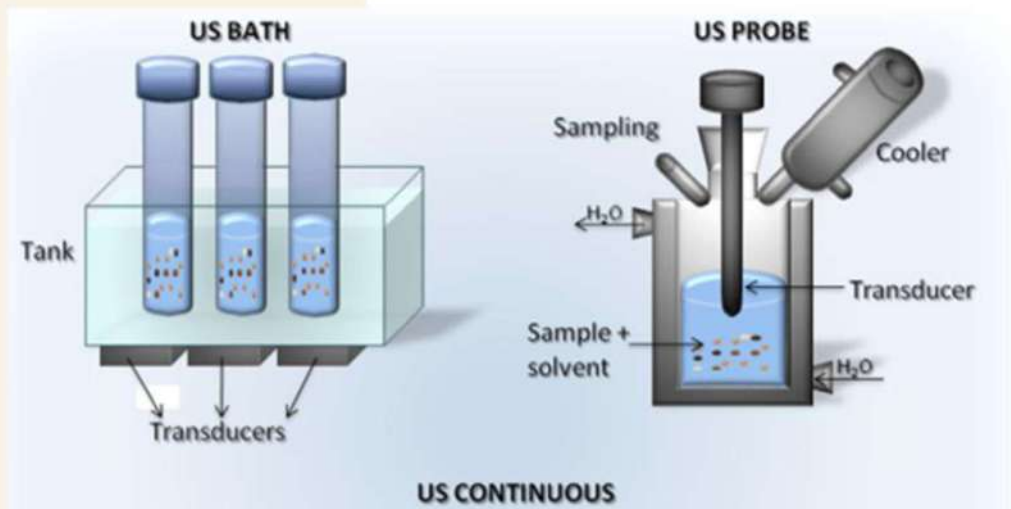
در میان فناوری‌های نوین فرآوری مواد غذایی، HIUS به دلیل عملکرد ساده، کنترل آسان، اثرات مطلوب بر خواص فیزیکوشیمیایی مواد غذایی و شرایط عملیاتی ملایم موردتوجه دانشمندان قرار گرفته است. این فناوری از امکان دستیابی به تولید صنعتی [۳] برخوردار است و پتانسیل بالایی برای افزایش مقیاس برای تولید انبوه محصولات غذایی دارد. با ترکیب مزایای HIUS با سایر فناوری‌های سنتی برای فرآوری محصولات غذایی، سیستم‌های جدیدی در مقیاس تحقیقاتی و نمونه اولیه طراحی می‌شوند که با رفع اشکالات و بهینه‌سازی، می‌توان این سیستم‌ها را برای تولید صنعتی تجاری کرد [۴].

در اکثر موارد، HIUS باید به‌عنوان یک فناوری کمکی در نظر گرفته شود که عملکرد فرآوری اصلی را تشدید می‌کند. به‌عنوان مثال، در پاستوریزاسیون حرارتی، اثر HIUS بر غیرفعال سازی میکروبی در دماهای پایین‌تر از روش مرسوم کارآمدتر است که به حفظ کیفیت شیر به کاهش دنا توره شدن پروتئین کمک می‌کند [۴]: بنابراین به نظر می‌رسد HIUS پتانسیل بالایی در تسریع و بهبود فرآورده‌های غذایی و همچنین به حداقل رساندن تلفات کیفیت محصول و تخریب ناشی از چنین فرآورده‌هایی دارد. از این رو، نیاز زیادی به تحقیقات مستمر در مورد توسعه فرآورده‌های به کمک HIUS وجود دارد.

تجهیزات فراصوت و مکانیسم اثر

حمام فراصوت و پروب فراصوت (شکل ۱) انواع اصلی دستگاه‌های HIUS هستند که برای فرآوری محصولات غذایی استفاده می‌شوند. این دستگاه‌ها را می‌توان به‌صورت جداگانه مورد استفاده قرار داد و یا با سایر سیستم‌های معمولی ادغام کرد.

سیستم پروب فراصوت که معمولاً در محدوده ۲۰ kHz کار می‌کند دارای چندین بخش مانند مبدل است که به یک پروب متصل می‌شود و یک تقویت‌کننده که شدت فراصوت را افزایش می‌دهد [۵]. پروب فراصوت معمولاً از تیتانیوم ساخته می‌شود و مستقیماً امواج صوتی را از طریق یک شیپوری فراصوت در محیط مایع منتشر می‌کند. پروب سیستم فراصوت را می‌توان بر روی واحدهای فرآوری نصب و با آن‌ها هماهنگ کرد. درحالی‌که حمام فراصوت به‌طور غیرمستقیم نمونه را با استفاده از مبدل‌های ساندویچی نصب‌شده در خارج از دیواره مخزن، فراصوت‌دهی می‌کند. معمولاً در فراصوت‌دهی محصول جامد از یک محیط واسط مایع استفاده می‌شود که اغلب آب است.



شکل ۱
پروپ و حمام فراصوت
در فرآوری محصولات
غذایی [۱۰]

این پدیده منجر به افزایش دما تا چند هزار کلوین و فشار تا چند صد بار در ناحیه انفجار در ابعاد میکروسکوپی می‌شود.

هنگامی که امواج فراصوت از میان مولکول‌های مایع عبور می‌کنند، با نیروهای مکانیکی مواجه می‌شوند. امواج از طریق محیط به‌عنوان مجموعه‌ای از سیکل‌های فشرده سازی و رقیق سازی عبور می‌کنند. فشار مثبت اجزای ماده را فشرده می‌کند و فشار منفی باعث اتساع مولکول‌ها می‌شود. این سیکل به‌طور مکرر اتفاق می‌افتد تا زمانی که یک حفره در نتیجه واکنش بین اتساع و نیروی جاذبه مولکول‌ها ایجاد شود. سپس، اندازه حفره‌ها در سیکل‌های متوالی گسترش می‌یابد که در نهایت حباب‌های کاویتاسیون تولید می‌شوند [۱۱]. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، یک میکرو حباب تشکیل می‌شود، به دلیل انتشار یک‌طرفه و ادغام حباب-حباب شروع به رشد می‌کند و در نهایت به نقطه بحرانی به نام تشدید می‌رسد. در تشدید، ریز حباب ممکن است ناپایدار شود و به‌شدت در یک یا تعداد کمی از سیکل‌های صوتی به نام کاویتاسیون گذرا فروریزش کند و یا برای بسیاری از سیکل‌ها در اطراف اندازه تشدید که کاویتاسیون پایدار نامیده می‌شود، نوسان کند.

یکی از نقاط ضعف حمام فراصوت میرایی و کاهش شدت امواج فراصوت توسط آب داخل حمام است، یکی دیگر از معایب حمام فراصوت نسبت به سیستم‌های پروپ، پایین بودن توان تحویلی به مواد هدف است [۶]. فراصوت در منطقه وسیع‌تری پراکنده است و بنابراین شدت توان آن تقریباً ۱۰۰ برابر کمتر از سیستم پروپ است [۷].

حمام فراصوت ابزار قدرتمندی نیست و در آن قدرت فراصوت داده‌شده توسط حمام فراصوت معمولی بین ۱ تا 5 W.cm^{-2} است. پارامترهای مؤثری که باید در هنگام استفاده از حمام فراصوت در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از: حجم مایع، زمان تیماردهی، دمای مایع داخل حمام، فرکانس و موقعیت نمونه داخل حمام [۸]. اخیراً دستگاه‌های حمام با ویژگی‌های فرکانس چندگانه فراصوت در فرآوری مواد غذایی به کار می‌روند که هم‌زمان با استفاده از مبدل‌های فراصوت با فرکانس‌های مختلف، به ترتیب در پایین و کنار کار می‌کنند که نتیجه آن یک توزیع یکنواخت توان فراصوت است [۹].

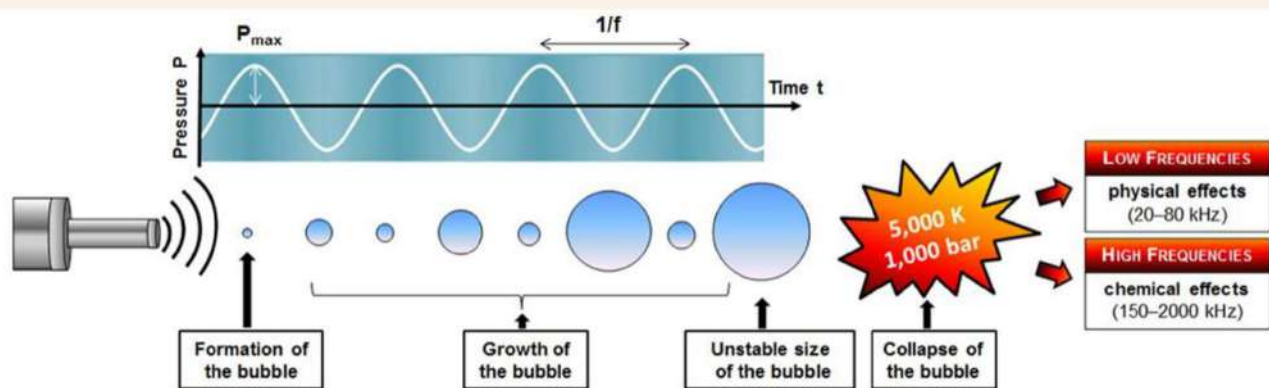
مهم‌ترین پدیده‌ای که در فرایند فراصوت‌دهی محصول اتفاق می‌افتد، کاویتاسیون یا حفره‌زایی است. این پدیده عبارت است از تشکیل، رشد و فروپاشی حباب‌ها حاوی گاز در محیط مایع. فروریزش حباب ایجادشده یک انفجار میکروسکوپی است که باعث ایجاد تلاطم شدید موضعی و آزاد شدن انرژی گرمایی می‌شود.

کاربرد فراصوت در صنایع گوشت

خواص بیوشیمیایی و همچنین قدرت و زمان فراصوت بستگی دارد [۱۶].

انجماد یکی از سنتی‌ترین فرآیندهای نگهداری گوشت است که با مهار رشد میکروبی و کاهش واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی، ماندگاری گوشت را افزایش می‌دهد تا خواص غذایی اولیه و ویژگی‌های حسی آن را حفظ کند. مشخص شده است که کیفیت محصولات غذایی از جمله رنگ، مواد مغذی و خواص بافت تابعی از نرخ انجماد است [۱۳]. در روش‌های مرسوم، مشکلات انجماد زمانی رخ می‌دهد که سرعت انجماد کم باشد، در این حالت کریستال‌های یخ بزرگ و دارای لبه‌های تیز هستند که معمولاً در فضای بین سلولی تشکیل می‌شوند و باعث آسیب سلولی می‌شوند، در نهایت این امر منجر به تخریب محصول می‌شود. فراصوت به عنوان یک فناوری تکمیلی برای بهبود عملکرد انجماد و ذوب محصولات گوشتی عمل می‌کند. هنگامی که سرعت انجماد زیاد است، از آنجایی که سرعت انتقال حرارت بالا است و زمان کافی برای خروج آب از بافت گوشت وجود ندارد، کریستال‌ها در اندازه‌های کوچک‌تر، یکنواخت‌تر و تعداد بیشتری در داخل و خارج سلول تولید می‌شوند؛ بنابراین از کاهش کیفیت محصول جلوگیری می‌کند. یکی از روش‌هایی که می‌تواند در کاهش اندازه بلورهای یخ و افزایش هسته‌زایی بسیار مفید باشد، HIUS است.

در سال‌های اخیر، محققان بر روی مطالعه اثرات HIUS بر فرآوری گوشت تازه از جمله انتقال جرم، نرم کردن گوشت، انجماد و یخ‌زدایی تمرکز کرده‌اند. در فرآوری گوشت، HIUS می‌تواند غشای سلولی را تغییر دهد و به نرم کردن بافت‌ها کمک کند. لطافت، آبدار بودن و طعم و همچنین خواص ارگانولپتیک از عوامل اصلی کیفیت گوشت هستند. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که HIUS تأثیر مثبتی بر کیفیت گوشت دارد [۱۳، ۱۴]. باین‌حال، گزارش‌هایی از اثرات نامطلوب این فناوری بر خواص ارگانولپتیک و فیزیکوشیمیایی گوشت وجود دارد. به عنوان مثال، اکسیداسیون لیپید در فرآوری گوشت به طور کلی منجر به تولید طعم‌های بد و بدبو می‌شود که منجر به خواص حسی نامطلوب می‌شود. ثابت شده است که HIUS اکسیداسیون لیپید و پروتئین را تشدید می‌کند [۱۵]. پروب فراصوت ۲۰ kHz باعث تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌شود، این پدیده منجر به اکسیداسیون پروتئین‌ها در گوشت گاو و از بین رفتن حلالیت اجزای میوفیبریل می‌شود [۱۵]. موضوعی که باید به آن توجه شود این است که انرژی جذب شده HIUS ممکن است منجر به افزایش تولید گرما تا دماهای بالا و متعاقباً آسیب حرارتی به گوشت شود. اثرات HIUS بر ظرفیت نگهداری آب گوشت را می‌توان مثبت یا منفی ارزیابی کرد، تغییرات به نوع و جهت الیاف، خواص



شکل ۲

نمایش شماتیک پدیده کاونتاسیون در محیط مایع [۱۲].

HIUS فرآیند تبلور را با هسته‌زایی و شکستن کریستال‌های یخ ارتقا می‌دهد. HIUS می‌تواند تعداد زیادی حباب کاویتاسیون ایجاد کند که به‌عنوان هسته برای تشکیل کریستال‌های یخ عمل می‌کنند؛ بنابراین، HIUS به حفظ کیفیت گوشت منجمد با افزایش نرخ انجماد و بهبود تشکیل کریستال‌های کوچک و حتی یکنواخت یخ کمک می‌کند [۱۷]. HIUS همچنین می‌تواند به‌طور مؤثر سرعت انتقال حرارت همرفتی را افزایش دهد و حرکت سریع حباب‌های حفره‌زایی نیز انتقال گرما و جرم را افزایش می‌دهد. حباب‌های حفره‌زایی، کریستال‌های یخ را به اندازه‌های کوچک‌تر می‌شکنند، این کریستال‌های خردشده به‌عنوان هسته‌های جدید عمل می‌کنند که منجر به افزایش تصاعدی در سرعت انجماد می‌شود.

تغییر فاز مولکول‌های آب یک رویداد مهم است که منجر به آزاد شدن گرمای نهان و متعاقب آن تبلور مولکول‌ها می‌شود. استفاده از HIUS در این زمان می‌تواند سرعت هسته‌زایی و رشد کریستال را به‌شدت بهبود بخشد و منجر به تولید کریستال‌های یخ با توزیع یکنواخت‌تر و کوچک‌تر شود که دو عامل مهم بر کیفیت بافت‌های گوشت منجمد هستند؛ بنابراین، HIUS تأثیر مثبتی بر کیفیت گوشت در طول انجماد دارد.

اعمال شدت‌های فراصوت بیشتر از مقدار بهینه منجر به تولید گرما و طولانی شدن مرحله انتقال فاز می‌شود. دلیل دیگر می‌تواند کاهش سطح تماس در فصل مشترک مایع خنک‌کننده/گوشت باشد که به دلیل حباب‌های کاویتاسیون بیش‌ازحد ایجاد می‌شود؛ بنابراین، بیشترین توزیع یکنواخت کریستال‌های یخ و کمترین آسیب ساختاری گوشت در قدرت HIUS بهینه به دست می‌آید. با توجه به تفاوت‌های ساختاری، فیزیکوشیمیایی و فیزیکی-مکانیکی در محصولات گوشتی، فرکانس، قدرت و شدت HIUS مناسب برای هر محصول ممکن است متفاوت باشد.

بنابراین، برای انتخاب پارامترهای فراصوتی بهینه، باید آزمایش‌های انحصاری برای بهینه‌سازی انجماد به کمک HIUS انجام شود؛ اما بیشتر پژوهشگران فراصوت تک فرکانس را در انجماد گوشت و فرآورده‌های گوشتی اعمال کردند. در این‌گونه مطالعات، قدرت و شدت فراصوت اغلب به‌عنوان متغیر و فرکانس فراصوت به‌عنوان یک پارامتر ثابت در نظر گرفته‌شده است. اخیراً، سیستم فراصوت چند فرکانسی برای انجماد گوشت استفاده‌شده است. ما و همکاران [۳] اثرات HIUS چند فرکانس را بر روی نرخ‌های انجماد، ویژگی‌های کیفی و ساختار ماهی مورد مطالعه قراردادند، به این دلیل که فراصوت چند فرکانس نتایج بهتری نسبت به فراصوت تک فرکانس بر روی نرخ انجماد، خواص کیفی و ریزساختار گوشت ارائه می‌دهد.

محصولات گوشتی منجمد معمولاً برای مصرف و فرآوری‌های بعدی نیاز به یخ‌زدایی دارند. روش‌های یخ-زدایی مرسوم معمولاً مبتنی بر هوای گرم، آب گرم و خلأ هستند. این روش‌ها بر کیفیت گوشت منجمد تأثیر می‌گذارند. از معایب اصلی این روش‌ها می‌توان به راندمان پایین، مصرف انرژی و زمان زیاد و افت کیفیت اشاره کرد. یک فرآیند یخ‌زدایی ناکارآمد معمولاً کیفیت گوشت را بدتر و رشد و فعالیت میکروبی را تسریع می‌کند. روش‌های یخ-زدایی مرسوم دارای معایبی از جمله تولید شیرابه و همچنین دنا‌توره شدن شدید پروتئین هستند. در یخ‌زدایی گوشت، غشای سلولی آسیب‌دیده مایع درون‌سلولی را به بیرون نشاند می‌دهد و از طرف دیگر، آب نگه‌داشته شده توسط نیروی موئینگی به دلیل از بین رفتن فیبرهای عضلانی کاهش می‌یابد. HIUS به‌عنوان یک فناوری کمکی توجه دانشمندان را برای غلبه بر معایب ذکرشده جلب کرده است. یخ‌زدایی با کمک فراصوت به‌عنوان یکی از کاربردهای مفید فراصوت در تجهیزات صنایع غذایی، یک فناوری نوآورانه است که به کمک گرمای تولیدشده در مواد غذایی منجمد به تسریع سرعت ذوب و همچنین حفظ خواص کیفی اولیه آن کمک می‌کند. HIUS با ایجاد

فروپاشی حباب‌های حفره‌زایی انتقال حرارت را بهبود می‌بخشد و بر این اساس فرآیند یخ‌زدایی را کوتاه می‌کند. عوامل متعددی از جمله فرکانس و شدت فراصوت و ترکیب و ساختار محصول بر فرآیند یخ‌زدایی تأثیر می‌گذارد. مهم‌ترین موضوع در این زمینه، طراحی و ساخت سونوترودهای چند فرکانسی است.

اثر فراصوت در محدوده ۲۵ kHz بر سرعت و زمان ذوب گوشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که منجر به کاهش ۸۷٪ زمان مورد نیاز برای ذوب در مقایسه با روش استاندارد شد، در حالی که بافت و خواص عملکردی گوشت در پایان فرآیند بدون آسیب باقی ماند [۱۸]. در طول فرآیند یخ‌زدایی، حفره‌زایی فراصوتی می‌تواند ریزساختار گوشت را تغییر دهد، بنابراین بهینه‌سازی فرآیند یخ‌زدایی با کمک فراصوت برای گوشت اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. توان فراصوت بیشتر از مقدار بهینه ممکن است اثر مضر بر بافت و ساختار گوشت داشته باشد. مصرف انرژی بیشتر و گرمای بیش‌ازحد نیز از جمله اثرات منفی توان‌های فراصوت بیشتر از بهینه است.

چالش‌هایی در انجماد و یخ‌زدایی به کمک فراصوت وجود دارند که می‌توان به این موارد زیر اشاره کرد: گرمای تولیدشده توسط اثر حرارتی فراصوت توسط محیط مایع جذب می‌شود؛ که می‌تواند برخی از اثرات مثبت فراصوت را خنثی کند و حتی بر روند و سرعت انجماد تأثیر منفی بگذارد. اگر فراصوت‌دهی در حالت پیوسته باشد، می‌تواند گرمای زیادی ایجاد کند که از تشکیل کریستال‌های یخ جلوگیری می‌کند.

توزیع غیریکنواخت توان فراصوت در سیستم انجماد باعث توزیع نامتعادل HIUS در قسمت‌های مختلف محصول می‌شود. از آنجایی که مدت زمان طولانی فراصوت‌دهی به دلیل تولید گرما برای هسته‌زایی نامطلوب است، فراصوت‌دهی کوتاه‌مدت نیز منجر به هسته‌زایی ناکافی می‌شود؛ بنابراین، بهینه‌سازی مدت زمان تیماردهی فراصوت برای کاربردهای مختلف اجتناب‌ناپذیر است.

فرآورده‌های گوشتی معمولاً موادی غیر همگن و بسیار میرا هستند که به دلیل عدم توانایی در نفوذ به قسمت‌های داخلی محصول و جذب HIUS توسط لایه‌های بیرونی، انتقال امواج فراصوت به لایه‌های درونی را با مشکل مواجه می‌کنند. گرمایش موضعی و گرمای بیش‌ازحد یک پدیده رایج در فراصوت است. در حین ذوب، به دلیل گرمای بیش‌ازحد ناشی از HIUS، افزایش سریع و موضعی دما ممکن است روی سطح گوشت منجمد اتفاق بیفتد که منجر به سوختگی سطحی می‌شود، در حالی که قسمت داخلی محصول هنوز ذوب نشده است. استانداردسازی فرآیند انجماد به کمک HIUS و متغیرهای محصول یک چالش بزرگ برای تجاری‌سازی این فناوری است. پارامترهای فراصوت و متغیرهای وابسته به محصول در مطالعات تحقیقاتی معمولاً متفاوت هستند و طبق یک پروتکل استاندارد تعریف نمی‌شوند. تفاوت در فرکانس، قدرت و شدت فراصوت و همچنین مدت زمان و نحوه تیماردهی در مطالعات منجر به نتایج متفاوتی می‌شود که صنعتی شدن این فناوری را برای یک محصول خاص دشوار می‌کند. خواص محصول (شامل ترکیب عضله و نوع عضله، ویژگی‌های ابعادی و غیره) و محیط خنک‌کننده و خواص آن (ویسکوزیته، دمای کار و غیره) نیز برای استانداردسازی لازم است تا بتوان این فناوری را به سطوح صنعتی ارتقا داد.

با توجه به موارد ذکرشده، ایجاد سیستم‌های انجمادی با توزیع یکنواخت توان و همچنین بهینه‌سازی پارامترهای فرآیندی ضروری است. مطالعات بیشتر و بهینه‌سازی چنین سیستم‌هایی به استفاده از این فناوری در مقیاس‌های بزرگ‌تر برای کاربردهای تجاری کمک می‌کند. اگرچه پیشرفت قابل توجهی در زمینه انجماد/یخ‌زدایی به کمک فراصوت حاصل شده است، این فناوری هنوز در مقیاس آزمایشگاهی است، باید تلاش‌های بیشتری برای افزایش مقیاس و مناسب‌سازی برای کاربردهای تجاری انجام شود.

کاربرد فراصوت در صنایع لبنی

شیر به عنوان یکی از کامل ترین غذاها جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی انسان دارد. این غذای باکیفیت حاوی هر سه ماده مغذی ضروری برای بدن از جمله کربوهیدرات، چربی و پروتئین است. کربوهیدرات اصلی شیر لاکتوز است. شیر گاو حاوی حدود ۴۸٪ لاکتوز است، درحالی که مقدار کمی گالاکتوز، گلوکز و الیگوساکارید در آن وجود دارد. چربی شیر یک لیپید پیچیده است که به صورت امولسیون روغن در آب وجود دارد. شیر گاو حدود ۳،۵-۴٪ چربی دارد. لیپیدهای شیر عمدتاً تری اسیل گلیسرول یا استرهای اسید چرب همراه با گلیسرول هستند. محتوای پروتئین شیر گاو حدود ۳،۲٪ است که ۸۰٪ آن کازئین و ۲۰٪ پروتئین آب پنیر است [۱۹]؛ بنابراین، محتوای بالای مواد مغذی شیر، آن را به بستری مطلوب برای رشد میکروبی تبدیل می‌کند [۲۰] که تا حد زیادی بر ماندگاری آن تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه شیر دارای ترکیبات پیچیده و حساسی است؛ بنابراین باید توجه داشت که فرآوری ممکن است منجر به تغییرات فیزیکوشیمیایی و خواص ارگانولپتیکی نامطلوب محصول نهایی شود که یکی از بارزترین و مهم ترین اثرات این گونه فرآوری‌ها نارضایتی مصرف کننده است. امروزه سعی می‌شود فناوری‌های نوظهور غیرحرارتی جایگزین تکنیک‌های فرآوری حرارتی مرسوم در صنایع لبنی شود. این فناوری‌ها معمولاً شامل زمان پردازش کوتاه تر و هزینه کمتر و مصرف انرژی و اثرات نامطلوب کمتر بر محصولات غذایی و همچنین حفظ خواص غذایی و حسی آن‌ها هستند [۲۱].

HIUS قابلیت‌های قابل توجهی در کاربردهای مختلف فرآوری شیر دارد. برخی از کاربردهای HIUS در فرآوری شیر عبارت‌اند از همگن سازی، تغییر ویسکوزیته، پاستوریزاسیون، غیرفعال سازی میکروبی و اصلاح ترکیبات زیست فعال.

فناوری HIUS دارای قابلیت شگفت‌انگیزی برای ارائه مزایای قابل توجهی مانند صرفه جویی در انرژی و بهبود خواص در فرآوری لبنیات است. نیاز به تحقیقات بسیار گسترده تر برای بررسی اثرات استفاده از این فناوری نوظهور در زمینه‌های مختلف فرآوری شیر برای استفاده راحت از HIUS به عنوان یک روش جایگزین امیدوارکننده برای فناوری‌های مرسوم است. HIUS بسته به نوع محصول، شرایط فرآوری (نحوه کاربرد، پروب اولتراسوند یا حمام، فرکانس، شدت، قدرت، زمان پردازش و دما)، تأثیرات بسیار متنوعی بر روی فرآیند و خواص محصول نهایی لبنی دارد.

پاستوریزاسیون

پاستوریزاسیون حرارتی یک فرآیند مرسوم برای افزایش ایمنی و ماندگاری شیر است. با این حال، برخی از مسائل در طول پاستوریزه کردن اجتناب ناپذیر است که منجر به تغییرات ناخواسته مانند از دست دادن مواد مغذی ارزشمند، دناتوره شدن پروتئین و غیره در شیر می‌شود [۲۲]. در حال حاضر، دو تکنیک حرارتی اصلی در فرآوری شیر، پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون است [۲۳]. هدف پاستوریزاسیون کاهش باکتری‌های بیماری‌زا و آلاینده‌ها است که باعث می‌شود لبنیات برای مصرف ایمن باشد [۲۴]. فناوری‌های پاستوریزاسیون سنتی حرارتی شامل فرآوری طولانی مدت در دمای پایین (LTLT)، زمان کوتاه در دمای بالا (HTST) و دمای فوق العاده بالا (UHT) هستند که به دلیل کارآمد بودن هنوز هم در این صنعت به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

HIUS در ترکیب با فرآوری حرارتی غیرفعال سازی میکروبی مؤثرتری را حتی در دماهای پایین تر نسبت به سیستم‌های مرسوم ارائه می‌کند که منجر به حفظ ارزش تغذیه‌ای، خواص فیزیکی و شیمیایی شیر می‌شود [۲۵]. بالتازار و همکاران [۲۴] اثر HIUS را بر پروتئین، خواص میکروبیولوژیکی و پروفایل اسید آمینه آزاد شیر نیمه چرب بررسی کردند.

پردازش HIUS در فرکانس‌های پایین (در محدوده ۲۰ kHz) منجر به تولید رادیکال‌های آزاد کمتری می‌شود [۲۷]. از طرف دیگر، اگر از قرار گرفتن در معرض رادیکال‌های ایجادشده توسط کایتاسیون اجتناب شود، هیچ تغییر اکسیداتیو در شیر توسط HIUS ظاهر نمی‌شود. مولکول‌های آب توسط نیروهای کایتاسیون ناشی از HIUS تجزیه می‌شوند و رادیکال‌های آزاد بسیار واکنش‌پذیری را تشکیل می‌دهند که واکنش‌های اکسایشی-کاهش‌ی ایجاد می‌کنند. رادیکال‌های آزاد ناشی از اکسیداسیون و هیدرولیز چربی به پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و چربی آسیب می‌رسانند [۲۲]. بنابراین، فرکانس‌های محدوده ۲۰ kHz مناسب‌ترین فرکانس برای فرآوری شیر است که در آن واکنش‌های نامطلوب منجر به طعم‌های ناخوشایند به حداقل برسد [۲۸].

هموژنیزاسیون (همگن‌سازی)

لیپیدهای موجود در شیر به شکل گلبول‌های چربی شیر هستند که حاوی یک هسته تری گلیسیرید هستند که توسط یک غشای نازک به نام غشای گلبول چربی شیر احاطه شده‌اند. غشاء حاوی لیپیدهای قطبی، کلسترول و پروتئین‌های اختصاصی غشاء است که به عنوان امولسیفایر چربی شیر عمل می‌کند و از گلبول‌های چربی در برابر تخریب و ادغام آنزیمی محافظت می‌کند [۲۹]. در همگن‌سازی، رسیدن به محصولی با ذرات یکنواخت مطلوب است. شیر دارای چربی‌هایی با اندازه ذرات مختلف است. وقتی شیر گرم می‌شود، چربی‌ها به صورت خامه روی سطح شیر قرار می‌گیرند، بنابراین برای جلوگیری از تجمع چربی باید ذرات چربی را شکسته و به اندازه مای کوچک‌تر تبدیل کرد. برای دستیابی به هدف مذکور روش‌های مختلفی مانند هموژنایزر تحت فشار وجود دارد که در آن ذرات در هنگام عبور از یک روزنه در اثر برخورد شکسته می‌شوند. روش دیگر همگن‌سازی مکانیکی است که در آن اختلاط باعث شکستن ذرات می‌شود [۳۰]؛ اما روش دیگر HIUS است [۳۱].

پارامترهای پردازشی شامل توان فراصوت، چگالی انرژی، مدت‌زمان فرآوری و دما مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها دریافتند که HIUS به‌طور قابل‌توجهی آلودگی باکتریایی و همچنین زمان فرآیند HTST را کاهش می‌دهد. ضمناً در نمونه‌های تیمار شده توسط HIUS با توان ۱۰۴ W، مدت‌زمان ۶ دقیقه و چگالی انرژی ۹۳۶ J/mL، مانند شیر فرآوری شده HTST رشد باکتری مشاهده نشد. قدرت بیشتر فراصوت در نمونه‌هایی با حجم برابر منجر به فروپاشی شدید حباب‌های کایتاسیون می‌شود که در نتیجه اثرات مخرب شدیدتری بر باکتری‌ها ایجاد می‌شود که نشان می‌دهد فناوری HIUS به‌اندازه پاستوریزاسیون HTST برای غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها مؤثر است. با توجه به نتایج بالتازار و همکاران [۲۴] HIUS هیچ مشکل تکنولوژیکی یا تغذیه‌ای برای پروتئین‌های شیر ایجاد نکرد. با این وجود، تیمار HIUS پیشنهادی (قدرت ۱۰۴ W، مدت‌زمان ۶ دقیقه و چگالی انرژی ۹۳۶ J/mL) روند پاستوریزاسیون را تا حد زیادی طولانی می‌کند که به‌طورجدی مانع استفاده از روش پیشنهادی در مقیاس بزرگ برای تجاری‌سازی می‌شود. درحالی‌که روش مرسوم HTST فرآیند پاستوریزاسیون را در زمان بسیار کوتاه‌تری کامل می‌کند.

HIUS می‌تواند باعث اکسیداسیون چربی و پروتئین در شیر و تشکیل اجزای فراری شود که برای مصرف‌کننده ناخوشایند است؛ بنابراین، تحقیق در مورد توسعه اجزای طعم در طول پردازش مبتنی بر HIUS باید انجام شود. بوئی و همکاران [۲۶] اثر HIUS را بر روی ۵۰ mL شیر مدل حاوی ۴٪ چربی و ۳/۵٪ پروتئین مطالعه کردند. مقدار کتون‌ها، آلدهیدها، استرها، الکل‌ها و هیدروکربن‌ها با زمان فراصوت‌دهی افزایش یافت. با این حال، آن‌ها تأثیر دما بر تشکیل این ترکیبات را مطالعه نکردند. درحالی‌که در پردازش حرارتی شیر با کمک HIUS مانند پاستوریزه کردن اجزای فرار و طعم‌دهنده یک مسئله حیاتی است.

HIUS عملکرد قابل توجهی را در کاهش اندازه گلبول‌های چربی شیر بر اثر نوسانات فشار، تلاطم و برش نشان می‌دهد [۲۹]. فروپاشی میکروحباب‌های کاویتاسیون باعث ایجاد نیروهای برشی موضعی و تلاطم می‌شود که گلبول‌های چربی را به اندازه‌های کوچک‌تر می‌شکند [۲۹]. کوه و همکاران [۳۲] گزارش کردند که هموژنایزر معمولی و هموژنایزر فراصوت اندازه ذرات چربی مشابهی را در شیر تولید می‌کنند، اما با استفاده از روش اختلاط برشی در هموژنایزر معمولی، کاهش اندازه ذرات کارایی کمتری دارد. علاوه بر این، نیروهای برشی مکانیکی مسئول کاهش اندازه ذرات چربی هستند. درحالی‌که HIUS به دلیل پدیده کاویتاسیون تأثیر بیشتری بر یکنواختی اندازه ذرات چربی در شیر دارد.

برمودز-آگویر و همکاران [۳۳] عملیات حرارتی همراه با HIUS را بر روی شیر اعمال کردند و ریزساختار گلبول‌های چربی را پس از فرآیند حرارتی بررسی کردند. HIUS با ویژگی‌های ۴۰۰ W، ۲۴ kHz و دامنه ۲۴ μm ، ۱۲۰، با یک پروب ۲۲ mm در دمای ۶۳ °C اعمال شد. آن‌ها دریافتند که گرمایش هم‌زمان برای بهبود عملکرد HIUS در کاهش اندازه گلبول‌های چربی مورد نیاز است.

فشار موضعی ایجادشده در محدوده ۱۰۰ MPa به دلیل فروپاشی حباب‌های کاویتاسیون کارآمدتر از روش معمول همگن‌سازی است که در فشارهای پایین‌تر در محدوده ۲۰ تا ۵۰ MPa عمل می‌کند. در شکل ۳، گلبول‌های چربی فراصوت‌دهی شده در دمای ۶۳ °C نشان شده است.

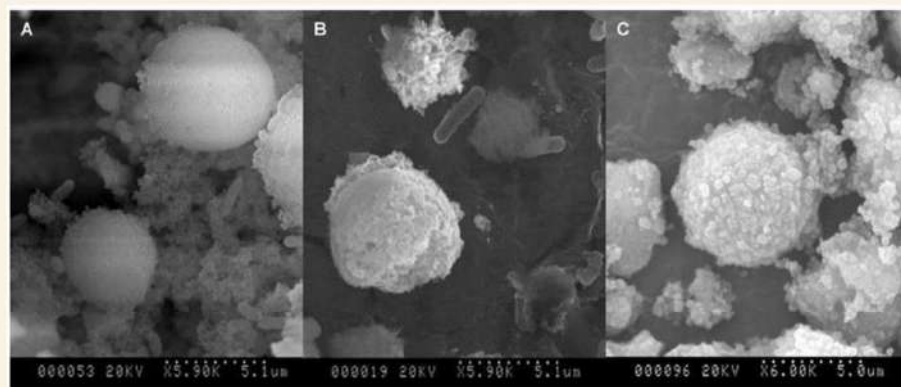
لیو و همکاران [۲۹] دریافتند که HIUS در مقایسه با فرآیند همگن‌سازی مرسوم به‌طور یکسان اندازه گلبول‌های چربی شیر را کاهش می‌دهد، اما منجر به آسیب کمتری به پروتئین‌های غشای گلبول چربی شیر می‌شود. اگرچه HIUS توانایی خوبی در همگن‌سازی شیر نشان داده است، اما ممکن است طعم شیر را به دلیل فشارهای موضعی و دماهای موضعی بسیار زیاد ایجادشده توسط حباب‌های کاویتاسیون در حال فروپاشی تغییر دهد. با این حال، آن‌ها ثابت کردند که HIUS ممکن است یک فناوری مطلوب برای همگن‌سازی شیر باشد، اما آن‌ها تحقیقات بیشتری را در مورد بهینه‌سازی و افزایش مقیاس این فناوری برای درک چالش‌های موجود پیشنهاد کردند.

فیلتراسیون

غشاء و فرایندهای غشایی به دلیل مصرف انرژی کمتر نسبت به سایر روش‌های جداسازی مرسوم به‌طور

شکل ۳

ریزساختار گلبول‌های چربی در شیر، A فراوری حرارتی در ۶۳ °C، B ۱۰ دقیقه ترموسونیکاسیون در ۶۳ °C، C ۳۰ دقیقه ترموسونیکاسیون در ۶۳ °C.



حباب‌های کاویتاسیون است که منجر به تنش برشی با مشخصات سرعت دینامیکی می‌شود که ذرات رسوب شده روی غشاء را در حین ریزش جاروب می‌کند. میکروجت‌ها جت‌های سیالی هستند که در سرعت‌های بالا (۱۰۰ تا ۲۰۰ m/s) به دلیل فروپاشی حباب‌های کاویتاسیون پرتاب می‌شوند که اجازه می‌دهد مواد جامد رسوب کرده روی سطح غشاء تمیز شوند [۳۵].

میرزایی و محمدی [۳۷] دریافتند که HIUS بر شار شیر مؤثر است و ضریب افزایش شار ۲۱۷٪ در فشار خوراک ۰/۸ bar به دست آمد، درحالی‌که هیچ اثر نامطلوبی بر یکپارچگی غشا نداشت. افزایش توان HIUS از ۲۰ W به ۴۰ W، منجر به افزایش ضریب افزایش شار از ۲۲۸٪ درصد به ۴۹۰٪ شد که به دلیل دامنه بیشتر HIUS و کاویتاسیون شدیدتر بود. این پدیده به دلیل کاهش اندازه ذرات و انسداد غشا است. بالین‌حال، اثر دقیق توان فراصوت بر اولترافیلتراسیون شیر نیاز به بررسی بیشتر دارد. علاوه بر این، باید توجه داشت که توان‌های بالاتر بسته به شرایط فرایند و غشاء می‌توانند بر ساختار غشا تأثیر بگذارند. هنگامی‌که غشاء دور از ناحیه کاویتاسیون قرار می‌گیرد، فقط جریان صوتی می‌تواند بر حذف ذرات تأثیر بگذارد و حباب‌های کاویتاسیون قبل از رسیدن به سطح غشاء در خوراک فرومی‌ریزند. همچنین حالت پیوسته HIUS به جای حالت پالسی برافزایش شار تأثیر بیشتری داشت.

قدرت‌های شدید HIUS می‌تواند به غشاء آسیب برساند. از طرف دیگر افزایش سرعت جریان متقاطع باعث کاهش آسیب بر روی سطوح غشا می‌شود. بالین‌حال، اثر مضاعف HIUS و سرعت جریان متقاطع نباید تنها روی افزایش شار و/یا کاهش آسیب سطح غشاء در نظر گرفته شود. همچنین بررسی اثرات آن‌ها بر روی ماکرومولکول‌های خاص، مانند دنا توره شدن پروتئین‌ها در طی فیلتراسیون شیر، بسیار مهم است [۳۵].

مزایای فناوری غشاء عبارت‌اند از: عملکرد آسان، طراحی فشرده و مدولار، انرژی ورودی کمتر و شرایط فرآوری ملایم [۳۴]. بالین‌حال، محدودیت اصلی برای استفاده گسترده از فناوری غشاء در صنایع غذایی، کاهش شار نفوذ به دلیل رسوب است. رسوب‌گیری مشکل اصلی محدودکننده در فرآیندهای غشایی است که شار نفوذ را کاهش می‌دهد.

تکنیک‌های سنتی برای به حداقل رساندن رسوب-گیری، اصلاح سطح غشاء و دستکاری جریان با کنترل شرایط هیدرودینامیکی است. درحالی‌که این روش‌ها مشکل را به طور کامل حل نمی‌کنند [۳۵]. اخیراً، مازول‌های ارتعاشی پیشنهاد شده‌اند که نرخ‌های برشی بالاتری تولید می‌کنند و آشفتگی را در سطح غشاء افزایش می‌دهند و باعث افزایش انتشار مجدد ذرات در محلول توده‌ای می‌شوند. فیلتراسیون غشایی به کمک HIUS توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. HIUS عملکرد فیلتراسیون را با شکستن لایه کیک در سطح غشاء و افزایش شار بهبود می‌بخشد. HIUS قادر است نیروی هیدرودینامیکی سیالات و متعاقباً شار را افزایش دهد که ممکن است به دلیل افزایش انتقال جرم به دلیل تلاطم بالاتر به جای اثر فراصوت باشد [۳۵]. فروپاشی حباب‌های کاویتاسیون باعث حذف لایه‌های رسوب‌کننده از سطح غشاء توسط نیروهای تلاطم و برشی می‌شود که می‌تواند بر نیروهای جاذبه بین لایه کیک و سطح غشاء غلبه کند. مکانیسم‌های پیشنهادی برای توضیح اثر HIUS بر رسوب غشایی عبارت‌اند از: جریان صوتی، میکرواستریم، میکروجریان و میکروجت. جریان صوتی به مایع اجازه می‌دهد تا ذرات را با فلوانفعالات ضعیف‌تر با سطح غشا جارو کند. میکرواستریم‌ها حباب‌هایی هستند که در هنگام برخورد با حباب‌های دیگر با ادغام انتشار می‌یابند و رشد می‌کنند و وقتی به سطح آلوده می‌رسند، ذرات رسوب‌شده روی غشاء را می‌کشند و نوعی حباب با اندازه فزاینده تولید می‌کنند [۳۶]. میکروجریان حرکت سیال در جهات مختلف ناشی از سیکل فشرده‌سازی-اتساع یکسان

نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات انجام‌شده در مورد تأثیر فراصوت بر فرآوری و کیفیت نهایی محصول و با پیشرفت این فناوری، به‌کارگیری فراصوت در فرآوری محصولات غذایی به‌صورت تجاری در آینده نزدیک اتفاق خواهد افتاد. در حال حاضر، در مقیاس‌های صنعتی محدودیت‌هایی برای این فرآیند وجود دارد و تلاش می‌شود تا با غلبه بر آن‌ها، دامنه کاربرد فراصوت افزایش پیدا کند. تحقیقات امروزی در مقیاس آزمایشگاهی انجام می‌شود، بنابراین مطلوب است که با صنعتی شدن این فناوری گامی در جهت افزایش وسعت دامنه کار و تلاش برای تجاری‌سازی آن برداشته شود. با این حال، گفته می‌شود که این فناوری از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است، اما کمبود دانش برای توسعه سیستم‌های مبتنی بر HIUS در مقیاس کامل وجود دارد. از سوی دیگر، مقیاس‌پذیری فرآیندهای فراصوتی با استفاده از راکتورهای فراصوت در مقیاس بزرگ، سونوترودها و میدل‌های اولتراسونیک همچنان یک چالش برای کاربردهای صنعتی است؛ بنابراین، مطالعات بیشتری باید در مورد افزایش مقیاس سیستم‌های پیوسته به کمک HIUS و فرآیندهای مرتبط در فرآوری محصولات غذایی انجام شود.

منابع

- [1] M. Gallo, L. Ferrara, D. Naviglio, *Foods* **2018**, 7, 164.
- [2] Z. J. Dolatowski, J. Stadnik, D. Stasiak, *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* **2007**, 6, 88.
- [3] P. Cui, X. Yang, Q. Liang, S. Huang, F. Lu, J. Owusu, X. Ren, H. Ma, *Ultrason. Sonochem.* **2020**, 62, 104859.
- [4] L. M. Carrillo-Lopez, I. A. Garcia-Galicia, J. M. Tirado-Gallegos, R. Sanchez-Vega, M. Huerta-Jimenez, M. Ashokkumar, A. D. Alarcon-Rojo, *Ultrason. Sonochem.* **2021**, 73, 105467.
- [5] I. Lavilla, C. Bendicho, in *Water Extr. Bioact. Compd.*, Elsevier, **2017**, pp. 291–316.
- [6] F. Chemat, N. Rombaut, A.-G. Sicaire, A. Meullemiestre, A.-S. Fabiano-Tixier, M. Abert-Vian, *Ultrason. Sonochem.* **2017**, 34, 540.
- [7] S. V. Sancheti, P. R. Gogate, *Ultrason. Sonochem.* **2017**, 36, 527.
- [8] S. Shokri, F. Javanmardi, M. Mohammadi, A. Mousavi Khaneghah, *Ultrason. Sonochem.* **2022**, 83, 105938.
- [9] B. Xu, S. M. R. Azam, M. Feng, B. Wu, W. Yan, C. Zhou, H. Ma, *Ultrason. Sonochem.* **2021**, 81, 105855.
- [10] D. Pingret, A. S. Fabiano-Tixier, F. Chemat, *Accelerated Methods for Sample Preparation in Food*, Elsevier, **2012**.
- [11] N. Bhargava, R. S. Mor, K. Kumar, V. S. Sharanagat, *Ultrason. Sonochem.* **2021**, 70, 105293.
- [12] G. Chatel, L. Novikova, S. Petit, *Appl. Clay Sci.* **2016**, 119, 193.
- [13] M. Zhang, N. Haili, Q. Chen, X. Xia, B. Kong, *Meat Sci.* **2018**, 136, 1.
- [14] Q. Sun, X. Zhao, C. Zhang, X. Xia, F. Sun, B. Kong, *LWT* **2019**, 108, 106.
- [15] A. D. Alarcon-Rojo, L. M. Carrillo-Lopez, R. Reyes-Villagrana, M. Huerta-Jiménez, I. A. Garcia-Galicia, *Ultrason. Sonochem.* **2019**, 55, 369.
- [16] M. R. Kasaai, *Nat. Sci.* **2013**, 05, 14.
- [17] N. S. Deora, N. N. Misra, A. Deswal, H. N. Mishra, P. J. Cullen, B. K. Tiwari, *Food Eng. Rev.* **2013**, 5, 36.
- [18] C. Gambuteanu, P. Alexe, *J. Food Sci. Technol.* **2015**, 52, 2130.



- [19] L. Jaiswal, M. Worku, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2022**, 62, 7503.
- [20] D. Wang, J. Fritsch, C. I. Moraru, *J. Dairy Sci.* **2019**, 102, 8798.
- [21] A. Mohamad, N. N. A. K. Shah, A. Sulaiman, N. Mohd Adzahan, R. M. Aadil, *J. Food Process. Preserv.* **2020**, 44, DOI 10.1111/jfpp.14940.
- [22] R. K. Abrahamsen, J. A. Narvhus, *Int. Dairy J.* **2022**, 131, 105375.
- [23] L. Nunes, G. M. Tavares, *Trends Food Sci. Technol.* **2019**, 90, 88.
- [24] C. F. Balthazar, A. Santillo, J. T. Guimarães, A. Bevilacqua, M. R. Corbo, M. Caroprese, R. Marino, E. A. Esmerino, M. C. Silva, R. S. L. Raices, M. Q. Freitas, A. G. Cruz, M. Albenzio, *Ultrason. Sonochem.* **2019**, 51, 241.
- [25] O. O. Alegbeleye, J. T. Guimarães, A. G. Cruz, A. S. Sant'Ana, *Trends Food Sci. Technol.* **2018**, 82, 148.
- [26] A. T. H. Bui, D. Cozzolino, B. Zisu, J. Chandrapala, *LWT* **2021**, 147, 111677.
- [27] P. Juliano, A. E. Torkamani, T. Leong, V. Kolb, P. Watkins, S. Ajlouni, T. K. Singh, *Ultrason. Sonochem.* **2014**, 21, 2165.
- [28] V. Akdeniz, A. S. Akalin, *Trends Food Sci. Technol.* **2019**, 86, 392.
- [29] Y. Liu, S. Boeren, L. Zhang, P. Zhou, K. Hettinga, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **2021**, 70, 102703.

[30] D. J. McClements, E. Newman, I. F. McClements, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2019**, 18, 2047.

[31] S. A. Bredikhin, V. N. Andreev, A. N. Martekha, E. A. Soldusova, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2022**, 954, 012014.

[32] L. L. A. Koh, J. Chandrapala, B. Zisu, G. J. O. Martin, S. E. Kentish, M. Ashokkumar, *Food Bioprocess Technol.* **2014**, 7, 556.

[33] D. Bermúdez-Aguirre, R. Mawson, G. V. Barbosa-Cánovas, *J. Food Sci.* **2008**, 73, E325.

[34] K. Nath, H. K. Dave, T. M. Patel, *Trends Food Sci. Technol.* **2018**, 73, 12.

[35] K. K. Dey, X. Zhao, B. M. Tansi, W. J. Méndez-Ortiz, U. M. Córdova-Figueroa, R. Golestanian, A. Sen, *Nano Lett.* **2015**, 15, 8311.

[36] M. LAMMINEN, *J. Memb. Sci.* **2004**, 237, 213.

[37] A. Mirzaie, T. Mohammadi, *J. Food Eng.* **2012**, 108, 77.





کامران خیرعلی پور

عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم،
دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

✉ k.kheiralipour@ilam.ac.ir

مؤلفه‌های فنی تولید پایدار



چکیده

هم تولید و هم پایداری از موضوعات بسیار مهم و راهبردی در هر کشور است. در تولید پایدار، نگاه به موضوع تولید با توجه ویژه به پایداری همراه است. تولید پایدار به همه رشته‌های و زمینه‌های تحصیلی و شغلی مرتبط است. تولید پایدار علاوه بر ثبات در ارائه محصول، چه کالا و چه خدمات با کمیت و کیفیت مناسب، سبب بهبود وضعیت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. در تولید پایدار، هدف از هر فعالیت تولیدی ایجاد یک اثر مثبت در جهان است، بنابراین ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی باید به‌طور هم‌زمان و در کنار ابعاد فنی تولید مورد توجه قرار گیرند. هر بعد در تولید پایدار دارای مؤلفه‌های خاصی است که در این مقاله معرفی شده‌اند. بسته به ماهیت و حجم هر فعالیت تولیدی، نیاز است همه یا برخی از این مؤلفه‌ها مورد توجه قرار گیرند.

کلمات کلیدی: تولید، کالا، خدمات، پایداری، بعد فنی



مقدمه

تولید در هر کشور از اهمیت بالایی برخوردار است و یکی از عوامل اقتدار هر کشور است. بخش بزرگی از اقدامات بشر به فعالیت‌های تولیدی برای ارائه محصول به شکل کالا یا خدمات (Garcia, 2014) تعلق دارد. تولید رفاه را بهبود می‌بخشد، چراکه با استفاده از محصول به دست آمده می‌تواند آسان‌تر مسائل را حل، مشکلات را برطرف و نیازها و خواسته‌های جوامع را برآورده کرد. فعالیتهای تولیدی سبب ارتقا ارزش افزوده و بنابراین وضعیت اقتصادی را بهبود بخشیده، سبب افزایش اشتغال می‌شود و بیکاری و معضلات اجتماعی متعاقب آن را کاهش می‌دهد.

پایداری یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دوستداران محیط‌زیست در جهان است. اهمیت پایداری به دلیل نقش کلیدی آن در افزایش رفاه در زندگی بشر و حفاظت از محیط‌زیست به‌طور هم‌زمان است. پایداری می‌خواهد با در نظر گرفتن همه جنبه‌های زندگی بشر، رفاه دائمی را برای نسل‌های فعلی و آینده فراهم آورد (Kuhlman and Farrington, 2010). پایداری یک موضوع فراگشته‌ای است؛ زیرا جنبه‌های مختلفی دارد، به همه جنبه‌های زندگی انسان مربوط می‌شود و همه زمینه‌های شغلی و تحصیلی می‌توانند به پایداری کمک نمایند. با توجه به اهمیت بالای مسائل مربوط به تولید و پایداری، هدف از مقاله حاضر، معرفی ابعاد و مؤلفه‌های تولید پایدار، بخصوص مؤلفه‌های فنی آن است تا اطلاعات اولیه‌ای را برای علاقه‌مندان به تولید، پایداری و تولید پایدار را فراهم نماید.

پایداری

پایداری قابلیت تحمل مداوم زندگی بشر از لحاظ مختلف در حال و آینده است. مفهوم پایداری از تعامل بین تلاش انسان برای داشتن زندگی بهتر و محدودیت منابع نشأت می‌گیرد (Kuhlman and Farrington, 2010).

پایداری یک مسیر طولانی است و نقطه پایانی کاملاً مشخصی ندارد. حرکت در این مسیر با استفاده و مصرف مناسب منابع انسانی، ماده و انرژی، پول، دانش و فناوری در یک تعادل قابل قبول برای برآوردن نیازهای انسان در کوتاه‌مدت و بلندمدت میسر است. در این مسیر سازمان‌دهی مجدد شرایط زندگی، تعدیل شیوه زندگی افراد، توسعه فناوری‌های پاک، طراحی سامانه‌های انعطاف‌پذیر و برگشت‌پذیر و توسعه تولید سبز ضروری است.

دو دیدگاه برای پایداری به‌عنوان دیدگاه ضعیف (اقتصادی) و قوی (زیست‌محیطی) وجود دارد (Stiglitz, 1997). پایداری ضعیف بر جبران تخریب منابع طبیعی توسط سرمایه افزایش یافته تأکید می‌کند؛ چراکه استفاده از منابع طبیعی اجتناب‌ناپذیر است. پایداری قوی بر حفظ منابع طبیعی تأکید می‌کند؛ چراکه وجود آن برای بقای انسان ضروری است. دیدگاه اول می‌گوید نسل بعدی باید از دارایی‌های بشر مانند دانش، فناوری، زیرساخت‌ها، مناظر، میراث فرهنگی و غیره به‌اندازه نسل قبلی به ارث ببرد و دیدگاه دوم می‌گوید که نسل بعدی نباید دارایی‌های زیست‌محیطی را کمتر از سهم نسل قبلی به ارث ببرد (Ayres et al., 1998).

تولید

تولید فعالیتی برای ارائه یک محصول قابل استفاده است که باقیمت مشخصی فروخته می‌شود (Kotler et al., 2006)؛ بنابراین هرگونه اقدام بشر برای تولید کالا (در صنعت، کشاورزی، منابع طبیعی و غیره) یا خدمات (عملیات، مدیریت، سیاست و غیره) فعالیت تولیدی نامیده می‌شود. هر فعالیتی در هر حوزه‌ای از جمله صنعت، کشاورزی و ... نیازمند به تعریف راهبرد تولید است. راهبرد تولید به یک برنامه کلی اشاره دارد که مسیر رسیدن به اهداف بلندمدت فعالیتهای تولیدی را نشان می‌دهد (Ivanov et al., 2017). اولین سؤالی که راهبرد تولید باید به آن پاسخ دهد این است که کدام محصول

باید تولید شود؟ برای پاسخ به این سؤال، راهبرد تولید را می‌توان با توجه به نیاز مردم در مقابل محصولات وارداتی و همچنین محصولات صادراتی در مقابل منابع موجود در هر شهر، منطقه، یا کشور تدوین کرد. سؤال‌های دیگری که باید راهبرد تولید به آن پاسخ دهد شامل: چرا یک محصول باید تولید شود؟ چگونه می‌توان یک محصول را تولید کرد؟ و ...

تولید دارای دو مرحله اصلی است، طراحی طرح و پیاده‌سازی آن. این مراحل در فازهای پیش‌تولید، حین تولید و پس از تولید دخیل هستند. در هر فعالیت یا سامانه تولیدی، مدیریت برای انجام مراحل طراحی طرح و پیاده‌سازی آن ضروری است. طراحی اولین قدم در فعالیت‌های تولیدی است که فرایندی برای برنامه‌ریزی، تدوین، یا توسعه یک طرح یا برنامه برای حل یک مسئله است (Ochsner and Altenbach, 2020). به‌طور کلی، طراحی شامل مراحل طراحی پیش‌تولید، طراحی حین تولید، طراحی پس از تولید و بازطراحی است. مراحل فرعی طراحی پیش‌تولید شامل تعیین هدف، تجزیه و تحلیل، پژوهش، تعریف هدف، حل مسئله، ارزیابی، بهینه‌سازی و ارائه طرح است. طراحی حین تولید شامل مراحل فرعی آزمون و توسعه است.

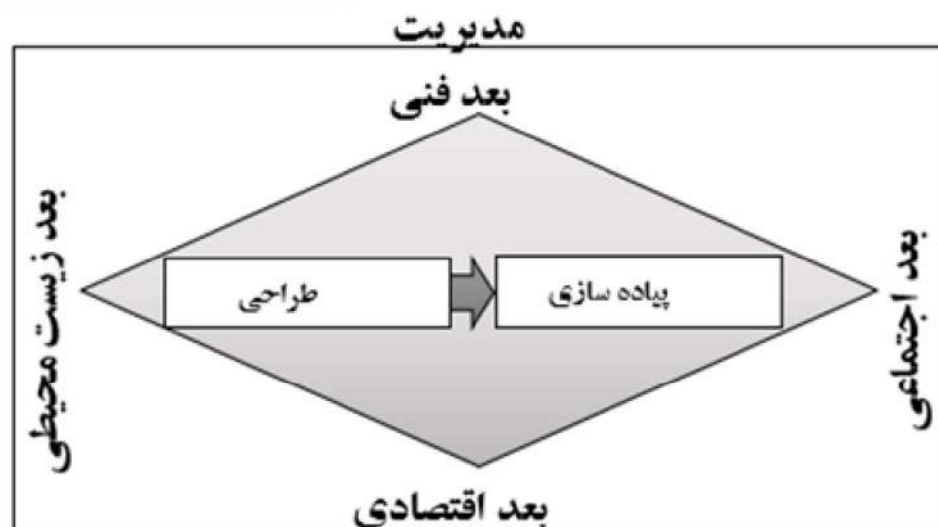
مراحل فرعی طراحی پس از تولید، پیاده‌سازی و ارزیابی هستند. بازطراحی آخرین مرحله طراحی است؛ چراکه ممکن است نیاز باشد برخی یا همه مراحل اصلی و فرعی آن تکرار شوند تا بتواند هدف را برآورده کند (Ullman, 2009).

پیاده‌سازی به اعمال، اجرا، یا استفاده از طرح یا برنامه برای تولید محصول (کالا یا خدمات) اشاره دارد (Coronel and Morris, 2018). این مرحله پس از طراحی طرح انجام می‌شود و اساساً باید به‌درستی مدیریت شود؛ بنابراین، پیاده‌سازی همانند فرآیند طراحی نیاز به مدیریت دارد. پیاده‌سازی شامل ایجاد یک کالا و یا انجام یک خدمت بر اساس طرح از پیش آماده‌شده است. پیاده‌سازی نیازمند زیرساخت، فناوری، نیروی انسانی، انرژی و پول است.

مدیریت به معنی اداره کردن امورات خود، یا سازمان یا سامانه تجاری یا غیرانتفاعی، سازمان‌های دولتی، شرکت‌ها، کارخانه‌ها، یا ادارات است که از طریق فرآیند تصمیم‌سازی و اجرا صورت می‌گیرد (DuBrin, 2011). مدیریت شامل چهار وظیفه اصلی برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، رهبری و کنترل و نظارت است که باید به‌صورت هم‌زمان و مرتبط با یکدیگر انجام شوند. مدیریت تولید که گاهی اوقات مدیریت کسب‌وکار نامیده

می‌شوند (Khojasteh, 2018). مدیریت تولید شامل مدیریت طراحی، مدیریت ساخت، مدیریت خدمات، مدیریت مهندسی، مدیریت منابع انسانی، مدیریت برنامه و پروژه، مدیریت دانش، مدیریت فناوری، مدیریت روابط عمومی، مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت تدارکات،





شکل ۱
ابعاد تولید پایدار.

این مهارت‌ها، مدیریت به مهارت‌های خط‌مشی، اداری، روابط، رهبری، رفتاری و تشخیصی نیاز دارد. مهارت خط‌مشی برای ایجاد یک پایگاه قوی و شکل دادن ارتباط مناسب با دیگران مورد نیاز است. در مدیریت، مهارت ادراکی برای تجزیه و تحلیل شرایط پیچیده، ناگهانی و غیرمنتظره ضروری است. مهارت ارتباطی برای برقراری ارتباط، ایجاد انگیزه، راهنمایی و تفویض اختیار اهمیت دارد. به توانایی فهم، تجسم و ارائه پاسخ‌های مناسب به یک موقعیت، مهارت تشخیصی گفته می‌شود. توانایی رهبری یکی از اصلی‌ترین مهارت‌های مورد نیاز برای برقراری ارتباط با یک چشم‌انداز و قانع کردن افراد برای پذیرش آن است. اقناع‌کنندگی یکی از اصلی‌ترین توانایی‌های افراد موفق است. همچنین، یک فرد موفق باید فردی صادق، قابل اعتماد، شجاع، ریسک‌پذیر و سخنگو باشد.

تولید پایدار

تولید پایدار به معنی ثبات در تولید دائمی است و باید علاوه بر موضوع تولید، به بحث پایداری نیز پرداخته شود؛ بنابراین تولید پایدار دارای ابعاد مختلفی هست. در تولید پایدار (شکل ۱) باید مراحل مختلف تولید یعنی طراحی و پیاده‌سازی، بعد فنی همانند همه ابعاد

مدیریت تحقیق و توسعه، مدیریت کیفیت، مدیریت ریسک، مدیریت تغییرات، مدیریت نوآوری، مدیریت تسهیلات، مدیریت مالی، مدیریت بازاریابی، مدیریت فروش و مدیریت راهبردی است.

طراحی، پیاده‌سازی و مدیریت علاوه بر دانش عمومی، به دانش فنی و تخصصی برای انجام محاسبات، استفاده از ابزارها و بهره‌گیری نرم‌افزارهایی که در دانشگاه‌ها، دوره‌ها و کارگاه‌ها آموخته می‌شوند، نیاز دارد. مهارت حل مسئله، خلاقیت، ارتباطات (افضلی، ۱۳۹۹). مهارت خود مدیریتی در تولید و مدیریت تولید ضروری هستند. مهارت خود مدیریتی برای تنظیم، تعدیل و کنترل خود در همه جنبه‌های زندگی مانند احساسات، افکار، اضطراب، انگیزه‌ها، اقدامات، کارها و غیره برای انجام درست وظایف شخصی، شغلی و اجتماعی ضروری است. مهارت‌های خود مدیریتی بر مسئولیت شخصی مانند تعیین هدف، مدیریت زمان، خود انگیزشی، مدیریت اضطراب، پاسخگویی، مهارت‌های سازمانی و غیره تمرکز دارد. همچنین، درک دیگران، حل تعارض، انعطاف‌پذیری، صبر، ارتباط مؤثر و خودسازی از دیگر مهارت‌های خود مدیریتی است. این مهارت‌ها سبب بهبود استقلال انسان، توانایی ایجاد فرصت و اشتغال، افزایش بهره‌وری، عملکرد و کار آیی می‌شود. علاوه بر

اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، به‌درستی مدیریت شود.

علاوه بر بهره‌وری بالا، محصول باید عملاً قابل استفاده، ایمن، قابل اعتماد، رقابتی و قابل فروش باشد؛ بنابراین، بعد یا جنبه فنی و تخصصی یکی از اصلی‌ترین عوامل مهم در تولید است. از آنجاکه فرایندهای تولید نیاز به ورودی‌های مختلفی دارند و هر ورودی دارای قیمت خاصی هست، از طرفی دیگر خروجی‌ها ارزش بالاتری نسبت به ورودی‌ها دارند و بنابراین قیمت محصولات باید بالاتر از هزینه‌های تولید باشند؛ بنابراین اقتصاد یکی از ابعاد اصلی در فعالیت‌های تولیدی است. انتشار آلاینده‌ها به محیط‌زیست یکی از مسائل اصلی در فرایندهای تولیدی است که برای محیط‌زیست خطرناک هستند؛ بنابراین یکی دیگر از ابعاد تولید محصول، محیط‌زیست است. بعد اجتماعی فعالیت‌های تولیدی از آن جهت حائز اهمیت است که مشتریان توانایی انتخاب دارند. علاوه بر کیفیت و هزینه، علایق، افکار و باورهای مصرف‌کنندگان بر

انتخاب آن‌ها تأثیر می‌گذارد. از طرفی دیگر باید محصول تولیدی تأثیر مثبتی بر افراد و جامعه داشته باشد؛ بنابراین، بعد اجتماعی باید به‌عنوان یکی از ابعاد مهم فعالیت‌های تولیدی در نظر گرفته شود.

مؤلفه‌های تولید پایدار

هر بعد در تولید پایدار دارای مؤلفه‌های مختلفی است. نیاز است در هر فعالیت، بسته به ماهیت و نوع آن، همه یا برخی از این مؤلفه‌ها در نظر گرفته شوند. مؤلفه‌های اقتصادی عبارت‌اند از قیمت، هزینه، سود، بهره‌وری اقتصادی و بازده اقتصادی (Kitani, 1999; Mohammadi et al., 2008; Zangeneh et al., 2010). بعد زیست‌محیطی شامل استفاده از منابع (ماده و انرژی) (Kheiralipour and Sheikhi, 2021)، اثرات زیست‌محیطی (خیرعلی‌پور، ۱۳۹۹؛ Kheiralipour, 2021؛ Payandeh et al. 2016)، استفاده مجدد، بازیافت و دفع است (Epstein, 2015)؛

مؤلفه‌های تولید پایدار



(Grohens et al., 2021). جامعه‌شناسی، جغرافیا، تاریخ، روانشناسی، فلسفه، مردم‌شناسی، مدنی، قانون، سیاست و فرهنگ جزو مؤلفه‌های اجتماعی در تولید پایدار هستند (Rosen et al., 2015; Harris, 2016; Bjelland et al., 2017; Claus and Marriott, 2017; May and Ross, 2018; Griffiths et al., 2019; van de Poel, 2020; Storey, 2021; Squires, 2021; Hill and Varone, 2021).

بعد فنی تولید به دانش حرفه‌ای و تخصصی در مورد محاسبات، ملاحظات، عملیات، فرایندها و فناوری یک زمینه خاص اشاره دارد که برای تولید محصول (چه کالا و چه خدمات) در آن حوزه مورد نیاز است. بعد فنی تولید برای تولید محصولاتی با کیفیت و بازارپسندی بالا بسیار مهم است. همچنین بعد فنی در پایداری اهمیت دارد؛ زیرا می‌تواند مصرف ماده و انرژی در تولید را بهینه و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. توجه به بعد فنی سبب بهبود بعد اقتصادی تولید می‌شود و می‌تواند در بهبود وضعیت اجتماعی مؤثر باشد. از این رو بعد فنی تولید کالاها و خدمات باید در تولید پایدار رعایت شوند. مؤلفه‌های فنی در طراحی و پیاده‌سازی محصولات عبارت‌اند از فرآیند، تسهیلات تولید، محدودیت تولید، کمیت، کیفیت، مقیاس زمانی، مشخصات استاندارد، ایمنی، مسئولیت، قابلیت اطمینان، عملکرد، زیبایی‌شناسی، جرم، اندازه، عوامل انسانی، نصب، نگهداری، طول، عمر خدمت‌رسانی محصول، ذخیره‌سازی، عمر مفید، آزمایش، مستندات، بسته‌بندی توده‌ای، بسته‌بندی نهایی، حمل و نقل، نام تجاری، رقابت، بازار و مشتری (Childs, 2013).

مؤلفه‌های فنی

در تولید پایدار، بستگی به ماهیت و حجم کار فعالیت تولیدی، باید تمام یا برخی از مؤلفه‌های فنی مورد توجه قرار گیرند تا بهترین محصولات، سازگار با محیط‌زیست، با درآمد بالا و با اثرات مثبت بر جامعه تولید شود.

تولید با انجام یک یا چند فرآیند بر روی ورودی‌ها صورت می‌گیرد. فرآیند تولید مجموعه‌ای از اقدامات مانند تغییر، ترکیب و غیره برای تولید یک محصول است (Sharma, 2006). تسهیلات یا امکانات تولید شامل زیرساخت‌ها و فناوری‌های عمومی و خاص برای تولید یک محصول است. تسهیلات تولید امکان انجام یک کار را فراهم می‌کند و باعث می‌شود که امورات مختلف آسان‌تر، سریع‌تر و با دقت بالاتر انجام شود (Perez-Gosende et al., 2021). محدودیت‌های تولید محدودیت‌های خاصی هستند که باید در هر مرحله از تولید محصول، از طراحی یک طرح تا مصرف محصولات تولیدشده، در نظر گرفته شوند (Nkomo et al., 2021). محدودیت ممکن است موقت یا دائمی باشد. محدودیت‌ها ممکن است فنی، مالی، زیست‌محیطی، سیاسی، قانونی و غیره باشد. کمیت یک ویژگی مقداری از محصول است (Chase, 2020). گاهی افزایش کمیت محصول باعث افزایش درآمد خالص می‌شود؛ زیرا در این موارد بازده مصرف نهاده‌هایی مانند نیروی کار، ماده و انرژی بهبود می‌یابد و در نتیجه درآمد خالص تولید افزایش می‌یابد. کیفیت یک ویژگی برای نشان دادن برتری محصول یا وضعیت موجود است (Ling and Mansori, 2018). کیفیت اولین عامل برجسته‌سازی و بهبود تصویر برند تولیدکننده است؛ زیرا اولین دلیل مصرف‌کنندگان برای خرید محصول است و بر این اساس محصولات را با رقبای موجود در بازار مقایسه می‌کنند. مشخصات استاندارد مجموعه‌ای از اسناد شامل اطلاعات خصوصیات فیزیکی و عملکردی لازم در مورد قطعات محصول، اندازه، استحکام، نوع ماده (جنس)، فرایندها و غیره است که باید در طراحی و پیاده‌سازی محصول در نظر گرفته شود (ASTM International, 2012). زیبایی ظاهری محصولات در حیطه زیبایی‌شناسی قرار دارد (Nanay, 2019). عوامل مختلفی مانند شکل، سطح، رنگ، اندازه، لطافت و ظرافت، زیبایی محصول را نشان می‌دهند و

اولین عاملی است که مصرف‌کنندگان را به خود جلب می‌کند چون در دید مشتری ظاهر می‌شود. نوع ماده یا جنس بر کیفیت، هزینه تولید، جرم و اندازه محصولات تولیدشده تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین نوع ماده در تولید پایدار مهم هست و باید به‌درستی انتخاب شود (Benavides-Serrano et al., 2019).

مقیاس زمانی مقیاسی است که برای ارزیابی مدت‌زمان اجرای یک فرآیند به کار می‌رود (Mahesh et al., 2018). مدت‌زمان اجرای یک فرآیند تولید باید کاهش یابد؛ زیرا در این صورت مصرف انرژی کاهش و همچنین محصول سریع‌تر به بازار عرضه می‌شود. در برخی موارد، کاهش مدت‌زمان از خراب شدن محصول جلوگیری می‌کند. طول عمر محصول به کل زمان عمر محصول اشاره دارد. طول عمر محصول مدت‌زمان بین خرید تا از دفع آن است (Shinsuke et al., 2010). طول عمر محصول با عمر اقتصادی محصول متفاوت است؛ زیرا عمر اقتصادی محصول شامل مدت‌زمان بین خرید و زمانی است که نگهداری محصول از تعویض آن گران‌تر است. همچنین طول عمر محصول با عمر فنی و عمر عملکردی محصول متفاوت است. عمر فنی محصول به حداکثر دوره زمانی اشاره دارد (Cooper, 2010) که یک محصول دارای ظرفیت فیزیکی برای خدمت‌رسانی است. عمر عملکردی (Cox et al., 2013) به مدت‌زمانی اشاره دارد که یک محصول باید بدون هیچ‌گونه مداخله خارجی برای افزایش طول عمر آن، دوام بیاورد. عمر خدمت‌رسانی مدت‌زمانی است که محصول قادر به ارائه خدمت است (Evans and Cooper, 2010). انبارداری به معنی قرار دادن یک کالا در فروشگاه مربوطه مانند بازار، سیلو، یخچال، باتری و غیره، با شرایط نگهداری مشخص است (Shearlock, 2019). ماندگاری یا مدت‌زمان نگهداری به حداکثر مدت‌زمانی اشاره دارد که یک کالا می‌تواند در انبار مربوطه بدون از دست دادن عملکرد خود نگهداری شود (Galanakis, 2019). درواقع، ماندگاری به

مدت‌زمانی اشاره دارد که یک کالا می‌تواند پس از ذخیره‌سازی فروخته شود، مصرف شود، یا استفاده شود. ایمنی به اطمینان در برابر شکست (ترک، شکستن، پوسته‌پوسته شدن، سایش، خوردگی و غیره) اشاره دارد که با ضریب ایمنی یا عامل طراحی بیان می‌شود (افضلی، ۱۳۹۹). ایمنی عامل اصلی کیفیت محصول است. مسئولیت به پذیرش هرگونه آسیب و صدمه که به مصرف‌کننده به دلیل نقص در محصولات تولیدشده توسط آن‌ها می‌شود، توسط تولیدکننده اشاره دارد (Koziol et al., 2018). قابلیت اطمینان ثبات کلی یک ویژگی است (Pham, 2003). در فعالیت‌های تولیدی، قابلیت اطمینان یا در دسترس بودن برای کالاها به‌ویژه برای ماشین‌ها و تجهیزات به کار می‌رود و به توانایی کالا در خدمت‌رسانی بدون خرابی در شرایط و مدت‌زمان خاص مشخص اشاره دارد. عملکرد به اجرا یا انجام کار یا وظیفه مورد انتظار اشاره دارد. بازده یا کارایی توانایی یک محصول در ارائه عملکرد موردنظر را نشان می‌دهد (McDavid et al., 2020). عوامل انسانی به در نظر گرفتن اصول روحی و جسمی انسان در تولید یک محصول اشاره دارد (Ray and Maiti, 2018). درواقع، زمانی که محصولی طراحی و تولید می‌شود، جنبه‌های روحی و جسمی مصرف‌کننده آن باید اعمال شود.

جرم و وزن با میزان استفاده از ماده در تولید محصول مرتبط است (Zhu et al., 2018). اندازه به ابعاد طول، عرض و ضخامت محصولات اشاره دارد (Radojicic et al., 2013). همانند جرم و وزن، اندازه نیز به مقدار موادی که برای تولید یک محصول استفاده می‌شود مربوط است؛ بنابراین فرآیند طراحی باید به‌گونه‌ای انجام شود که از هرگونه افزایش جرم و اندازه جلوگیری شود، در غیر این صورت، ماده و منابع بیشتری مصرف می‌شود و باعث افزایش اثرات زیست‌محیطی و همچنین هزینه تولید می‌شود. برخی از محصولات دارای قطعات یا اجزای مختلفی هستند که در این موارد، نصب به معنای سوار کردن قطعات مختلف برای تکمیل محصول

2017). نام تجاری باعث ایجاد ارزشی به نام ارزش ویژه نام تجاری می‌شود. برای همین محصولات، هر چه نام تجاری معروف‌تر باشد، درآمد تولیدکننده بیشتر می‌شود. چنین نامی خریداران و مصرف‌کنندگان بیشتری را جذب می‌کند و بنابراین درآمد را افزایش می‌دهد. از این رو نام تجاری از نظر اقتصادی مهم است. رقابت تلاشی است که توسط یک تولیدکننده برای تولید محصولات بهتر برای جذب مشتریان بیشتر در مقایسه با سایر تولیدکنندگان و در نتیجه کسب درآمد بیشتر انجام می‌شود (Hudson, 2016). اگر رقابت در نظر گرفته نشود، ممکن است محصولات برای مدت طولانی موردعلاقه مشتریان نباشد و دچار نقص یا خرابی شوند. این موضوع به معنای از دست دادن ماده و انرژی و ضرر اقتصادی و زیست‌محیطی است.

بازارپسندی مؤلفه پیچیده‌ای است زیرا عوامل مختلفی مانند قیمت، جدید بودن، ظاهر، کیفیت، نام تجاری و غیره بر آن تأثیر می‌گذارند. از این رو در طراحی و پیاده‌سازی طرح محصولات توسط تولیدکنندگان باید موردتوجه قرار گیرد (Knotts et al., 2009). یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بازارپسندی، علاقه مشتری است که محصولات باید آن را برآورده کنند.



موردنظر ضروری است (Gupta, 2019). برخی از محصولات نیاز به نگهداری و تعمیر دارند. تعمیر و نگهداری محصول فرآیندی است که از زمان تولید محصول شروع می‌شود و تا پایان عمر آن ادامه دارد (Ben-Daya et al., 2016).

آزمون یا ارزیابی فرآیندی برای تعیین عملکرد، دقت، کیفیت، شایستگی، ارزش، اهمیت، یا هر ویژگی دیگر یک محصول مانند مواد، ماشین‌ها، وسایل، تجهیزات، سامانه‌ها و غیره است. آزمایش‌ها ممکن است بر اساس مجموعه‌ای از استانداردها انجام شود (Mehta et al., 2016). مستندات (کتابچه راهنما) شامل اطلاعات و دستورالعمل‌های موردنیاز یک محصول تولیدشده مانند قطعات، نصب، استفاده و نگهداری آن هست (Schubert, 2000). این اطلاعات برای استفاده و نگهداری بهتر از محصول ضروری است؛ بنابراین تولیدکنندگان باید اطلاعات صحیح را در مستندات محصول ارائه کنند.

بسته‌بندی به دو صورت وجود دارد: بسته‌بندی توده‌ای و بسته‌بندی تکی. بسته‌بندی توده‌ای محصور کردن ایمن کالاهایی قبل یا بعد از بسته‌بندی تکی در جعبه‌های بزرگ‌تر، کارتن‌ها، کیسه‌ها و غیره است تا از آن‌ها در برابر آسیب در طول فرآیند حمل‌ونقل محافظت شود (Gerald and Friedman, 2010). بسته‌بندی تکی و بسته‌بندی توده‌ای کاملاً یکسان نیستند؛ اما گاهی اوقات به جای یکدیگر به عنوان مترادف به کار می‌روند. بسته‌بندی تکی علم و فناوری قرار دادن کالاها در جعبه، ظرف، یا شیشه برای حمل، توزیع، انبار، فروش و استفاده است (Garcia-Arca et al., 2017).

حمل‌ونقل به سازمان‌دهی، تهیه، مستندسازی، اجرا و گزارش فرآیند حمل‌ونقل کالاها اشاره دارد (Colvin, 2017).

نام تجاری اسم، اصطلاح، طرح، نماد، یا هر ویژگی دیگری است که برای متمایز کردن یک تولیدکننده از دیگر تولیدکننده‌ها استفاده می‌شود (Silva Chaves, 2017).

نتیجه‌گیری

تولید پایدار دارای اهمیت بالایی است؛ چراکه علاوه بر ثبات در ارائه کالا و خدمات، سبب بهبود وضعیت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. تولید پایدار موضوع پیچیده‌ای است؛ چراکه علاوه بر موضوع تولید، باید پایداری نیز مدنظر قرار گیرد تا یک تولید دائمی و باثبات حاصل گردد. در تولید پایدار، اولین هدف از هر فعالیت تولیدی ایجاد یک اثر مثبت در جهان است، بنابراین ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی باید به‌طور هم‌زمان و در کنار ابعاد فنی تولید موردتوجه قرار گیرند. همه مؤلفه‌های فنی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در تولید پایدار در این مقاله ذکر شده‌اند. بسته به ماهیت و حجم هر فعالیت تولیدی، نیاز است همه یا برخی از مؤلفه‌های تولید پایدار موردتوجه قرار گیرند.

منابع

- افضلی، م.ر.، (۱۳۹۹). طراحی اجزا ماشین‌شیکلی. نشر کتاب دانشگاهی، تهران، ایران.
- خیرعلی پور، ک.، (۱۳۹۹). ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات. انتشارات دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
- ASTM International. (2012). *Form and Style of Standards, ASTM Blue Book. The American Society for Testing and Materials (ASTM). US*.
- Ayres, R.U., van den Bergh, J.C.J.M., and Gowdy, J.M. (1998). *Viewpoint: Weak versus Strong Sustainability, Tinbergen Institute Discussion Papers, Tinbergen Institute, Amsterdam, The Netherlands*.
- Benavides-Serrano, A.F., Pena-Sabogal, A.S., Leon, O.M., Sanchez Acevedo, G.H., and Gonzalez Estrada, O.A. (2019). Optimization of parameters in material selection of tricone drill bit head design. *Journal of Physics Conference Series*, 1159(1): 012018.
- Ben-Daya, M., Kumar, U., and Murthy, D.N.P. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization and Management. 1st Ed. Wiley*.
- Bjelland, M., Kaplan, D., Malinowski, J., and Getis, A. (2017). *Introduction to Geography. 15th Ed. McGraw-Hill Education. New York City, US*.
- Chase, H. (2020). *Handbook on designing for quantity production. 2nd Ed. Mcgraw-hill, London, UK*.
- Childs, P.R.N. (2013). *Mechanical Design, Engineering Handbook. 2nd Ed. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford, UK*.
- Claus, P., and Marriott, J. (2017). *History: An Introduction to Theory, Method and Practice. 2nd Ed. Routledge. Oxfordshire, UK*.
- Colvin, E.M. (2017). *Transportation of Agricultural Products in the United States, 1920-June 1939, Vol. 2: A Selected List of References Relating to the Various Phases of ... Highway, Rail, and Water Transportation. 1st Ed. Forgotten Books. London, UK*.
- Coronel, C.M., and Morris, S. (2018). *Database Systems: Design, Implementation, & Management. 13th Ed. Cengage Learning. Massachusetts, US*.



- Cox, J., Griffith, S., Giorgi, S., and King, G. (2013). *Consumer understanding of product lifetimes. Resources, Conservation & Recycling*, 79: 21–29.
- DuBrin, A.J. (2011). *Essentials of management*. 9th Ed. South-Western College Pub. Ohio, US.
- Epstein, E. (2015). *Disposal and Management of Solid Waste*. 1st Ed. CRC Press. New Jersey, US .
- Evans, S., and Cooper, T. (2010). *Consumer Influences on Product Life-Spans*. In Cooper, T. *Longer Lasting Products*. Routledge. Oxfordshire, UK .
- Galanakis, C. (2019). *Food Quality and Shelf Life*. 1st Edition. Academic Press. Cambridge, Massachusetts, US.
- Garcia, R. 2014. *Creating and Marketing New Products and Services*. 1st Ed. Auerbach Publications. Florida, USA.
- Garcia-Arca, J., González-Portela Garrido, A.T., and Prado-Prado, J.C. (2017). *Sustainable Packaging Logistics: The link between sustainability and Competitiveness in Supply Chains*. *Sustainability*, 9: 1098.
- Gerald, J., and Friedman, D.R. (2010). *Wholesale Packing Resource Guice*. New Entry Sustainable Farming Project. Boston. Massachusetts, US .
- Griffiths, H., Strayer, E., and Cody-Rydzewski, S. (2019). *Introduction to Sociology*. 2nd Ed. XanEdu Publishing. Ann Arbor, Michigan, US.
- Grohens, Y., Sadasivuni, K.K., and Boudenne, A. (2013). *Recycling and Reuse of Materials and Their Products*. *Advances in Materials Science*. Volume 3. 1st Ed. Apple Academic Press Inc. Ontario, Canada.
- Gupta, M. (2019). *Installation Maintenance and Repair of Electrical Machines and Equipments*. 2nd Ed. S.K. Kataria & Sons. New Delhi, Delhi, India.
- Harris, P. (2016). *An Introduction to Law*. 8th Ed. Cambridge University Press .
- Hill, M., and Varone, F. (2021). *The Public Policy Process*. 8th Ed. Routledge. Oxfordshire, UK.
- Hudson, R. (2020). *Co-produced Economies: Capital, Collaboration, and Competition*. 1st Ed. Routledge. Oxfordshire, UK .
- Ivanov, D., Tsipoulaidis, A., and Schönberger, J. (2017). *Production Strategy*. Chapter 6. *Global Supply Chain and Operations Management: A decision-oriented introduction into the creation of value*, Cham, 1st Ed. Springer Nature. Berlin, Germany.
- Kheiralipour, K., (2021). *Environmental Life Cycle Assessment of Poultry Production Systems*, Chapter 3. *Interdisciplinary applications of the life cycle assessment tool*. Nova Science Publishers, New York.
- Kheiralipour, K., Sheikhi, N. (2021). *Material and energy flow in different bread baking types*. *Environment, development and sustainability*, 23(7): 10512-10527 .
- Khojasteh, Y. (2018). *Production Management Advanced Models, Tools, and Applications for Pull Systems*. 1st Ed. Productivity Press. New York, US.
- Kitani, O. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. *Energy Biomass and Engineering*. ASAE Publication. Saint Joseph, Missouri, US.
- Knotts, T.L., Jones, S.C. and Udell, G.G. (2009). *Innovation Evaluation and Product Marketability*, 19(2): 84-90.

معرفی و بررسی کاربرد تکنیک تلفیق داده‌ها در حسگرهای مصنوعی جهت ارزیابی کیفیت

محمد قوشچیان^{۱*}

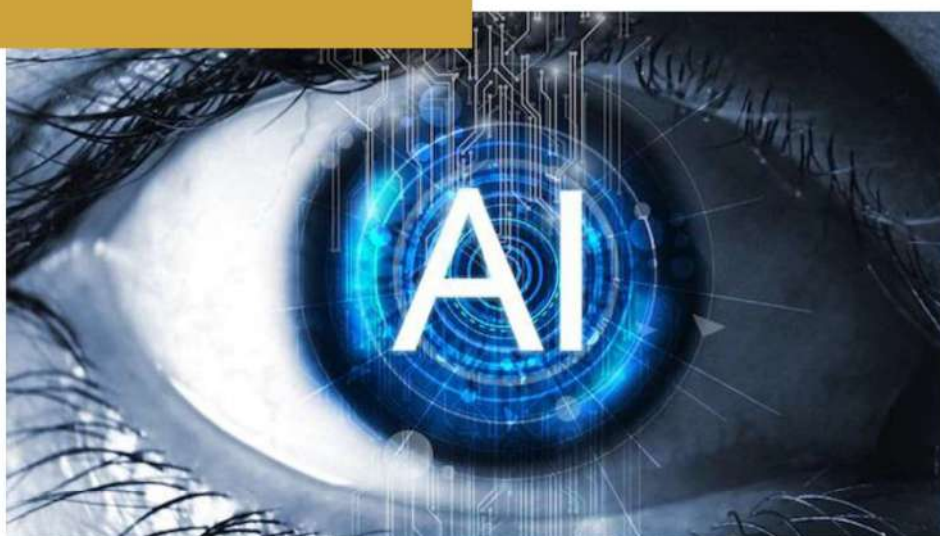
سیل‌سعید محتسبی^۲

شاهین رفیعی^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های
کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه
تهران

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی ماشین‌های
کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه
تهران

✉ mghoushchian@ut.ac.ir



چکیده

تجزیه و تحلیل غذا با استفاده از حواس انسانی به شدت بر پاسخ‌های ارزیابی به دلیل خطاها و پیچیدگی روش‌های ارزیابی تأثیر گذاشت. از این رو، استفاده از ابزارهایی که قادر به تقلید حواس انسان باشند، رویکرد قابل قبول تری در نظر گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر سامانه‌هایی که به نام‌های بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و چشم الکترونیکی شناخته می‌شوند، برای مطالعه در محل با دست کاری کم یا بدون دست کاری نمونه ساخته شده‌اند. هدف نهایی می‌تواند ارزیابی پارامترهای کیفی کلی مانند ویژگی‌های حسی باشد که با «بو»، «طعم» و «رنگ» نمونه تحت بررسی یا در تشخیص کمی آنالیت‌ها باشد. به همان روشی که مغز انسان اطلاعات حاصل از حواس چندگانه را ترکیب می‌کند تا به دانش دقیق تری در مورد یک شی معین دست یابد، با استفاده از تکنیک‌های مناسب ادغام داده‌ها، ترکیب داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرهای مصنوعی می‌تواند اطلاعات دقیق تری در مورد نمونه نسبت به هر یک از سامانه‌های حسگر مستقل ارائه دهد. در این پژوهش، استراتژی‌های مختلف تلفیق داده‌های اعمال شده در توسعه سامانه‌های ترکیبی بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و چشم الکترونیکی برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی معرفی و بررسی شده است.

کلمات کلیدی: حسگرهای مصنوعی، ماشین بویایی، ماشین بینایی، ماشین چشایی



مقدمه

علاقه روزافزون مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان به ویژگی‌های کیفی محصولات غذایی، مستلزم توسعه سامانه‌های تحلیلی کارآمد برای نظارت بر کیفیت محصول نهایی است.

در این زمینه، استفاده از سامانه‌های حسگر مصنوعی که امکان به حداقل رساندن دست‌کاری نمونه را فراهم می‌کنند، مانند بین‌های الکترونیکی، زبان‌های الکترونیکی و چشم‌های الکترونیکی می‌تواند یک راه حل سودمند برای تعیین آنالیت‌های خاص یا تخمین کیفیت کلی ارائه‌شده توسط "بو"، "طعم" و "رنگ" نمونه مورد تجزیه و تحلیل باشد. اساساً، بین‌های الکترونیکی و زبان‌های الکترونیکی سامانه‌های حسگر غیراختصاصی هستند که به ترتیب قادر به تعامل با ترکیبات فرار و آنالیت‌های پراکنده در محلول هستند. به همین دلیل، سامانه‌های بین‌های الکترونیکی و زبان‌های الکترونیکی به نوعی با حس بویایی و چشایی انسان مرتبط هستند. برعکس، چشم‌های الکترونیکی برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مربوط به رنگ و جنبه یک نمونه که توسط چشم انسان تشخیص داده می‌شود، طراحی شده است و معمولاً بر اساس بینایی کامپیوتری، رنگ سنجی یا اسپکتروفتومتری است.

همان‌طور که مغز انسان اطلاعات حاصل از حواس چندگانه را به منظور دستیابی به دانش دقیق‌تری در مورد یک شی معین ترکیب می‌کند، ترکیب مجموعه داده‌های حاصل از حسگرهای مصنوعی مختلف می‌تواند اطلاعات جامعی را در مورد نمونه ارائه دهد که نمی‌توان آن را با تجزیه و تحلیل بلوک داده‌ها به‌طور جداگانه از یکدیگر به دست آورد.

بنابراین، تکنیک‌های تلفیق داده‌ها امروزه به‌طور مکرر در شیمی سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند و چندین مثال در مورد ترکیب تکنیک‌های تحلیلی مختلف در تحقیقات گزارش شده است.

در زمینه حسگرهای مصنوعی، استفاده از سامانه‌های سنجش ترکیبی بین‌الکترونیکی و زبان الکترونیکی اغلب مورد استفاده قرار گرفته است، درحالی‌که استفاده از سامانه‌های ترکیبی از جمله یک سامانه سنجش چشم الکترونیکی کمتر رایج است.

با حرکت به سمت چشم الکترونیکی، روش‌های سنتی مورد استفاده برای تعیین عینی خواص رنگ غذا شامل استفاده از رنگ‌سنج‌ها و اسپکتروفتومترها است، درحالی‌که در سال‌های اخیر، استفاده از سامانه‌های بینایی کامپیوتری مبتنی بر دوربین‌های قرمز-سبز-آبی (RGB) به سرعت ظهور کرده است.

ارزیابی حسی کلی غذا را می‌توان به‌صورت تحلیلی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های حسی مورد مطالعه قرار داد. روش‌های عینی برای ارزیابی کیفیت شامل تجزیه و تحلیل ابزاری است، اما برای استفاده عملی برای صنایع غذایی، روش‌های ابزاری باید مقرون به صرفه باشند و نتایج سریع و قابل تکرار ارائه دهند. در این زمینه، استفاده از سامانه‌های حسگر، مانند بین‌های الکترونیکی، زبان‌های الکترونیکی و چشم‌های الکترونیکی می‌تواند سودمند باشد. هدف نهایی ممکن است شامل تخمین پارامترهای کلی کیفیت، همچنین مربوط به ویژگی‌های حسی باشد که توسط «بو»، «طعم» و «رنگ» نمونه تجزیه و تحلیل شده یا در تعیین کمی آنالیت‌ها ارائه می‌شود.

بین‌الکترونیکی برای تشخیص و تمایز بین بوهای پیچیده اجزای معطر یک نمونه غذا طراحی شده است. این شامل طیف گسترده‌ای از حسگرهای گاز ناهمگن با ویژگی جزئی و یک سامانه تشخیص الگو است (تان و زو، ۲۰۲۰). کاربرد گسترده بین‌الکترونیک به پیشرفت در حسگرها، بهبود مواد، نرم افزارهای نوآورانه و پیشرفت در طراحی‌ها، مدارها و سامانه‌ها کمک کرده است (Rodríguez-Mandez et al., 2016). در حال حاضر، بین‌الکترونیکی به‌طور گسترده در صنایع مختلف از جمله مواد غذایی، دارویی و سایر زمینه‌های تحقیقاتی علمی استفاده می‌شود (Yakubu et al., 2021).

برای تجزیه و تحلیل کیفیت گوشت، ماهی، پیتزا، پنیر، نان و غلات استفاده شده است (کویاما و همکاران، ۲۰۲۱).

قابلیت‌های عالی این حواس مصنوعی برای شناسایی، تشخیص و تمایز ترکیب‌های پیچیده مواد شیمیایی منجر به توسعه مشابه‌های الکترونیکی سامانه‌های بیولوژیکی شده است (Amoli et al., 2019). این ابزارها برای ارزیابی کیفیت، مطالعات ماندگاری و ارزیابی حسی محصولات غذایی مختلف به صورت جداگانه موفق هستند. با این حال، فن تلفیقی که مبتنی بر ترکیبی از حواس مصنوعی به همراه سایر ابزارهای تحلیلی است، می‌تواند یک ابزار تحلیلی قدرتمند و عینی را تشکیل دهد که قادر به عملکرد بهتر از حواس مصنوعی به صورت مجزا است (دی روزا و همکاران، ۲۰۱۸).

تکنیک تلفیق داده‌ها

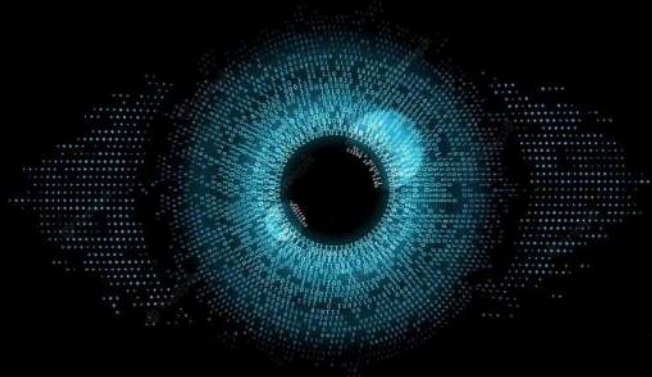
روش‌های ترکیب داده‌ها به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند، با توجه به حوزه کاربردی که در آن درگیر هستند. در شیمی سنتزی، به طور کلی از سه سطح اصلی برای توصیف استراتژی‌های تلفیق داده‌ها استفاده می‌شود:

- ادغام داده‌های سطح پایین، که شامل پیوستن مستقیم داده‌ها از منابع مختلف است.
 - ادغام داده‌های سطح متوسط، که رویکردی است برای ادغام ویژگی‌های انتخاب شده یا استخراج شده از هر مجموعه داده جداگانه با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده مناسب.
 - ادغام داده‌های سطح بالا، که در آن هر بلوک داده به طور مستقل تجزیه و تحلیل می‌شود و سپس خروجی های مدل‌های مختلف برای تولید پاسخ نهایی ترکیب می‌شوند.
- هنگام استفاده از بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و چشم الکترونیکی، رویکردی که در تعیین پارامترهای

زبان الکترونیکی که به عنوان زبان مصنوعی یا حسگر طعم نیز شناخته می‌شود، می‌تواند به عنوان یک ابزار تحلیلی که برای طبقه‌بندی طعم‌های مختلف مواد شیمیایی مختلف در یک نمونه مایع استفاده می‌شود، تعریف شود (Jain et al., 2010). معمولاً در تشخیص پزشکی، تجزیه و تحلیل میکروبی، پایش محیطی و فناوری مواد غذایی استفاده می‌شود (تان و زو، ۲۰۲۰). زبان الکترونیکی دارای مزایای اندازه‌گیری مواد سمی، انجام تجزیه و تحلیل عینی و عدم خستگی تشخیص است (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

چشم الکترونیکی را می‌توان با سامانه‌ای به نام تحلیل تصویر کامپیوتری یا بینایی کامپیوتری توضیح داد. بینایی کامپیوتری با ایجاد زمینه‌های نظری و الگوریتم‌هایی برای استخراج و تجزیه و تحلیل اطلاعات مفید در مورد یک شی، بینایی انسان را تقلید می‌کند (Hong et al., 2014). این روش با بازرسی بصری ویژگی‌های کیفی محصولات غذایی با گرفتن، پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر همراه است. با توجه به مقرون به صرفه بودن، سرعت، دقت و قوام برتر، چشم الکترونیکی با موفقیت





ترکیب داده‌های سطح پایین

ادغام داده‌های سطح پایین ساده‌ترین راه را برای تجزیه و تحلیل مشترک بلوک‌های داده‌های متعدد از سنسورهای تحلیلی مختلف نشان می‌دهد. در ادغام داده‌های سطح پایین، متغیرهای به دست آمده از حسگرهای مختلف به سادگی به صورت ردیفی باهم ادغام می‌شوند و ماتریس داده به دست آمده به اندازه تعداد نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده دارای سطر و به اندازه مجموع تعداد متغیرهای هر بلوک داده ستون دارد. سپس، این ماتریس داده ادغام شده را می‌توان برای ساخت مدل‌های کالیبراسیون چند متغیره یا طبقه‌بندی استفاده کرد. یکی از جنبه‌های کلیدی ادغام داده‌های سطح پایین، پیش‌پردازش است که به طور کلی در دو مرحله بعدی انجام می‌شود: اول، هر بلوک داده به طور جداگانه پیش‌پردازش می‌شود، و سپس روش‌های مقیاس‌بندی برای الحاق مناسب بلوک‌های داده مختلف ضروری است. در مرحله اول، هر بلوک سیگنال به منظور کاهش اثر نویز یا تغییرات سامانمند غیر اطلاعاتی به طور جداگانه پیش‌پردازش می‌شود. با توجه به ماهیت سیگنال‌های به دست آمده و نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده، روش‌های پیش‌پردازش مختلفی را می‌توان اعمال کرد، به عنوان مثال می‌توان از هموارسازی ساویتسکی - گولای برای تصحیح سیگنال‌های پر اغتشاش استفاده کرد.

مورد علاقه دنبال می‌شود، مبتنی بر تکنیک‌های "تجزیه و تحلیل کور" است که سیگنال‌های اندازه‌گیری شده با روش‌های شیمی‌سنجی تجزیه و تحلیل می‌شوند، که نیازی به هیچ فرضی در مورد گونه‌هایی که یک الگو نسبت داده شده است وجود ندارد. در واقع، با استفاده از این نوع رویکرد، برای به دست آوردن نتایج منسجم و مفید، نیازی به اختصاص جزئیات واحد پاسخ نیست.

ترکیب داده‌های به دست آمده توسط بین‌های الکترونیکی، زبان‌های الکترونیکی و چشم‌های الکترونیکی از طریق تکنیک‌های مناسب ترکیب داده‌ها، می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را در مورد یک نمونه نسبت به هر یک از دستگاه‌های حسگر منفرد ارائه دهد. به همان روشی که مغز انسان اطلاعات حاصل از حواس چندگانه را ترکیب می‌کند تا به دانش دقیق‌تری در مورد یک شی معین دست یابد. تکنیک‌های تلفیق داده‌ها به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند، با توجه به حوزه کاربردی که در آن دخالت دارند، و امروزه اغلب در شیمی سنجی زمانی که ترکیبی از تکنیک‌های تحلیلی مختلف استفاده می‌شود، استفاده می‌شوند. در زمینه حسگرهای مصنوعی، اغلب در مورد سامانه‌های سنجش ترکیبی بین‌های الکترونیکی و زبان‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالی که استفاده از سامانه‌های ترکیبی از جمله یک سامانه سنجش چشم‌های الکترونیکی کمتر رایج است.

اصلی دسته‌بندی کرد: روش‌های فیلتر، روش‌های پوششی و روش‌های تعبیه‌شده.

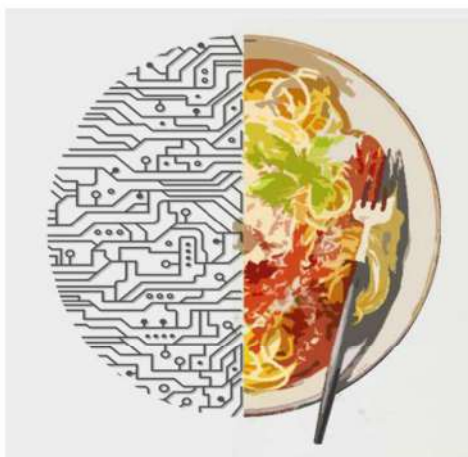
ترکیب داده‌های سطح بالا

برعکس استراتژی‌های سطح پایین و سطح متوسط، در ترکیب داده‌های سطح بالا، اطلاعات مربوط به حسگرهای مختلف در سطح تصمیم‌گیری ترکیب می‌شوند و این نوع رویکرد عمدتاً برای اهداف طبقه‌بندی استفاده می‌شود. با جزئیات بیشتر، مدل‌های مجزا به‌طور مستقل برای هر بلوک سیگنال محاسبه می‌شوند و پیش‌بینی‌های به‌دست‌آمده از مدل‌های مجزا برای تصمیم‌گیری نهایی به یکدیگر متصل می‌شوند. استراتژی‌های مختلفی را می‌توان برای ترکیب پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های واحد برای به دست آوردن خروجی نهایی می‌توان به کار برد. چالش اصلی در تلفیق داده‌های سطح بالا شامل شناسایی مدل طبقه‌بندی بهینه برای هر بلوک است به‌طوری‌که ترکیب خروجی‌ها بهتر از مدل‌های منفرد عمل می‌کند.

با توجه به مرحله دوم، روش‌های مقیاس بندی یا وزن دهی کافی برای در نظر گرفتن ابعاد مختلف بلوک‌های داده ضروری است. درواقع، زمانی که بلوک‌های داده دارای تعداد بسیار متفاوتی از متغیرها هستند؛ نتایج تجزیه و تحلیل در صورتی که روش‌های مقیاس‌بندی مناسب انجام نشوند به شدت تحت تأثیر بزرگ‌ترین بلوک قرار می‌گیرد. برای حل این مشکل، رایج‌ترین روش پیش‌پردازش که برای داده‌های ادغام‌شده سطح پایین اعمال می‌شود، مقیاس‌بندی بلوک است که شامل مقیاس‌بندی هر بلوک داده بر اساس انحراف استاندارد کلی آن است. به این ترتیب، با حفظ وزن نسبی متغیرها در هر بلوک، محاسبه بعدی مدل‌های چند متغیره تحت تأثیر بلوک‌های داده مختلف با وزن برابر قرار می‌گیرد. ادغام داده‌های سطح پایین دارای مزیت اصلی این است که امکان تفسیر مستقیم نتایج را از نظر سهم متغیرهای اصلی فراهم می‌کند و همبستگی بین متغیرهای متعلق به بلوک‌های مختلف نیز به راحتی قابل بررسی است ولی از سوی دیگر، محتوای نوین بلوک‌های مختلف داده اضافه می‌شود.

ترکیب داده‌های سطح متوسط

در ادغام داده‌های سطح متوسط (ادغام داده‌های سطح ویژگی)، سیگنال‌های اصلی به‌طور جداگانه برای استخراج یا انتخاب ویژگی‌های مربوطه تجزیه و تحلیل می‌شوند، و سپس این ویژگی‌ها برای به دست آوردن مجموعه داده‌های تلفیق‌شده به هم متصل می‌شوند. دو رویکرد را می‌توان برای به دست آوردن ویژگی‌های موردعلاقه از سیگنال‌های اصلی اتخاذ کرد. اول انتخاب متغیر و دوم استخراج ویژگی است. رویکرد انتخاب متغیر شامل انتخاب مرتبط‌ترین متغیرها از هر بلوک داده با استفاده از الگوریتم‌های انتخاب متغیر است که به‌طور خودکار متغیرهای مفید را شناسایی می‌کند و بر اساس پیش‌بینی‌های مدل، متغیرهای غیر اطلاعاتی را کنار می‌گذارد. روش‌های انتخاب متغیر را می‌توان به سه دسته



نتیجه‌گیری

بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و سامانه‌ی بینایی کامپیوتری سه سامانه تحلیلی هستند که به‌طور جداگانه در صنایع غذایی و دارویی به‌عنوان روش‌های تعیین کیفیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این سه سامانه‌ی غیر مخرب، سریع، سازگار و اقتصادی هستند. ادغام آن‌ها می‌تواند یک ابزار بازرسی قدرتمند و عینی را تشکیل دهد که می‌تواند از تکنیک‌های منفرد بهتر عمل کند. تکنیک ارزیابی ترکیبی دارای کاربردهای متنوعی است که جایگزین سامانه‌ای می‌شود که ممکن است به‌صورت جداگانه عملکرد کافی برای استفاده‌های خاص نداشته باشد. روش‌های جدید ترکیب حواس مصنوعی می‌توانند به‌سرعت به نتایج دقیق در مقایسه با حسگرهای فردی دست یابند. استفاده از روش‌های تحلیل چند متنیره، همراه با حواس عینی، بسیار قدرتمند بود. در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی برای توسعه چندین استراتژی تلفیق داده‌ها، با ترکیب خروجی منابع ابزاری متعدد برای بهبود کیفیت غذا انجام شده است. سامانه‌های حسگر مصنوعی بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و چشم الکترونیکی به‌عنوان ابزارهای تحلیلی در صنایع غذایی برای ارزیابی کیفیت غذا در حال افزایش ارتباط هستند. درواقع، حسگرهای مصنوعی می‌توانند اطلاعات مربوط به ویژگی‌های حسی و شیمیایی ماتریس غذایی تجزیه‌شده را ارائه دهند، که به حداقل رساندن نیاز به ارزیابی‌های حسی انجام‌شده توسط گروه‌های متخصص انسانی آموزش‌دیده یا تعیین‌های شیمیایی با استفاده از دستگاه‌های تحلیلی پیچیده امکان‌پذیر می‌شود. علاوه بر این، حسگرهای مصنوعی در مقایسه با روش‌های سنتی دارای مزایای زیادی هستند، ازجمله امکان آنالیز تعداد زیادی نمونه در زمان کوتاه و با مقادیر معرف محدود و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی مربوطه می‌شود. با توانایی تقلید حواس انسان، تکنیک‌های بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و چشم الکترونیکی و تلفیق آن‌ها می‌توانند بر پیامدهای تحلیل حسی ذهنی غلبه کنند. در این بررسی به تشریح نحوه کار و ساخت این ابزارها پرداخته شده است و کاربردهای مختلف این دستگاه‌ها در صنایع غذایی مورد بحث قرار گرفته است. تلفیق داده‌ها، ابزار تحلیلی سیستمی را با اطلاعات جامع و تکمیلی در مورد مواد غذایی ارائه می‌دهد که عملکرد هر ابزار را در صورت استفاده به‌صورت جداگانه افزایش می‌دهد. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که رشد و تحقیقات آینده‌نگر در این زمینه امکان درک بهتر این دستگاه‌ها را فراهم می‌کند که منجر به افزایش پیاده‌سازی در صنایع غذایی می‌شود.

منابع

- A. Loutfi, S. Coradeschi, G.K. Mani, P. Shankar, J.B.B. Rayappan, *Electronic noses for food quality: A review*, *J. Food Eng.*, 144 (2015) 103-111.
- Borràs, E.; Ferré, J.; Boqué, R.; Mestres, M.; Aceña, L.; Busto, O. *Data Fusion Methodologies for Food and Beverage Authentication and Quality Assessment—A Review*. *Anal. Chim. Acta* 2015, 891, 1–14.
- D. Wu, D.W. Sun, *Colour measurements by computer vision for food quality control – A review*, *Trends Food Sci. Tech.*, 29 (1) (2013) 5-20.
- E. Borràs, J. Ferré, R. Boqué, M. Mestres, L. Aceña, *Data fusion methodologies for food and beverage authentication and quality assessment - A review*, *Anal. Chim. Acta*, 891 (2015) 1-14.
- Escuder-Gilabert, L.; Peris, M. *Review: Highlights in Recent Applications of Electronic Tongues in Food Analysis*. *Anal. Chim. Acta* 2010, 665, 15–25.
- J. Gutiérrez, M.C. Horrillo, *Advances in artificial olfaction: Sensors and applications*, *Talanta*, 124 (2014) 95-105.
- L. Escuder-Gilabert, M. Peris, *Review: Highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis*, *Anal. Chim. Acta*, 665 (1) (2010) 15-25.
- P. Jackman, D.W. Sun, *Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment*, *Trends Food Sci Technol.*, 29 (1) (2013) 35-43.

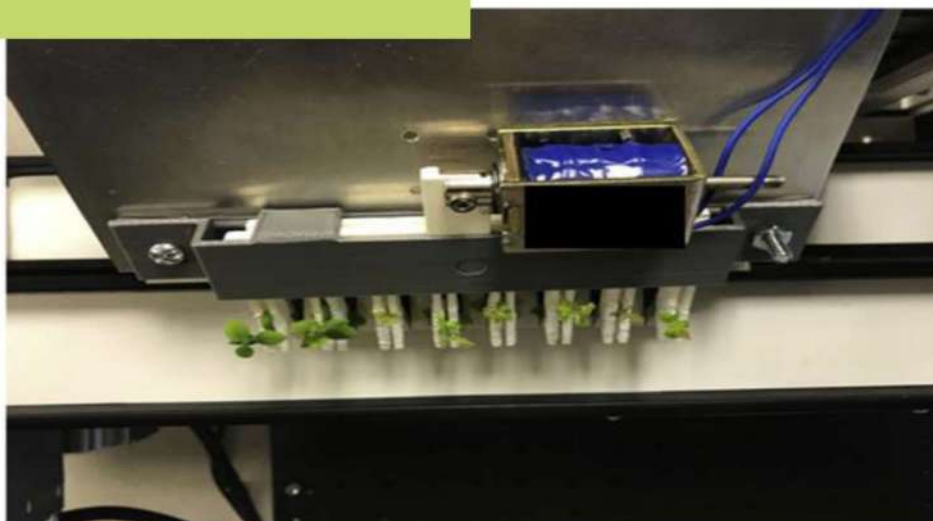


ریحانه پیروزی

دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی بذر، دانشگاه تهران

reyhaneh.pirozy@ut.ac.ir

اتوماسیون ریزازدیادی گیاهان از طریق کشت بافت



چکیده

ریزازدیادی یک تکنیک پیشرفته تکثیر رویشی جهت تولید گیاهان باکیفیت بالا و عاری از بیماری‌ها در حجم بالا و در مدت زمان اندک است. با افزایش تقاضا برای تولیدات زراعی، باغی و گیاهان دارویی، ریزازدیادی از طریق کشت بافت گیاهی اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. با این حال، این روند بسیار پرهزینه و حجم کار بسیار بالاست. اخیراً سیستم‌های جدیدی جهت اتوماسیونی کردن فرآیند ریزازدیادی به منظور کاهش هزینه نیروی کار، افزایش توان عملیاتی، کاهش خطر آلودگی با به حداقل رساندن تماس انسانی توسعه یافته‌اند. مطالعه حاضر به بررسی طراحی، فرآیند و امکان‌سنجی سیستم اتوماسیون ریزازدیادی پیشنهاد شده توسط لی و همکاران [۱]، پرداخته است. نمونه‌ای از این سیستم ساخته شد و آزمایش‌های پایلوت با یک نوع گیاه بلوبری انجام شد و تا ۹۰ درصد موفقیت به دست آورد. علاوه بر این، نتایج تجربی نشان داد که نرخ تولید آن با توان عملیاتی فرآیند دستی قابل مقایسه بود. سیستم خودکار پیشنهادی پتانسیل بالایی جهت پاسخگویی به تقاضای روزافزون تکثیر سریع گیاهان را دارد.

مقدمه

ریزازدیادی یک تکنیک کشت بافت برای تکثیر گیاهان یکسان از نظر ژنتیکی (کلون) در شرایط این ویترو (in vitro) است. این روش به طور گسترده‌ای جهت تکثیر سریع و انبوه ژنوتیپهای مطلوب، تولید گیاهان باکیفیت بالا و عاری از بیماریها به خصوص عاری از ویروسها استفاده میشود. امروزه بسیاری از گیاهان در سراسر جهان از طریق کشت بافت تولید میشوند و ریزازدیادی به یک بخش ضروری در کشاورزی مدرن تبدیل شده است که جنبه‌های کاربردی زیادی در زراعت و باغبانی دارد. به دلیل افزایش تقاضا برای محصولات زراعی و باغی مانند انواع بریها، سیبزمینی و ارکیده، ریز ازدیادی روزبه‌روز محبوبیت بیشتری پیدا کرده است. با وجود مزایای این روش، استفاده از آن نسبت به روشهای معمول گیاهافزایی در سطح تجاری با مشکلات متعددی از جمله هزینه‌های بالای تولید، حجم کار بالا و نیاز به نیروی کار ماهر و آموزش دیده همراه است. از این رو فرآیند ریزازدیادی به کاندیدای مناسبی برای اتوماسیون تبدیل میشود.

مکانیزاسیون فرآیند ریزازدیادی میتواند سهم عمده‌ای در غلبه بر محدودیتهای ناشی از روشهای معمول کشت بافت داشته باشد. روشهای رایج که بر اساس فعالیت آزمایشگاههای تحقیقاتی شکل گرفته‌اند شامل تعداد زیادی ظروف کشت کوچک و کاربرد محیطهای کشت مختلف برای کشت سلول، بافت و اندامهای گیاهی در شرایط استریل میباشد. در روش متداول، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است گیاهچه‌ها در ظروف پر از محیط رشد استریل حاوی مواد مغذی، قندها و تنظیم‌کننده‌های رشد لازم رشد میکنند. اپراتور در زیر یک هود لامینار (Laminar Hood)، گیاهچه‌ها را یکی پس از دیگری از محیط رشد جدا میکند و آنها را به دو یا سه قلمه کوچکتر برش میدهد. سپس آنها را در ظروف جدید حاوی محیط تازه کاشته و در یک محیط کنترل شده نگهداری می‌کنند تا برای واکست‌های بعدی آماده شوند [۱].



شکل ۱

ظروف کشت مورد استفاده جهت ذخیره‌سازی گیاهچه‌های کشت بافتی (روش متداول)

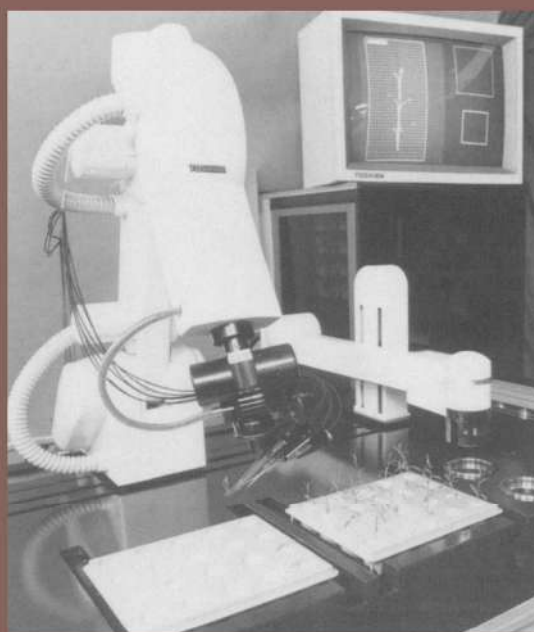
در دهه‌های اخیر، در آمریکای شمالی و اروپا، بخش عمده (تا ۸۰ درصد) هزینه کشت بافت گیاهان مربوط به نیروی کار بوده است [۲،۳]. هزینه نیروی کار هنوز هم یکی از هزینه‌های اصلی در صنعت کشت بافت در کشورهای توسعه‌یافته است [۴]. دومین عاملی که در هزینه بالا دخیل است، مصرف برق است. روشنایی قفسه‌ها و تهویه اتاقکهای رشد، به میزان قابل توجهی (در حدود ۸۵٪) برق مصرف میکنند. بر این اساس توجه زیادی جهت اتوماسیون مراحل تکراری برش، جداسازی، واکست و انتقال جوانه‌ها، قلمه‌ها یا گیاهچه‌ها در مراحل تکثیر و انتقال معطوف گشته است [۵]. علاوه بر کاهش هزینه نسبی نیروی کار، مزیت دیگر اتوماسیون فرآیند ریزازدیادی، کاهش خطر آلودگی است [۶-۸]. آلودگیهای باکتریایی و قارچی توسط تکنسینهای عملیاتی به‌عنوان یکی از جدیترین مشکلات کشت سلول و بافت گیاهی معرفی شده‌اند [۶،۹]. علاوه بر این، تولید سیستماتیکتر، منسجم‌تر و کنترل بهتر گیاهان را با اتوماسیونی کردن فرآیند ریزازدیادی میتوان به دست آورد. با این حال، با توجه به اینکه گیاهان بسیار متنوع و متفاوت از یکدیگر هستند، توسعه یک فرآیند اتوماسیون عمومی برای همه گیاهان از نظر فنی چالش برانگیز است همچنین انعطاف‌پذیری حاصل از ترکیب چشم و دست انسان را نمیتوان به راحتی حتی توسط پیچیده‌ترین تکنولوژیها نظیر (vision manipulator-controller) به دست آورد.

فشارسنج‌های تعبیه‌شده بر روی گیره اندازه‌گیری می‌شد و به‌منظور دستیابی به فشار ملایمی که به گیاه آسیبی نرساند به موتور منتقل می‌شد. زمان لازم برای شناسایی، برش و پیوند یک گره، ۱۵ ثانیه بود.

گروه تحقیقاتی دیگری در ژاپن سیستم‌های رباتیک ادغام‌شده با دید سه‌بعدی را برای ریزازدیادی گیاهان

توسعه دادند [۱۲]. دو سیستم رباتیک برای دو نوع مختلف از گیاهان توسعه داده شد و هر سیستم از سیستم‌های دید مجزایی برای هر یک از مراحل برش، تنظیم و کاشت استفاده می‌کرد. برخی از محققین اروپایی نیز سیستم‌های ریزازدیادی خودکاری را توسعه دادند که از برش لیزری به‌عنوان ابزار تشریح گیاهان استفاده می‌کرد [۱۳، ۱۴].

علاوه بر این، گروهی از محققین آلمانی سیستم ریزازدیادی خودکاری برای گراس‌ها (گندمیان) پیشنهاد کردند [۱۵]. این سیستم شامل سه ماژول بود که از طریق یک تسمه مونتاژ به هم وصل می‌شدند. گیاهانی که برای تکثیر استفاده می‌شدند از اتاقک کشت بیرون می‌آمدند و به ماژول اول می‌رسیدند و در آنجا این گیاهان توسط یک اندفکتور بیرون کشیده می‌شدند و بر روی یک پالت قرار می‌گرفتند. سپس پالت به ماژول دوم می‌رفت و در ماژول دوم توسط یک سیستم بینایی بررسی و ساقه‌ها با کاتر بریده می‌شدند. پس‌از آن، پالت به ماژول سوم می‌رفت و در آنجا ساقه‌ها برداشته‌شده و در ظرف کشت جدید کشت می‌شدند.



شکل ۲

سیستم کشت بافت توشیا
جهت تکثیر گیاهان گره‌دار [۱۱]

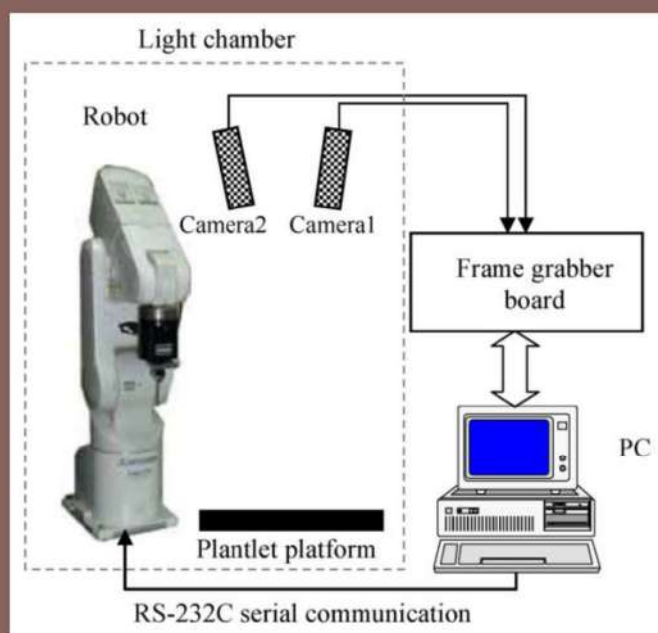
از اواخر دهه ۱۹۸۰ تا اواسط دهه ۹۰ میلادی، تمایل زیادی در میان کشورهای مختلف (به‌ویژه ایالات‌متحده آمریکا، انگلستان، هلند، آلمان، ژاپن و استرالیا) جهت توسعه فناوری‌های اتوماسیون ریزازدیادی وجود داشت و محققان و شرکت‌های متعددی تلاش نمودند تا سیستم‌های اتوماسیون را برای تکثیر گیاهان از طریق کشت بافت توسعه دهند. برای مثال، چندین شرکت در ژاپن سیستم‌های اتوماسیون را در مجموعه کشت بافت خود پیاده‌سازی کردند [۱۰]. یکی از این شرکت‌ها، سیستم کشت بافت توشیا را جهت تکثیر گیاهان گره‌دار طراحی نمود [۱۱]. این سیستم شامل دو ربات همکار بود: یک ربات حسگر و یک ربات برش. ربات حسگر موقعیت صحیح گیاه را با استفاده از پرتو لیزر حس می‌کرد و ربات برش مجهز به دو بازو بود که بازوی اول گیاهان را از سینی کشت برمی‌داشت و نگه می‌داشت و بازوی دوم مجهز به یک گیره پنس و قیچی مانند بود که گره‌ها را برش و سپس انتقال می‌داد (شکل ۲). گره‌ها زمانی شناسایی می‌شدند که قطر ساقه از یک مقدار از پیش تعیین‌شده تجاوز می‌کرد، یعنی جایی که شاخه‌ها از ساقه اصلی منشعب می‌شدند. نیروی گیرش با استفاده از

در آن گیاهان در لوله‌های بزرگ و در محیط کنترل شده رشد می‌کنند) و سیستم‌های میکروپونیک (که در آن گیاهان در محلول مواد مغذی در مقیاس کوچک رشد می‌کنند) است. هزینه تولید برای اتوماسیون سیستم‌های اتوتروپی به دلیل تجهیزات مورد نیاز برای کنترل شرایط کشت مطلوب بالا است. درحالی که سیستم‌های میکروپونیک برای کنترل محیط به چنین تجهیزاتی نیاز ندارند. اما در این سیستم فرآیند ریزازدیادی باید تحت شرایط استریل انجام شود. سیستم‌های مذکور به دلیل نیاز به زیرساخت نسبتاً بزرگ، طراحی برای یک روش خاص و پردازش و تشریح یک‌به‌یک گیاهچه‌ها کارایی پایینی دارند [۱۸] [۱۸]. اخیراً اتوماسیون سیستم‌های ریزازدیادی از نظر فناوری بالغ‌تر شده‌اند [۱۹،۲۰]. برخی از شرکت‌ها، اتوماسیون را در مرحله کاشت پیاده‌سازی کرده‌اند اما در خودکارسازی مراحل برش و آماده‌سازی گیاهچه‌ها محدودیت‌هایی دارند. گروهی از محققین در چین سیستم ریزازدیادی خودکاری را برای برش و انتقال

گروه دیگری از محققان یک شرکت استرالیایی سیستم ریزازدیادی خودکاری برای گیاهان چوبی ایجاد کردند [۱۶]. این سیستم شامل سه محفظه بود و از نیروی پنوماتیک برای راه‌اندازی سیستم استفاده می‌شد. در محفظه اول، سینی‌های حاوی محیط کشت تازه و گیاهان بر روی سیستم بارگذاری می‌شدند سپس سینی‌ها به محفظه دوم منتقل شدند و در آنجا درپوش‌هایی که جهت پوشاندن سینی‌ها استفاده شده بود، برداشته می‌شدند و گیاهان توسط یک دوربین CCD بازرسی می‌شدند. سپس، گیاهان در همان محفظه برش یافته و ساقه‌های برش داده شده به محیط کشت تازه منتقل می‌شدند تا کاشته شوند. پس از پر شدن سینی، به محفظه سوم منتقل می‌شدند تا جمع‌آوری شوند. در تایوان، گروهی تحقیقاتی، سیستمی را توسعه دادند که به نرخ موفقیت ۷۸٫۲ درصدی در گرفتن قسمت‌های موردنظر گیاهان برای دستیابی به نرخ موفقیت بالاتر جهت آماده‌سازی ریز نمونه‌ها دست یافتند [۱۷].

در این سیستم از دو دوربین CCD برای ایجاد یک تصویر سه‌بعدی استفاده می‌شد تا مختصات و اطلاعات محل دقیق برش به بازوی ربات صنعتی منتقل شود (شکل ۳).

با پیشرفت فناوری اتوماسیون، روش‌های جدیدی توسعه یافته‌اند. این موارد شامل: جایگزین سیستم‌های کشت بافت اتوتروپیک (که



شکل ۳
تصویر شماتیک از سیستم
گرفتن گیاهچه [۱۷]

نشاء سبب‌زمینی پیشنهاد کردند [۱۸]. در این سیستم پیشنهادی از دو تسمه مونتاژ به ترتیب برای انتقال شیشه‌های محتوی گیاهچه‌ها و شیشه‌های پر شده با محیط‌های کشت استفاده می‌شد. در ورودی این سیستم، از یک بازوی رباتیک برای نگه‌داشتن شیشه‌های حاوی گیاهان و چرخاندن آن به جهت دلخواه استفاده می‌شد. سپس، بازوی مکانیکی این شیشه‌ها را معکوس کرده و به یک جمع‌کننده منتقل می‌کرد، که از آن برای جمع‌آوری تمام گیاهچه‌ها در یک بسته استفاده می‌شد همچنین از یک کاتر جهت بریدن گیاهان به شاخه‌های کوچک استفاده می‌شد. سپس ساقه‌های برش یافته به درون شیشه‌های خالی حمل شده توسط تسمه مونتاژ دیگر منتقل می‌شدند. با این وجود، نرخ موفقیت خارج کردن گیاهان از شیشه در حدود ۸۵٫۶٪ و نرخ بقا ساقه‌هایی برش یافته در حدود ۹۰٫۶٪ بود؛ زیرا همه ساقه‌ها به درستی در محیط رشد قرار نمی‌گرفتند. عامل دیگر محدودکننده این سیستم این بود که برای دسته خاصی از گیاهان یا گونه‌های مختلف عملکرد مناسبی نداشت.

لی و همکارانش [۱]، سیستم جدیدی جهت اتوماسیون ریزازدیادی گیاه بلوبری پیشنهاد کردند. وجه تمایز این سیستم با سیستم‌های پیشین، طراحی منحصر به فرد ظروف کشت به منظور دسترسی آسان به گیاهچه‌ها و پردازش و تشریح دسته‌جمعی گیاهچه‌ها در وضعیت عمودی به جای برداشتن ساقه‌ها و پردازش یک‌به‌یک آنها است. علاوه بر این، سیستم پیشنهادی می‌تواند در زیر یک هود جریان آرام برای اهداف استریلیزاسیون قرار گیرد، ابعاد آن کوچک، ساخت آن آسان و قابلیت تجاری‌سازی را دارد.

ما در مطالعه حاضر به بررسی طراحی، فرایند و امکان‌سنجی سیستم خودکار ریز ازادی پیشنهاد شده توسط لی و همکاران [۱] پرداخته‌ایم.

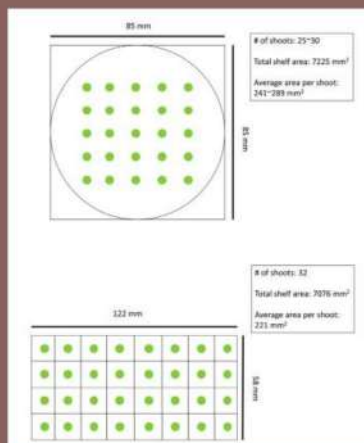
در کشت بافت، به‌طور متداول از شیشه‌های کشت، ظروف پلی‌پروپیلن قابل اتوکلاو یا پلی کربنات متداول استفاده

می‌شود [۹]. تمام این ظروف بخصوص شیشه‌های کشت که در آزمایشگاه‌های کشت بافت گیاهی دانشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، یک مشکل مشترک دارند و آن این است که ممکن است به دلیل قرار گرفتن غیراصولی قلمه یا شاخه‌ها در درون ظروف گرد به راحتی درهم‌پیچیده شوند و این ممکن است منجر به تولید گیاهان غیریکنواخت و غیرنرمال شود. مشکل دیگر این است که به دلیل فضای خالی بین شیشه‌های مجاور، از فضای ذخیره‌سازی به درستی استفاده نمی‌شود. برخلاف روش ذخیره‌سازی سنتی (استفاده از شیشه‌های کشت، شکل ۱)، در این سیستم جهت ذخیره‌سازی از سینی‌هایی که بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. طرح اولیه این ظروف در شکل ۴ نشان داده شده است، در این سیستم از وکتور کشت جداشدنی که به اختصار DVV نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. این ظروف به راحتی پس از هر بار استفاده می‌توانند استریل شوند. هر ردیف از DVV از سایر ردیف‌ها و از محفظه جدا می‌شود و هر بخش (سلول) از DVV از نظر ابعاد برای پذیرش یک گیاهچه منفرد بهینه شده است. با انجام این کار، دسترسی به گیاهچه‌ها افزایش یافته و سطح کاشت برای ذخیره‌سازی بهینه می‌شود. شکل ۵، مقایسه فضای ذخیره‌سازی بین شیشه‌های کشت فعلی و DVV های پیشنهادی را نشان می‌دهد. قطر هر شیشه حدود ۸۵ میلی‌متر است که به سطح قفسه ۷۲۲۵ میلی‌متر مربع نیاز دارد. هنگامی که چهار DVV باهم دسته‌بندی می‌شوند و با استفاده از یک پوشش شفاف (به ضخامت دیواره یک میلی‌متر) همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فضایی به مساحت ۷۰۷۶ میلی‌متر مربع از سطح قفسه را اشغال می‌کنند. ابعاد داخلی هر سلول DVV، ۱۰*۱۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره آن ۲ میلی‌متر است که برای جلوگیری از فرورفتگی و تاب برداشتن ناشی از قالب‌گیری تزریقی کافی است. این قطعات با موادی مانند پلی کربنات یا نایلون ساخته می‌

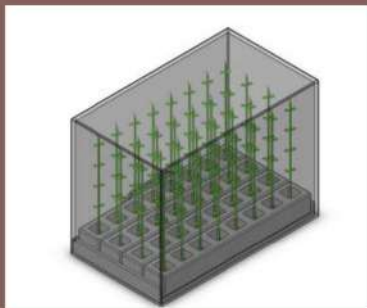
سیستم، ردیف سینی به گونه‌ای قرار می‌گیرند که بتوان قسمت فوقانی همه گیاهچه‌ها را به‌طور هم‌زمان تشریح کرد، و گیره تمام بخش‌های قلمه را نگه می‌دارد و آن‌ها را به یک‌باره به ظروف جدید منتقل می‌کند.



شکل ۴
ظروف کشت قابل
جدا شدن



شکل ۵
مقایسه توزیع قلمه‌های
بلوبری بین ظروف کشت
رایج (بالا) و سیستم
پیشنهادی (پایین)



شکل ۶
دیگرام سه‌بعدی از
آرایش چهار DVV
محصور شده توسط یک
پوشش شفاف استریل



شکل ۷
مجموعه گیر و کاتر

شوند که برای فرآیند اتوکلاو سازی با دمای بالا قبل از هر استفاده‌ای مناسب هستند.

مشکل اساسی سیستم‌های قبلی این بود که بخش‌های گره باید توسط یک ربات برداشته می‌شدند و بنابراین نیاز به یک سیستم بینایی جهت تشخیص موقعیت و جهت ساقه روی میز کار یا تسمه‌نقاله بود. فرم رویشی بسیاری از گیاهان از جمله گیاهان بلوبری به‌صورت ایستاده است، در سیستم ریزازدیادی جدید بدون نیاز به هیچ‌گونه سیستم بینایی، گیاهان به‌صورت عرضی تشریح می‌شوند، قلمه‌های جدا شده به‌صورت ایستاده (عمودی) باقی می‌مانند و قبل از انتقال به DVV استریل در این موقعیت طبیعی خود نگه‌داشته می‌شوند. یکی از مزایای تشریح گیاهان درحالتی که در ظرف کشت قرار دارند این است که با حذف مرحله‌ای که گیاهان توسط یک بازوی مکانیکی برای تشریح خارج می‌شوند، زمان پردازش یا تشریح کاهش می‌یابد. در این سیستم، از یک مجموعه گیره و کاتر با طراحی خاص (شکل ۷)، به‌منظور نگه‌داشتن و جداسازی قلمه‌ها استفاده می‌شود. این مجموعه قابلیت تنظیم دارد، به این معنی که می‌توان سیستم را با تعویض مجموعه گیره و کاتر برای گونه‌های گیاهی با اندازه‌های مختلف استفاده نمود.

کاربرد گیره، نگه‌داشتن گیاهان در موقعیتی است که آماده تشریح شود. کاتر برای برش گیاهچه‌ها به قلمه‌ها یا شاخه‌های کوچک‌تر آماده کشت در DVV ها استفاده می‌شود. سومین مزیت سیستم ریزازدیادی پیشنهادی لی و همکاران [۱]، امکان تشریح دسته‌جمعی گیاهچه‌ها است. در صورتی که بتوان چندین گیاهچه را به‌طور هم‌زمان تشریح کرد، ریزازدیادی به‌طور قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت. در سیستم پیشنهادی به دلیل طراحی جدید و منحصر به فرد ظروف کشت دسترسی آسان به گیاهچه‌ها امکان‌پذیر است - یعنی گیاهچه‌های DVV ها را می‌توان به‌طور هم‌زمان تشریح کرد. در این



شکل ۸ - نمونه اولیه سیستم اتوماسیون ریز ازدیادی پیشنهادی (AMS) از نمای بالا؛ (۱) محفظه تغذیه، (۲) محفظه اصلی، (۳) محفظه جمع کننده، (۴) تسمه‌های مونتاژ.

سیستم و فرآیند اتوماسیون ریزازدیادی

سیستم اتوماسیون ریزازدیادی پیشنهادی توسط لی و همکاران در شکل ۸ نشان داده شده است. این سیستم از یک محفظه تغذیه (بخش ۱ در شکل ۸)، یک محفظه اصلی (بخش ۲ در شکل ۸) و یک محفظه جمع کننده (بخش ۳ در شکل ۸) تشکیل شده است. محفظه تغذیه جایی است که گیاهان مادری و DVV های خالی وارد آن می‌شوند. دو تسمه مونتاژ (بخش ۴ در شکل ۸) جهت انتقال و معرفی DVV حاوی گیاهچه و DVV های خالی به سیستم استفاده می‌شود. قبل از شروع فرآیند، DVV هایی که حاوی گیاهچه هستند توسط یک اپراتور انسانی روی سیستم بارگذاری می‌شود و از یک صفحه فشار به منظور فشار دادن DVV ها به اولین تسمه مونتاژ (تسمه B) استفاده می‌شود (همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است). اپراتور به صورت بصری ظروف کشت را بازرسی خواهد کرد و هر دسته‌ای که علائم آلودگی در آن‌ها دیده شود را حذف خواهد کرد.

از سوی دیگر، تسمه مونتاژ دوم (تسمه A) ظروف استریل حاوی محیط تازه‌وارد می‌کند و آن‌ها را در موقعیت موردنظر، موازی با ظروف حاوی گیاهچه قرار می‌دهد. برخی پارامترها، مانند طول گیاهچه و طول میانگره‌ها، قبل از شروع فرآیند اتوماسیون باید اندازه‌گیری شوند. این سیستم منطبق با انواع مختلفی از گیاهان طراحی شده است. در گیاهان مختلف، فاصله بین مریستم متفاوت است، و بنابراین طول قطعه‌بندی‌ها متفاوت خواهد بود.

یک پروفایل برش می‌تواند برای دسترسی آسان به پارامترهای موردنیاز برای مواقعی که ممکن است همان نوع گیاه در آینده پردازش و تشریح شود، ذخیره شود. در نبود سیستم بینایی، این پارامترها اهمیت پیدا می‌کنند، به‌عنوان مثال، طول قطعه‌بندی‌ها فواصل برش را مشخص می‌سازد تا اطمینان حاصل شود که حداقل یک مریستم در هر قطعه وجود دارد همچنین طول گیاهچه‌ها به منظور محاسبه تعداد برش‌های موردنیاز استفاده می‌شود. هنگامی که سینی‌ها در محفظه اصلی هستند،

امکان‌سنجی سیستم و فرآیند پیشنهادی

برای نشان دادن امکان‌سنجی سیستم و فرآیند پیشنهادی، آزمایش‌های پایلوتی توسط لی و همکاران در آزمایشگاه سیستم‌های بیومکاترونیک دانشگاه سیمون فریزر انجام شد. یک نوع گیاه بلوبری، "Biloxi" (در شکل ۹)، در این آزمایش‌ها استفاده شد. ارتفاع متوسط گیاهان Biloxi بین ۱,۵ تا ۱,۸ متر بود. قبل از اجرای هر آزمایش، دسته‌های این گیاهان از محفظه‌های نگهداری به DVV ها منتقل شدند. DVV ها با محیط کشت ژل مانند (تهیه‌شده با استفاده از Gellan Gum) پر شدند تا شاخه‌ها در موقعیت خود قرار گیرند. سبزه آزمایش پایلوت به‌منظور سنجش میزان موفقیت و کارایی سیستم برای گیاهان Biloxi انجام شد. برای هر آزمایش، تعداد برش‌ها بین ۲ تا ۴ برش، متناسب با طول گیاهچه‌ها مشخص شد. DVV های



شکل ۱۰

قلمه‌های تکثیرشده توسط سیستم اتوماسیون ریزازدیادی (AMS) دایره قرمز نمونه‌ای از قلمه با برش نامناسب را نشان می‌دهد.



شکل ۹

فعالیت مجموعه گیر و کاتر

فرآیند ریزازدیادی همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، انجام می‌شود. در محفظه اصلی از سه استپر موتور استفاده می‌شود تا سه طبقه خطی را متناسب با آن حرکت دهند. یک طبقه خطی برای حرکت گیره و کاتر در جهات بالا و پایین استفاده می‌شود و دو طبقه خطی دیگر به ترتیب برای حرکت دادن گیره و کاتر به جهات جلو و عقب استفاده می‌شوند. دو سولنوئید جهت فعال‌سازی گیره و کاتر استفاده می‌شوند.

شکل ۹ گیره و کاتر را در حال کار نشان می‌دهد. گیره گیاهچه‌ها را در موقعیت خود نگه می‌دارد تا قلمه‌ها برای جداسازی و برش توسط کاتر آماده شوند. پس از اتمام فرآیند اتوماسیون، DVV هایی که در آن قلمه‌ها کاشته شده‌اند، توسط تسمه مونتاژ به محفظه جمع‌کننده منتقل می‌شوند. محفظه جمع‌کننده، همان‌طور که از نامش پیداست، DVV ها را جمع‌آوری کرده و آن‌ها را یکی پس از دیگری روی هم قرار می‌دهد. محفظه جمع‌کننده شامل یک پایه برای نصب سینی جمع‌کننده، یک صفحه فشار فعال‌شده توسط یک محرک خطی آماده حرکت و یک سنسور نور است که ورود DVV را تشخیص می‌دهد. هنگامی که سنسور نور توسط DVV های ورودی پوشش داده می‌شود، محرک خطی فعال می‌شود و DVV ها را به داخل سینی جمع‌کننده هل می‌دهد (شکل ۱۰).

خالی توسط اپراتور از طریق تسمه مونتاژ در سیستم بارگذاری شدند. تنها متغیر بین آزمایش‌ها تعداد برش‌های اجراشده روی گیاهچه‌ها بود. هدف از این آزمایش‌ها مشاهده عملکرد کلی، یعنی میزان موفقیت و کارایی دستگاه با افزایش تعداد برش‌های اجراشده بود. در مجموع از ۱۰۴ گیاهچه برای بررسی میزان موفقیت و بازده این سیستم استفاده شد که میزان موفقیت و کارایی دستگاه به ترتیب به شرح زیر تعریف می‌شوند.

$$\text{Success rate} = \text{OS/OT}[\%]$$

که در آن OS تعداد کل قلمه‌های با موفقیت کشت شده و OT تعداد کل قلمه‌های تشریح شده است.

$$\text{Efficiency} = \text{OS/T} [\text{shoots/hr}]$$

و T زمان لازم برای کاشت موفقیت‌آمیز قلمه‌ها توسط سیستم است. طبق تعریف، یک قلمه زمانی با موفقیت کاشته شود که در DVV بماند و حداقل بیش از یک بخش گره یا مرستم انتهایی ساقه داشته باشد. بدون بخش گره یا مرستم انتهایی، گیاه زنده نخواهد ماند. نتایج نشان داد با افزایش تعداد برش‌ها، نرخ موفقیت به شدت کاهش یافت. که عمدتاً ناشی از ناهمترایی مواد کاشت بود. در طول اولین برش، گیاهچه‌ها کاملاً در یک راستا قرار می‌گرفتند و بنابراین، همه قلمه‌ها با موفقیت به

DVV های جدید منتقل می‌شدند. اما، در برش‌های متوالی، برخی مسائل مانند نیروی ناکافی گیرش به دلیل سطح ناهموار گیره، لرزش ناشی از فعال و غیرفعال شدن سولنئوئید و غیره سبب می‌شد تا قلمه‌ها خم شوند. در نتیجه، گیره نمی‌توانست برای برش‌های متوالی موفق با قلمه‌ها تماس برقرار کند. در کنار نرخ موفقیت، راندمان سیستم یکی دیگر از پارامترهای ارزیابی است که مورد توجه قرار گرفته است. بالاترین راندمانی که سیستم به دست آورد، ۷۱۱ قلمه در ساعت با نرخ موفقیت ۷۹٫۹ درصد با تنظیمات ۳ برشه بود. تحقیقات نشان داده است که یک سیستم اتوماسیون ریزازدیادی زمانی قابلیت رقابت با روش دستی را خواهد داشت که میزان تولید آن حداقل ۲۵ درصد بیشتر از یک کارگر معمولی باشد [۲۱]، یعنی انتظار می‌رود سیستم خودکار با نرخ ۸۰۰ قلمه در ساعت فعالیت کند. در این مطالعه، با افزودن یک سلول اضافی به DVV، سیستم به راندمان مطلوب خود یعنی ۸۰۰ قلمه در ساعت رسید. به منظور افزایش راندمان، یکی از راهکارها افزایش تعداد قلمه‌هایی که به‌طور موفق کشت می‌شوند و راه دیگر اصلاح الگوریتم و بهبود زمان پردازش و تشریح است.

نتیجه‌گیری

یک سیستم خودکار ریزازدیادی توسط لی و همکاران به منظور پاسخگویی به نیاز روزافزون گیاهان کشت‌شده در شرایط آزمایشگاهی در صنایع باغبانی و کشاورزی توسعه یافت. این سیستم با گیاهچه‌های بلوبری آزمایش شد و به نرخ تولید قابل‌مقایسه‌ای با میانگین نرخ تولید کارگران دستی دست یافت. در آینده می‌توان تغییراتی را به منظور بهبود بیشتر عملکرد سیستم پیاده‌سازی کرد. مشکل اصلی که باید به آن توجه شود، هم ترازوی کشت است. همچنین به منظور نگه‌داشتن این گیاهان طی مراحل برش می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد، برای مثال می‌توان به جای استفاده از یک گیره دوانگشتی، از یک گیره سه انگشتی برای نزدیک شدن به گیاهان استفاده شود و گیاهان را در مرکز هر سلول در یک راستا نگه دارد. با حل مشکل هم ترازوی، ممکن است که سیستم خودکار پیشنهادی سهم قابل‌توجهی در صنعت کشت بافت داشته باشد. علاوه بر این، با رویکرد پردازش دسته‌ای پیشنهادی با استفاده از DVV، خودکار کردن فرآیند ریزازدیادی به‌طور فزاینده‌ای امیدوارکننده می‌شود.



منابع:

- [۱] T. J. Lee, S. Zobayed, F. Firmani, E. J. Park, *Biosyst. Eng.* 2019, 181, 63.
- [۲] A. Donnan, 1986, pp. 167–173.
- [۳] W. C. Anderson, G. W. Meagher, A. G. Nelson, *HortScience* 1977, 12, 543.
- [۴] B. S. Ahloowalia, V. A. Savangikar, *Low cost options tissue Cult. Technol. Dev. Ctries.* 2004, 41.
- [۵] R. Levin, V. Gaba, B. Tal, S. Hirsch, D. DeNola, I. K. Vasil, *Nat. Biotechnol.* 1988, 6, 1035.
- [۶] C. Leifert, A. C. Cassells, *Vitr. Cell. Dev. Biol. - Plant* 2001, 37, 133.
- [۷] A. Ilan, E. Khayat, *Acta Hort.* 1997, 643.
- [۸] I. Chu, in *Autom. Environ. Control Plant Tissue Cult.*, Springer Netherlands, Dordrecht, 1995, pp. 19–27.
- [۹] S. M. A. Zobayed, F. Afreen, C. Kubota, T. Kozai, in *Transpl. Prod. 21st Century*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2000, pp. 231–237.
- [۱۰] K. Kurata, in *Autom. Environ. Control Plant Tissue Cult.*, Springer Netherlands, Dordrecht, 1995, pp. 257–272.
- [۱۱] N. Fujita, A. Kinase, in *Scale-up Autom. Plant Propag.*, Elsevier, 1991, pp. 231–244.
- [۱۲] S. Hata, T. Hiroyasu, J. Hayashi, S. Takahashi, H. Hojo, in 2006 *Int. Conf. Mechatronics Autom.*, IEEE, 2006, pp. 916–921.
- [۱۳] D. P. Holdgate, E. A. Zandvoort, in *Transpl. Prod. Syst.*, Springer Netherlands, Dordrecht, 1992, pp. 297–311.
- [۱۴] F. R. Brown, in *Transpl. Prod. Syst.*, Springer Netherlands, Dordrecht, 1992, pp. 283–296.
- [۱۵] C. Otte, J. Schwanke, P. F. Jensch, in *Opt. Agric. For. Biol. Process. II* (Eds.: G. E. Meyer, J. A. DeShazer), 1996, pp. 80–87.
- [۱۶] P. J. Sobey, B. Harter, A. Hinsch, in *Proc. Fourth Annu. Conf. Mechatronics Mach. Vis. Pract.*, IEEE Comput. Soc, 1997, pp. 60–65.
- [۱۷] Y.-J. Huang, F.-F. Lee, *Comput. Electron. Agric.* 2010, 70, 42.
- [۱۸] L. Yang, D. Zhang, H. Lai, L. Wang, in 2014 *Montr. Quebec Canada July 13–July 16, 2014*, American Society Of Agricultural And Biological Engineers, 2014, p. 1.
- [۱۹] H. L. hua, M. Hanping, H. Jianping, X. Jingyun, Z. Z. and M. Guoxin, *J. Trans. Chinese Soc. Agric. Eng. CSAE* 2015, 31, 17.
- [۲۰] Z. Wei, H. Guo, Z. Liu, X. Zhang, Q. Liu, Y. Qian, Y. Gong, C. Shao, *Free Radic. Biol. Med.* 2015, 79, 1.
- [۲۱] C. J. Sluis, in *Plan Tissue Cult. Eng.*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2008, pp. 231–251.



کامران خیرعلی پور

عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک یوسیستم
دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

k.kheiralipour@ilam.ac.ir

معرفی مؤلفه‌های حل مسئله با تأکید بر رویکرد تفکر طراحی



چکیده

بشر در زندگی روزمره و حرفه‌ای خود با مسائل گوناگونی مواجه می‌شود که حل آن‌ها ضروری است؛ چراکه در صورت حل نشدن ممکن است سبب بروز مسائل بزرگ‌تر و زیان‌بارتری شوند. توانایی حل مسئله به‌عنوان یک مهارت در بالاترین سطح از فعالیت‌های شناختی انسان قرار دارد. این مهارت برای حل بهینه مسائل مختلف روزمره و تخصصی هر شخص ضروری بوده و در رسیدن به موفقیت‌های فردی و اجتماعی مؤثر است. هدف از این مقاله معرفی مؤلفه‌های حل مسئله و چگونگی تقویت مهارت حل مسئله است. مسئله و انواع آن، حل مسئله، ابعاد حل مسئله، مؤلفه‌های حل مسئله، مهارت حل مسئله و چگونگی بهبود مهارت حل مسئله بیان شده است. همچنین تفکر طراحی به‌عنوان راهبرد مهمی در حل صحیح مسائل که در همه زمینه‌های تحصیلی و شغلی کاربرد دارد، تشریح شده است.

کلمات کلیدی: مسئله، ویژگی‌های مسائل، ویژگی‌های فردی، مهارت حل مسئله، طراحی.



مقدمه

افراد در طول روز و در زندگی فردی و اجتماعی خود همواره با انواع مختلفی از مسائل روبرو می‌شوند که ناگزیر به یافتن راه‌حل‌های مختلفی برای آن‌ها هستند. این موضوع از ابتدای خلقت بشر وجود داشته و رفته‌رفته با افزایش پیچیدگی جوامع و ایجاد نیازها و خواسته‌های جدید، بر پیچیدگی مسائل نیز افزوده شده است. بروز مسئله تهدید نیست بلکه تلاش برای حل آن یکی از عامل‌های پویایی، رشد، توسعه و شکوفایی فردی و اجتماعی است. با این حال، حل برخی مسائل ضروری بوده؛ چراکه در صورت حل نشدن یا دیر حل شدن، آن‌ها ممکن است موجب به وجود آمدن مسائل بزرگ‌تر، پیچیده‌تر و مشکل‌تری شده که سبب زیان‌های زیادی شوند. این در حالی است که افراد با ارتقا توانایی‌های خود می‌توانستند آن مسائل اولیه را با هزینه و زیان کمتری حل کنند.

مسائل دارای ویژگی‌های مختلفی هستند که منجر به تفاوت بین آن می‌شوند، همچنین برخی از ویژگی‌های حل‌کننده‌های مسئله نیز توانایی‌ها و تمایلات آن‌ها را در حل مسائل متمایز می‌کند (Jonassen, 2000b). با وجود این، افراد مختلف با رشته‌های تحصیلی مشابه یا متفاوت از روش یکسانی برای حل مسئله استفاده نمی‌کنند و هر کس بر اساس دانش، مهارت، تجربه، شخصیت، نگرش و اهمیتی که برای مسئله قائل است، روش خاصی را در حل آن به کار می‌برد. این موضوع منجر به حصول نتایج متفاوتی شده و همین تفاوت روش‌های حل مسئله در افراد مختلف هر جامعه‌ای باعث تنوع کیفیت زندگی آن‌ها می‌شود (قاسمی، ۱۳۹۹).

حل مسئله برای همه افراد یک مهارت ویژه و ضروری به حساب می‌آید. این مهارت برای شاغلین، مهندسان و متخصصانی که کار آن‌ها خدمت به دیگران و کمک به آن‌ها برای حل مسائل هستند، به‌ویژه مسائل دردرس‌ساز، حائز اهمیت بالاتری است (Heppner and Petersen, 1982). حل مسئله به‌عنوان مهم‌ترین فعالیت شناختی در زمینه‌های روزمره و حرفه‌ای محسوب می‌شود.

درک فرآیندهای حل مسئله محدود است و ارائه یک پاسخ قطعی برای آن دشوار است. مهارت حل مسئله تابعی از ماهیت مسئله و روشی که مسئله به حل‌کننده نشان داده می‌شود بوده و نیازمند مجموعه‌ای از فعالیت‌های تخصصی و همچنین توانمندی‌های شخصیتی دارد که در فرآیند حل مسئله دخیل هستند (قاسمی، ۱۳۹۹؛ Jonassen, 2000b).

اصطلاح تفکر طراحی به‌عنوان رویکردی برای حل مسائل به روش‌های نوآورانه بیان شده است. تفکر طراحی، بر اساس همان اصولی که طراحان برای ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه به‌منظور حل مسائل مهندسی استفاده می‌کنند، می‌تواند به‌عنوان الگوی حل مسائل پیچیده در زمینه‌های مختلف در نظر گرفته شود؛ چراکه تفکر طراحی ریشه در آموزش و تمرین حرفه‌ای طراحان دارد؛ بنابراین می‌تواند توسط همه افراد در هر زمینه‌ای از فعالیت به کار گرفته شود (Brown, 2009). با توجه به ضرورت حل صحیح مسائل در زندگی روزمره و تخصصی و همچنین اهمیت تقویت مهارت حل مسئله در هر شخص، هدف از مقاله حاضر معرفی مؤلفه‌های مختلف در حل مسئله است تا بتوان مهارت حل مسئله را بهبود بخشید و مسائل مختلف را سریع و به‌طور بهینه حل نمود. همچنین رویکرد تفکر طراحی به دلیل نقش آن در حل صحیح مسائل در همه زمینه‌های تحصیلی و شغلی، بیان شده است.

مسئله

مسئله وجود تفاوت بین وضعیت فعلی و هدف است که دارای دو ویژگی مهم است. ویژگی اول این است که مسئله یک موجودیت ناشناخته است. ویژگی دوم این است که حل ناشناخته یا یافتن آن دارای ارزش فنی، اقتصادی، اجتماعی، یا زیست‌محیطی باشد. درواقع، یافتن ناشناخته باید حداقل از نظر یک شخص ارزشمند باشد؛ اما اگر کسی مشکلی را درک نکند یا نیازی به تعیین مجهولی نداشته باشد، مسئله‌ای درک شده‌ای وجود ندارد؛ بنابراین یافتن مشکل یا مجهول اولین مرحله در فرآیند حل مسئله است (Jonassen, 2000b).

مسئله می‌تواند یک نیاز یا یک مشکل باشد و از انواع ریاضیاتی الگوریتمی ساده تا معضلات اجتماعی آزاردهنده و پیچیده متفاوت هستند. بهره‌برداری از یک منبع زیرزمینی خاص یک نیاز است که برآورده کردن آن از نظر اقتصادی ارزشمند است. مشکل می‌تواند به شکل عیب، نقص، یا ایراد در یک سامانه ظاهر شود که حل آن برای بهبود وضعیت آن سامانه ضرورت دارد.

حل مسئله

حل مسئله عبارت است از هر توالی هدفمند از عملیات شناختی که برای حل کردن مسائل مختلف به کار گرفته می‌شوند (Anderson, 1980). حل مسئله دارای یک فرآیند خاص بوده که تابعی از فعالیت‌های مختلف است. تعدادی از مدل‌های پردازش اطلاعات فرآیندهای حل مسئله را توضیح داده‌اند. حل مسئله عمومی کلاسیک دو مجموعه از فرآیندهای تفکر مرتبط با فرآیندهای حل مسئله را مشخص می‌کند، (الف) فرآیندهای درک و (ب) فرآیندهای جستجو (Newell & Simon, 1972). در اکثر مدل‌های حل مسئله، پنج مرحله مشترک است: جهت‌گیری کلی، تعریف مسئله، ارائه راه‌حل‌ها، تصمیم‌سازی برای انتخاب راه‌حل مناسب و ارزیابی راه‌حل انتخابی (Johnson et al., 1968). این فرایند چندمرحله‌ای سبب حل منطقی و صحیح مسئله شده، موجب می‌شود که افراد از یافتن راه‌حل‌های ناگهانی و سریع پرهیز کنند و مراحل ساختاریافته و هدفمندی را در این راستا دنبال کنند.

حل مسئله دارای ابعاد مختلفی چون ویژگی‌های مسئله، بازنمایی مسئله، ویژگی‌های فردی و مهارت حل مسئله است که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. هر بعد از حل مسئله دارای مؤلفه‌های خاصی است که در بخش‌های بعد تشریح شده‌اند. ویژگی‌های مسائل و انواع آن و همچنین بازنمایی مسئله جزو عوامل خارجی حل مسئله است و ویژگی‌های فردی افراد حل‌کننده جزو عوامل داخلی حل مسئله هستند (Smith, 1991).

ویژگی‌های مسائل

مسائل از نظر محتوا، شکل، فرآیند، ماهیت در نحوه ارائه و در اجزا و تعامل بین آن‌ها یکسان نیستند. Mayer and Wittrock (۱۹۹۶) مسائل را به‌عنوان نامناسب-خوب تعریف‌شده و معمول-غیرمعمول توصیف کردند. Smith (۱۹۹۱) عوامل خارجی مسئله از جمله دامنه و پیچیدگی را از ویژگی‌های درونی حل‌کننده متمایز کردند. Jonassen (2000b) بیان کردند که مسائل از نظر ساختار، پیچیدگی و انتزاعی بودن (ویژگی دامنه) متفاوت هستند.

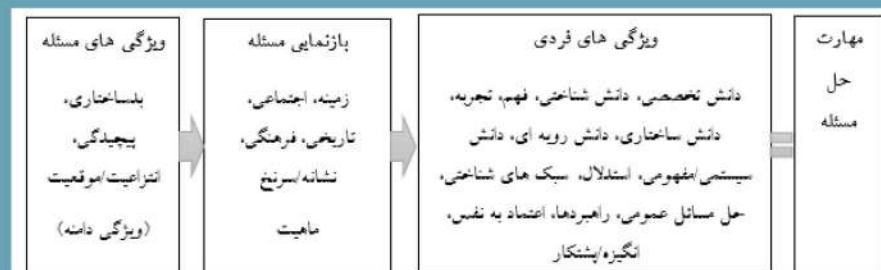
تفاوت‌های بین مسائل

مسائل مختلف بر اساس ساختار، پیچیدگی و زمینه باهم متفاوت هستند.

ساختار

بر اساس تفاوت در پردازش شناختی، مسائل به دو نوع خوب ساختار (Well-structured) و بد ساختار (Ill-structured).

شکل ۱
ابعاد حل مسئله
(Jonassen, 2000b)





نیاز باشد. مسائل بد ساختار دارای اطلاعات سرگردان کننده‌ای هستند و به‌درستی فرمول‌بندی نشده‌اند، دارای اهداف مبهم یا نامشخصی هستند، دارای محدودیت‌های بیان‌نشده‌ای هستند، دارای اجزا ناشناخته و سرگردان کننده‌ای هستند یا با هیچ درجه‌ای از اطمینان قابل شناخت نیستند، دارای راه‌حل‌های متعدد و مسیرهای حل مختلفی هستند، توافقی بر سر راه‌حل مناسب وجود نداشته و یا اصلاً راه‌حلی ندارند، دارای معیارهای متعددی برای ارزیابی راه‌حل‌ها هستند، بنابراین در مورد اینکه کدام مفاهیم، قوانین و اصول برای حل مسئله نیاز است و چگونه سازمان‌دهی شوند، عدم اطمینان وجود دارد، ابزار صریحی برای تعیین اقدامات یا روابط مناسب بین مفاهیم، قواعد و اصول وجود ندارد، دارای تصمیم‌گیرندگان زیاد و با ناظران متضادی هستند و نیازمند فعالیت‌های بین فردی خاصی هستند؛ چراکه از افراد می‌خواهند در مورد مسئله قضاوت کنند و نظرات یا باورها و عقاید شخصی خود در مورد مسئله را بیان کنند و از آن‌ها دفاع کنند (Churchman, 1967; Kitchner, 1983; Meacham & Emont, 1989; Jonassen, 1997).

در حل مسائل بد ساختار باید ساختار مناسبی برای مسئله ایجاد شود و این کار با تمرین می‌تواند انجام شود منظور این نیست که فعالیت‌های روزمره شامل مسائل خوب ساختار نیستند (به‌عنوان مثال، برنامه‌ریزی مسیر). البته با تمرین می‌توان مسائل بد ساختار را به مسائل خوب ساختار تبدیل نمود (Simon, 1973). با این حال، تمرین روزمره بیشتر از تمرین آموزشی مملو از مشکلات ساختگی است.

پیچیدگی

پیچیدگی و ساختاربندی باهم همپوشانی دارند، مسائل بد ساختار پیچیده‌تر هستند، به‌ویژه آن‌هایی که در امورات روزمره مشاهده می‌شوند. پیچیدگی مسئله با ویژگی‌هایی چون تعداد مسائل، توابع، یا متغیرهای درگیر

(structured) تقسیم می‌شوند. در دهه ۱۹۶۰ رویکرد مسائل بد ساختار توسط رایتل (Rittel) تدوین شد (Buchanan, 1992). مدل‌های طراحی متفاوتی برای هر کدام معرفی شده است؛ چراکه هر نوع مسئله نیازمند مهارت‌های خاصی است تا بتوان آن را به‌خوبی حل کرد (Jonassen, 1997). رایج‌ترین مسائل، به‌ویژه آن‌هایی که در مدارس و دانشگاه‌ها گفته می‌شوند، مسائل خوب ساختار هستند. معمولاً مسائل خوب ساختار در پایان فصل‌های کتاب‌های درسی وجود دارد و همچنین برای امتحانات نیز مطرح می‌شوند. حل این مسائل خوب ساختار نیازمند تعداد محدودی از مفاهیم، قوانین و اصول هستند. این مسائل، مسائل تبدیل (Greeno, 1978) نامیده می‌شوند که شامل یک حالت اولیه کاملاً تعریف شده (آنچه شناخته شده است)، یک حالت هدف شناخته شده (ماهیت راه‌حل به‌خوبی تعریف شده) و مجموعه‌ای محدود از عملگرهای منطقی (روش شناخته شده برای حل) است. مسائل خوب ساختار تمام اجزا مسئله را به افراد ارائه می‌دهند، مستلزم به‌کارگیری تعداد محدودی از قوانین و اصول منظم و ساختاریافته است که به روش‌های پیش‌بینی و تجویزی سازمان‌دهی شده‌اند و راه‌حل‌های قابل درک و قابل فهمی دارند که در آن رابطه بین گزینه‌های تصمیم‌گیری و همه حالت‌های مسئله معلوم هستند یا با احتمال به دست می‌آیند (Wood, 1983).

در مقایسه با مسائل خوب ساختار، مسائل بد ساختار انواعی هستند که افراد بیشتر در امورات روزمره و حرفه‌ای با آن مواجه می‌شوند. درواقع، اکثر مسائل محل کار مسائل بد ساختار هستند. از آنجاکه چنین مسائلی به حوزه‌های محتوایی در کلاس‌های درسی محدود نمی‌شوند، راه‌حل‌های آن‌ها قابل پیش‌بینی یا همگرا نمی‌باشند. برای حل هر مسئله بد ساختار ممکن است به به‌کارگیری چندین حوزه محتوا نیاز باشند. به‌عنوان مثال، برای حل مسائلی مانند آلودگی ممکن است به کاربرد مفاهیم و اصول ریاضی، علوم، علوم سیاسی و روانشناسی

و همچنین درجه اتصال بین آن ویژگی‌ها؛ نوع روابط عملکردی اتصال بین آن ویژگی‌ها؛ ثبات در میان ویژگی‌های مسئله در طول زمان و چگونگی دسترسی به اطلاعات و غنای زمینه‌ای تعریف می‌شود (Funkc, 1991). پیچیدگی بیشتر به این موضوع مربوط می‌شود که چه تعداد، با چه وضوحی و با چه اعتمادی مؤلفه‌های مسئله به‌طور ضمنی یا صریح نشان داده شده‌اند. پیچیده‌ترین مسائل، مسائل پویا هستند، یعنی آن‌هایی که محیط کار و عوامل آن در طول زمان تغییر می‌کنند. مشخص شده است که دشواری مسئله تابعی از پیچیدگی آن است (English, 1998). پیچیدگی مسئله بر توانایی افراد در حل مسائل تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، پیچیدگی مسئله فرآیند جستجوی

راه‌حل را با مشکل مواجه می‌کند (Halgren & Cooke, 1993).

چرا حل مسائل پیچیده دشوارتر از آن مسائل ساده است؟ دلیل اصلی این است که حل مسائل پیچیده نیازمند عملیات شناختی بیشتری هستند (Kluwe, 1995)؛ بنابراین، به

نسبت دشواری مسئله، حل آن نیازمند استفاده بیشتری از حافظه است؛ چراکه انطباق عوامل متعدد در طول ایجاد ساختار مسئله و راه‌حل آن، بار سنگینی بر حافظه کاری وارد می‌کند.

زمینه

محققان مدعی هستند که مهارت حل مسئله به حوزه و زمینه (شغل و یا رشته تحصیلی) خاصی مرتبط هستند و تفاوت‌های گسترده‌ای در درون و بین رشته‌ها و زمینه‌های کاری مختلف وجود دارد (Price et al. 2021). به این معنی که فعالیت‌های حل مسئله به موقعیت‌های مختلف، ماهیت زمینه و یا حوزه وابسته هستند؛ بنابراین حل مسائل در یک حوزه متکی به عملیات شناختی هستند که مختص همان حوزه هستند (Smith, 1991).

در اینجا روش‌های تخصصی (روش‌های قوی) در مقابل راهبردهای عمومی (روش‌های ضعیف) قرار دارند. به‌عنوان مثال، Lehman et al. (۱۹۸۸) به این نتیجه رسیدند که شکل‌های استدلال در رشته‌های مختلف تحصیلی متفاوت است. مسائل بد ساختار بیشتر به موقعیت بستگی دارند؛ اما مسائل خوب ساختار بیشتر متکی به مهارت‌های کلی حل مسئله، مانند تحلیل ابزار-هدف هستند. با این حال، مسائل خوب ساختار، در قالب مسائل داستانی، می‌توانند موقعیتی باشند، درحالی‌که مسائل بد ساختار، مثل معضلات، می‌توانند نسبتاً انتزاعی باشند.

انواع مسئله

مسائل بشر را می‌توان به دودسته تقسیم نمود، مسائل روزمره و مسائل تخصصی.

مسائل روزمره همان مسائلی هستند که در زندگی فردی و اجتماعی هر شخصی وجود داشته و به شغل فرد

مرتبط نیست، مانند مسائل خانوادگی، ارتباط با افراد و مسائل تخصصی به دو بخش مسائل حین تحصیل در رشته تخصصی و مسائل شغلی (مسائل محل کار) فرد تقسیم می‌شوند.

در هر دودسته مذکور، مسائل به انواع مختلفی وجود دارند. اگر نوع مسئله به‌درستی تشخیص داده شود، راه‌حل‌های آن بهتر و سریع‌تر تشخیص داده می‌شوند. تعداد ۱۱ نوع مسئله شامل مسائل ۱- منطقی، ۲- الگوریتمی، ۳- داستانی (کلمه‌ای)، ۴- استفاده از قانون، ۵- تصمیم‌گیری، ۶- عیب‌یابی، ۷- تشخیصی، ۸- عملکرد راهبردی، ۹- تحلیل موردی، ۱۰- طراحی و ۱۱- معضل شناخته شده‌اند (Simon 1973). انواع مسائلی که قبلاً ذکر شده با این فرض بوده که مسائل گسسته هستند، یعنی هر نوع مسئله دارای یک



شناسایی مسائلی که باید حل شوند، بلکه نحوه دسته‌بندی آن‌ها در فرا مسئله نیز ضروری است. همچنین مهارت‌های فراشناختی موردنیاز برای مدیریت راه‌حل‌های فرا مسئله باید شناسایی و توضیح داده شوند.

بازنمایی مسئله

پس از شناخت ویژگی‌ها و نوع مسئله، مسئله باید به‌درستی بازنمایی شود، یعنی ابعاد آن نشان داده شود. این کار ضروری است تا مسئله به‌خوبی توسط فرد حل‌کننده درک شود و بتواند راه‌حلی برای حل آن پیدا کند.

مسائل از نظر نحوه بازنمایی و درک آن‌ها توسط افراد حل‌کننده متفاوت هستند. مسائل روزمره و حرفه‌ای هرکدام مربوط به زمینه خاصی هستند که فرد حل‌کننده را مجبور می‌کند دانش مرتبط را از دانش غیر مرتبط متمایز کرده و بر اساس دانش مرتبط در آن زمینه فضای مسئله را بسازند. متخصصان هر حوزه‌ای، اغلب از

هدف خاص است و جدا از سایر مسائل است. با این حال، این بدان معنا نیست که مسائل به‌طور گسسته رخ می‌دهند. برعکس، مسائلی که در زمینه‌های روزمره و حرفه‌ای با آن مواجه می‌شوند، اغلب ترکیبی از انواع مسائل مختلف هستند. فعالیت‌های مختلف در زمینه روزمره و حرفه‌ای افراد را درگیر حل ترکیبات پیچیده‌ای از مسائل خوب ساختار و بد ساختار می‌کند، چیزی که Jonassen (2000b) از آن به‌عنوان فرا مسئله یاد می‌کند. فرا مسئله نه تنها شامل مجموعه‌ای از مسائل مرتبط با فعالیت‌های کاری مشابه، بلکه شامل مهارت‌های نظارتی و بازتابی برای پایش و حل ترکیبی آن‌ها نیز می‌شود. به‌عنوان مثال، توسعه یک سامانه رایانه‌ای نیازمند حل مجموعه‌ای از مسائل طراحی، عیب‌یابی و موردی است. اداره یک کسب‌وکار خرده‌فروشی نیز نشان‌دهنده مسائل تصمیم‌سازی بی‌شماری است. مسائل در زمینه‌های روزمره و حرفه‌ای عموماً فرا مسئله هستند، بنابراین هنگام تحلیل مسئله در هر زمینه، نه تنها



داده شده‌اند. سایر ویژگی‌های حالت مانند خستگی، اضطراب و استرس نیز بر حل مسئله تأثیر می‌گذارند.

دانش

دانش شامل دانش آشنایی با مسئله، دانش زمینه‌های مرتبط با مسئله و دانش ساختاری و شناخت است.

دانش آشنایی با مسئله

شاید قوی‌ترین ویژگی فرد در حل مسئله، آشنایی با مسئله و یا شناخت آن باشد. حل‌کننده‌های باتجربه که به علت حل مسائل زیاد با مسائل آشنا هستند، طرح‌واره‌های مسئله را بهتر ترسیم می‌کنند، حتی ممکن است به‌طور خودکار این کار را انجام دهند (Sweller, 1988). اگرچه آشنایی با یک نوع مسئله، حل همان نوع مسئله را تسهیل می‌بخشد؛ اما این مهارت به‌ندرت به انواع دیگر مسائل یا حتی به همان نوع مسئله با شکلی دیگر منتقل می‌شود (Gick and Holyoak, 1983). افراد اغلب با مسائل معمولی آشنا هستند و در نتیجه قابل‌انتقال‌تر هستند (حداقل در یک محیط کار)؛ بنابراین، مسائل معمول برای حل‌کننده‌های باتجربه ساختارمندتر به نظر می‌رسند؛ چراکه مکرراً آن‌ها را حل کرده‌اند (Mayer and Wittrock, 1996). انتقال در مسائل غیرمعمول که حل‌کننده با آن‌ها آشنا نیستند نیاز به انتقال از راه دور دارد و تلاش و آگاهی بیشتری نیاز دارد؛ درحالی‌که مسائل معمولی بیشتر به انتقال نزدیک متکی هستند که توجه آگاهانه کمتری را نیاز دارند (Salomon and Perkins, 1989).

دانش زمینه‌های مرتبط با مسئله و دانش ساختاری یکی دیگر از ویژگی‌های مهم در حل مسئله، سطح دانش فرد حل‌کننده در زمینه یا زمینه‌های مسئله است. اینکه فرد چقدر دانش در زمینه مسئله دارد برای درک مسئله و پیدا کردن راه‌حل مهم است. باین‌حال، باید دانش‌های

مجموعه‌های از نمادهای مصنوعی که مخصوص همان حوزه هستند برای بازنمایی مسائل استفاده می‌کنند (Goel and Pirotli, 1989).

عملیات بازنمایی مسئله دارای دو مرحله اساسی است. مرحله اول بازنمایی ذهنی موقعیت مسئله در هستی است، به این معنی افرادی که می‌خواهد مسئله‌ای را حل کنند باید یک فضا از آن بسازند (Newell & Simon, 1972). مرحله دوم ایجاد تغییراتی در فضای مسئله بر اساس بر فعالیت است (Jonassen, 2000b). در برخی مواقع بازنمایی ذهنی (درونی) مسئله کافی است؛ اما در مسائلی دیگر علاوه بر بازنمایی ذهنی، بازنمایی فیزیکی (بیرونی) نیز نیاز است. بازنمایی‌ها یا مدل‌های ذهنی درونی فضای مسئله، بازنمایی‌های چندوجهی هستند که شامل دانش ساختاری، دانش رویه‌ای (روش)، دانش انعکاسی، تصاویر و استعاره‌ها و دانش اجرایی یا راهبردی است (Jonassen & Henning, 1999). فضای درونی مسئله با استفاده از ابزارهای مختلف بازنمایی دانش به فضای بیرونی تبدیل می‌شود (Jonassen, 2000c)، بنابراین ساخت ذهنی فضای مسئله برای حل آن اول‌تر است. اگر نوع مسئله تشخیص داده شود، جستجوی کمی در فضای مسئله نیاز است. افراد باتجربه حل‌کننده‌های خوبی هستند؛ زیرا آن‌ها حالت‌های مختلف مسئله را که نیازمند راه‌حل‌های خاصی هستند، تشخیص می‌دهند (Sweller, 1988). افراد مبتدی که طرح‌واره‌های برای مسائل ندارند قادر به تشخیص نوع مسئله نیستند؛ بنابراین باید بر راهبردهای حل مسئله کلی، مانند رویکردهای پردازش اطلاعات که راهبردهای ضعیفی برای حل مسئله هستند، تکیه کنند (Mayer, 1992).

ویژگی‌های فردی

همان‌طور که ویژگی‌های فردی در انواع دیگر یادگیری دخیل هستند، در یادگیری نحوه حل انواع مختلف مسئله هم تأثیر دارند. برخی از ویژگی‌های فردی یادگیرندگان که ممکن است بر حل مسئله تأثیر بگذارد در ادامه توضیح

ساختاری مسئله به شمار می‌رود (Jonassen et al., 1993). همچنین به آن ساختار شناختی، یعنی سازمان‌دهی روابط بین مفاهیم در حافظه نیز می‌گویند (Shavelson, 1972). نقش دانش ساختاری در حل مسئله حتی ممکن است از دانش شناختی هم مهم‌تر باشد. در دروس فرمولی، دانش ساختاری که فرمول‌ها و مفاهیم مهم در پایگاه دانش را به هم متصل می‌کند برای درک اصول مهم‌تر است (Robertson, 1990).

شناخت

شناخت شامل سبک‌های شناختی، فراشناخت و باورهای معرفتی است.

مختلف در زمینه‌های مرتبط با مسئله به‌خوبی باهم ادغام شوند تا در حل مسئله مؤثر باشند. مسئله ممکن است مختص به یک تخصص یا رشته تحصیلی مانند مکانیک، برق، عمران، ریاضی، فیزیک، شیمی و ... باشد. علاوه بر این، هر مسئله ممکن است در زمینه یا زمینه‌های خاصی از یک رشته تحصیلی باشند. مثلاً یک مسئله ممکن است به رشته تحصیلی مکانیک مرتبط باشد اما زمینه مرتبط آن مکانیک سیالات باشد، یا دینامیک، یا ارتعاشات، یا همچنین ممکن است یک مسئله به چند رشته تحصیلی و به چند زمینه مختلف مرتبط باشد. دانش ساختاری، دانش ارتباط دادن مفاهیم مختلف یک یا چند زمینه باهم دیگر است. یکپارچگی دانش زمینه‌های مختلف حل مسئله به‌عنوان دانش



سبک‌های شناختی

شناخت و پردازش شناختی یکی از ارکان اساسی حل مسئله است (Mayer 1992). افراد در سبک‌ها و کنترل‌های شناختی خود متفاوت هستند که این نشان‌دهنده الگوهای متفاوت تفکر است که روش‌های پردازش و استدلال افراد در مورد اطلاعات را کنترل می‌کند (Jonassen and Grabowski, 1993). کنترل‌های شناختی، مانند استقلال میدانی، پیچیدگی شناختی و انعطاف‌پذیری شناختی در حل مسئله مؤثر هستند. به‌عنوان مثال، افراد دارای استقلال میدانی به دلیل توانایی بالای آن‌ها در توجه به نشانه‌های برجسته، نسبت به افراد وابسته به میدان مسائل را بهتر حل می‌کنند (Ronning et al., 1984). یادگیرندگانی با انعطاف‌پذیری شناختی و پیچیدگی شناختی بالاتر نسبت به یادگیرندگانی با ساده‌گرایی شناختی حل‌کننده‌های بهتری هستند؛ زیرا آن‌ها جایگزین‌های بیشتری را در نظر می‌گیرند (Stewin and Anderson, 1974). همچنین چنین افرادی بیشتر تحلیل می‌کنند و یادگیرندگانی که به روش‌های تحلیلی تر فکر می‌کنند حل‌کننده‌های بهتری هستند (Jonassen, 2000b).

فراشناخت

کنش‌های فراشناختی به‌عنوان نیروی محرکه در حل مسئله همراه با باورها و نگرش‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Lester, 1994). فراشناخت به‌عنوان آگاهی از نحوه یادگیری، توانایی قضاوت در مورد دشواری یک کار، نظارت بر درک و فهم (خودتنظیمی)، استفاده از اطلاعات برای دستیابی به هدف و ارزیابی پیشرفت یادگیری توصیف می‌شود (Flavell 1979). حل‌کننده‌های خوب هنگام حل مسائل ریاضی تلاش می‌کنند اهداف خود را روشن کنند، مفاهیم و روابط بین اجزا مسئله را درک کنند، درک خود را نظارت کنند، اقداماتی را برای حل انجام و آن را در راستای رسیدن به هدف ارزیابی کنند.

(Gourgey, 1998). حل مسئله

نه تنها مستلزم دانستن اینکه چه چیزی را باید نظارت کرد، بلکه نحوه نظارت بر عملکرد و گاهی اوقات حذف عادات یادگیری نامناسب نیز ضروری است (Lester, 1994). توسعه مهارت‌های فراشناختی افراد را قادر می‌سازد تا با شکل‌دهی بازنمایی‌های ذهنی مسائل، برنامه‌های مناسب برای حل آن‌ها را به‌طور راهبردی رمزگذاری کنند و بر موانع این فرآیند غلبه کنند (Davidson and Sternberg, 1998). جهت‌گیری و خود قضاوتی مهارت‌های فراشناختی قابل اکتسابی هستند که به‌طور مستقیم با عملکرد حل مسئله مرتبط هستند، بخصوص در حل مسائل بد ساختار (Masui & DeCorte, 1999).

باورهای معرفتی

در حل مسئله، به‌ویژه مسائل بد ساختار، حل‌کننده‌ها باید صحت ایده‌ها و دیدگاه‌های مختلف خود را هنگام ارزیابی مسائل یا راه‌حل‌ها در نظر بگیرند. توانایی انجام این کار تا حدی به باورهای آن‌ها در مورد دانش و چگونگی توسعه آن بستگی دارد. به این معنی که باورهای معرفتی یادگیرنده‌ها در مورد ماهیت حل مسئله نیز بر روش‌هایی که آن‌ها به‌طور طبیعی تمایل به برخورد با مسائل دارند تأثیر می‌گذارد (Hofer and Pintrich, 1997).

مؤلفه‌های شخصی و محرک

اگر هنگامی افراد با یک مسئله روبرو شوند فوراً از حل آن انصراف دهند و معتقد باشند که این کار بسیار دشوار

است ممکن است نشان از ضعف مؤلفه‌های شخصی و محرک باشد (Perkins et al., 1986). هرچند حل مسئله نیازمند فرآیندهای شناختی و فراشناختی است ولی این فرآیندها برای حل مسائل، به‌ویژه مسائل پیچیده و بد ساختار، الزاماتی ضروری اما ناکافی هستند. حل مسئله به مؤلفه‌های عاطفی و ذاتی معنی‌داری نیز نیاز دارند (Jonassen & Tessmer, 1996). مؤلفه‌های شخصی، مانند نگرش‌ها و باورها در مورد مسائل، زمینه‌های مسائل و توانایی‌های افراد به‌طور قابل‌توجهی بر توانایی‌های حل‌کننده مسئله تأثیر می‌گذارد. اگر حل‌کننده‌های مسئله به دلیل باورهای شخصی بیش‌ازحد بر راه‌حل خاصی متکی باشند، اثربخشی این باور در حل مسئله کم خواهد بود؛ چراکه چنین افرادی کمتر به دنبال جستجوی راه‌حل‌های دیگر می‌روند.

مؤلفه‌های محرک (انگیزه‌ای و ارادی) مانند درگیر شدن ارادی، تلاش کردن، پافشاری بر انجام کار و تصمیم‌سازی برافزایش تلاش افراد برای حل مسائل مؤثر هستند. دانستن اینکه چگونه مسائل حل می‌شود، اعتقاد به اینکه چگونه مسائل حل می‌شود و تلاش برای انجام این کار اغلب باهم ناسازگار هستند. طبق اصل یادگیری مبتنی بر ایده Mayer (۱۹۹۸)، زمانی که افراد علاقه‌مند به حل مسئله هستند و معتقدند که قادر به حل آن هستند (خودکارآمدی بالایی دارند) بیشتر فکر می‌کنند و مطالب را عمیق‌تر پردازش می‌کنند. حل مسئله مستلزم تعدادی تمایلات عاطفی، به‌ویژه اعتمادبه‌نفس، باورها و سوگیری‌ها در حوزه دانش است. اگر حل‌کنندگان مسئله به توانایی خود در حل مسائل

اعتقاد نداشته باشند، به‌احتمال زیاد تلاش شناختی کافی را نداشته و بنابراین موفق به حل مسئله نخواهند شد. اعتمادبه‌نفس افراد میزان تلاش و پشتکار ذهنی آن‌ها که برای حل مسئله به کار خواهند برد را پیش‌بینی می‌کند.

پشتکار و تلاش یک عامل مهم موفقیت در حل مسئله است. برخی افراد معتقدند که اگر مسئله‌ای در چند دقیقه اول حل نشد، احتمالاً غیرقابل‌حل است، درحالی‌که ممکن است تلاش در مدت‌زمان بسیار طولانی‌تری برای حل یک مسئله نیاز باشد (Greeno, 1991).

مهارت حل مسئله

این باور عمومی وجود دارد که برخی افراد بهتر از دیگران حلال مسائل هستند؛ زیرا از راهبردهای حل مسئله مؤثرتری استفاده می‌کنند. این موضوع بستگی به نوع راهبردهایی دارد که آن‌ها استفاده می‌کنند. افرادی که سعی می‌کنند از راهبردهای ضعیفی استفاده کنند، مانند روش‌های اکتشافی عمومی مثل تحلیل ابزار-هدف که می‌تواند در همه زمینه‌ها اعمال شوند، معمولاً ضعیف هستند (Singley and Anderson, 1989)؛ اما افرادی که از راهبردهای قوی و مربوط به زمینه خاص مسئله استفاده می‌کنند، حل‌کننده‌های بهتری هستند. افراد باتجربه به‌طور مؤثر از راهبردهای قوی استفاده می‌کنند و افراد حل‌کننده مبتدی نیز می‌توانند استفاده از آن‌ها را بیاموزند (Mayer and Wittrock, 1996).

مهارت حل مسئله برای همه افراد بخصوص افراد شاغل برای حل مسائل در محل کار آن‌ها ضروری و حائز اهمیت بالایی است. افراد شاغل باید بتوانند مسائل پیش‌آمده در محل کار خود را به‌خوبی حل کنند (Jonassen et al., 2006).

مهارت حل مسئله (امیرحسینی، ۱۳۹۰؛ زارع و مرادی، ۱۳۹۹) یعنی توانایی یافتن بهترین راه برای حل کردن مسائل و رسیدن به هدف موردنظر با توجه به شرایط موجود. مهارت حل مسئله علاوه بر داشتن دانش‌های

مرتبط با مسائل، نیازمند مهارت در به کارگیری دانش، توانایی شکوفاسازی استعداد، آموزش و تمرین است.

بهبود مهارت حل مسئله

هدف از ارتقا مهارت حل مسئله، بهبود توانایی‌ها در رسیدن به بهترین جواب با استفاده بهینه از منابع و صرف کمترین هزینه و زمان است. این مهارت از طریق آموزش، تجربه و تفکر طراحی ارتقا خواهد یافت.

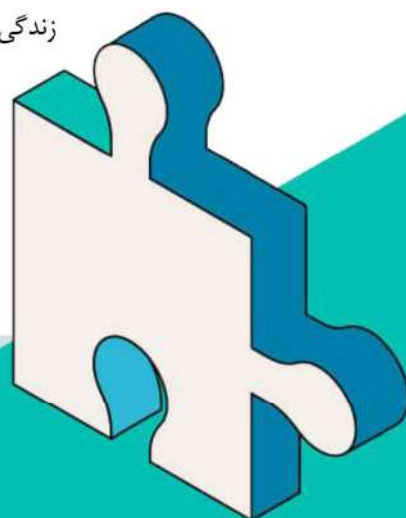
آموزش

افراد به طور طبیعی برای حل مسائل مختلف از آنچه قبلاً آموخته‌اند استفاده می‌کنند (Ross, 1989). هرچند در مراکز آموزشی، کسب نمره لازم در امتحانات تحصیلی معیار موفقیت است؛ اما علاوه بر افزایش دانش، آموزش در دوران تحصیل در دانشگاه باید به شکلی باشد دانشجویان را برای انجام کار در موقعیت‌های کاری بعد از فارغ التحصیلی آماده کند. این آماده‌سازی شامل بهبود تفکر، استفاده از قوه عقلانی، مهارت حل مسئله، یادگیری مستقل و یادگیری و انجام کار گروهی است (Gagne, 1980).

مهارت حل مسئله قابل اکتساب است و می‌تواند از طریق آموزش رسمی یا غیررسمی با طراحی مناسب برنامه‌های آموزشی بهبود پیدا کند. این مهارت مهم‌ترین نتیجه آموزش

است؛ چراکه تقریباً همه افراد در زندگی روزمره و حرفه‌ای

خود به طور مرتب با مسائل مختلف مواجهه می‌شوند و باید آن‌ها را حل



کنند (Jonassen, 2000b).

یکی از راه‌های بهبود حل مسئله دانش آموزان و دانشجویان در حین تحصیل حل تکالیف درسی است (van Merriënboer, 1997)؛ اما کافی نیست و آن‌ها به‌ندرت یا هرگز در طول دوران تحصیل مجبور به حل مسائل واقعی زندگی نمی‌شوند. محدود مسائل که دانش‌آموزان یا دانشجویان با آن‌ها مواجه می‌شوند معمولاً مسائل خوب ساختار و از نوع مسائل داستانی هستند که با ماهیت مسائلی که برای حل آن‌ها در زندگی روزمره خود (چگونه می‌توانم صحبت کنم تا به من توجه کنند؟)، زندگی حرفه‌ای (چه نوع رویکرد بازاریابی برای این خط تولید جدید مناسب است؟)، یا حتی تحصیل در مدرسه (آیا باید دو ساعت آینده را صرف مطالعه برای امتحان ریاضی خود کنم یا بیرون بروم و با دوستانم بازی کنم؟) باید بیاموزند، همخوانی ندارد؛ بنابراین، فارغ التحصیلان به‌ندرت آمادگی کافی برای فعالیت در زمینه‌های روزمره و حرفه‌ای پس از پایان تحصیلات دارند. تفاوت بین آنچه یادگیرندگان به آن نیاز دارند (تجربه حل مسائل پیچیده و بد ساختار) و آنچه در آموزش‌های رسمی (مدارس، دانشگاه‌ها و شرکت‌ها) فرامی‌گیرند، خود یک مسئله پیچیده و بد ساختار است که می‌توان با طراحی آموزش‌های مؤثر آن را بهبود بخشید (Jonassen, 2000b).

حل مسائل خوب ساختار و بهبود حل مسئله در حل چنین مسائلی در کلاس‌های درسی به‌تنهایی منجر به ارتقا مهارت حل مسئله برای مسائل پیچیده و بد ساختار محیط کار نمی‌شود (Hong et al., 2003). بدین معنی که یادگیری حل مسائل داستانی در کلاس‌های درسی، فارغ التحصیلان را برای حل مسائل پیچیده و بد ساختار محل کار آماده نمی‌کند؛ چراکه حل هر نوع مسئله‌ای نیازمند فرآیندهای شناختی خاص خود است

یادگیری باز، سناریوهای مبتنی بر هدف و یادگیری مبتنی بر مسئله. این روش‌ها راهبردهای آموزشی مانند مثال‌های معتبر، شبیه‌سازی، مدل‌سازی، مربیگری و داربست‌سازی را برای حل مجازی مسئله آموزش می‌دهند. از شبیه‌سازی برای بازنمایی مسائل روزمره و حرفه‌ای در موقعیت‌های یادگیری رسمی (مثلاً در مدارس و دانشگاه‌ها) برای یادگیرندگان استفاده می‌شود. یکی از اهداف مهم این برنامه‌های آموزشی برای بهبود مهارت حل مسئله در افراد مبتدی، آموزش نحوه تصمیم‌گیری در مورد چگونگی بازنمایی مسئله است. طراحان آموزشی تصمیم می‌گیرند که کدام مؤلفه‌های مسئله را و چگونه آن‌ها را به یادگیرنده‌ها نشان دهند. درواقع طراحان مسئولیت ساختن فضای مسئله را برای فراگیران به عهده می‌گیرند. برای انجام این کار، طراحان سرنخ‌های متنی یا درخواست‌هایی درباره اطلاعاتی که باید در فضای مسئله افراد یادگیرنده گنجانده شود، ارائه می‌کنند. اینکه وضوح و ثبات این نشانه‌ها چگونه است، دشواری و پیچیدگی مسئله را تعیین می‌کند. علاوه بر این، طراحان در مورد روش بازنمایی اجزای مختلف مسئله تصمیم می‌گیرند. یک مسئله مهم در بازنمایی مسئله، میزان نمایش واقعیت است. آیا پیچیدگی و حالت طبیعی مسئله نشان داده می‌شود یا در هنگام شبیه‌سازی بخشی از آن حذف می‌شود؟ آیا همه ابعاد اجتماعی و محدودیت‌های زمانی باید نمایش داده شوند؟ یعنی مسئله باید در زمان واقعی حل شود یا در اوقات فراغت می‌توان آن را حل کرد؟ چه سطوحی از همکاری یا رقابت در مسئله بازنمایی می‌شود؟ این‌ها تنها تعدادی از تصمیماتی است که طراحان برنامه‌های آموزشی باید در هنگام بازنمایی مسائل اتخاذ کنند. بالاین‌حال، ماهیت مسائلی که قرار است حل شوند به‌طور کامل توسط این

(Jonassen, 2000b). برنامه‌های آموزشی برای مسائل خوب ساختار ریشه در تئوری پردازش اطلاعات دارند؛ اما از آن مسائل بد ساختار لزوماً از نظر فرضیات مربوط به ساخت‌گرایی و شناخت موقعیت مشترک هستند. نظریه‌های پردازش اطلاعات، نتایج یادگیری را به‌عنوان مهارت‌های قابل‌تعمیم در نظر می‌گیرند که می‌توان آن را در سراسر حوزه‌های محتوا به کاربرد، درحالی‌که ساخت‌گرایی و شناخت موقعیت به یک حوزه خاص از هر عملکردی مربوط می‌شود و بنابراین دستورالعمل‌هایی را در زمینه معتبر توصیه می‌کنند (Jonassen & Land, 2000). بنابراین برنامه‌های آموزشی باید به گونه طراحی شوند که بتوانند چگونگی حل مسائل پیچیده و بد ساختار محل کار را به دانشجویان یاد دهند (Jonassen et al., 2006).

مسائل زندگی و حرفه‌ای متفاوت از مسائل درسی (مفهومی یا قوانین) بوده و همچنین این مسائل دارای طیف گسترده‌ای هستند و نمی‌توان با آن‌ها به‌طور یکسانی برخورد کرد (Jonassen et al., 1999). یادگیری مفاهیم، قوانین و اصول مؤلفه‌ای که فضای مسئله را تشکیل می‌دهند، برای حل مسئله ضروری هستند؛ اما کافی نیستند (Mayer, 1998). مهارت حل مسئله به چیزی بیش از کسب مهارت‌های مؤلفه‌ای نیاز دارد و ایجاد مدل‌های خاص آموزشی برای حل صحیح مسائل ضروری است (Jonassen, 2000b)؛ بنابراین به‌منظور بهبود مهارت حل مسئله دانش‌آموزان و دانشجویان، روش آموزش باید به نحوی باشد که شرایط متفاوت یادگیری برای نحوه حل مسائل مختلف را فراهم کند (Gagne, 1980).

برخی روش‌های آموزشی که اخیراً برای بهبود مهارت حل مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرند بر محیط‌های یادگیری یادگیرنده محور تمرکز دارند، مانند محیط‌های

دوره‌های آموزشی است. برای اجرای این روش باید مسئله‌های مناسبی فراهم شود تا بتوانند مهارت دانشجویان را بهبود ببخشند. در این راستا، روش PBL نیازمند ایجاد و اعمال یک فرآیند نظام‌مند برای شناسایی ویژگی‌های مسئله‌های موجود در محل کار و پاسخ به تغییرات اساسی در این مسائل در طول زمان است (Jonassen et al., 2006).

مسائل متنوع

اغلب کلاس‌های آموزشی مرسوم و بسیاری از دوره‌های PBL نمی‌توانند ماهیت مسائل محل کار را به اندازه کافی نشان دهند؛ بنابراین نیاز است دانشجویان در حل انواع متنوعی از مسائل مشارکت داده شوند تا مهارت حل مسئله آن‌ها به‌طور جامع تقویت شود. تا آنجا که ممکن است باید دانشجویان در حل انواع بیشتری از مسائل و با ساختارها و ویژگی‌های مختلف

روش‌های آموزشی تحلیل یا توضیح داده نمی‌شود (Jonassen, 2000a).

مدل‌های طراحی آموزشی مختلفی برای مسائل خوب ساختار و بد ساختار، با فرض اینکه حل مسائل در زمینه و حوزه‌های مختلف نیازمند مهارت‌های متفاوتی هستند، معرفی شده‌اند (Jonassen 1997). این امر نیز برای تطبیق دامنه و پیچیدگی نتایج حل مسئله ناکافی است و برای بهبود یادگیری حل مسئله باید ابعاد آن به‌منظور توسعه مدل‌های خاص تعریف تکالیف برای یادگیرندگان مشخص شوند (Jonassen, 2000b).

آموزش از نظر یادگیری مسئله محور، مسائل متنوع، محیط یادگیری، انتقال معلومات به محل کار در بهبود مهارت حل مسئله می‌تواند مؤثر باشد.

یادگیری مسئله محور

تبدیل دروس آموزشی به یادگیری مسئله محور (PBL) راه‌حل مهمی برای تقویت مهارت حل مسئله دانشجویان در محل کار است. در آموزش‌های مسئله محور، دوره‌های سنتی جای خود را به مجموعه‌های از مسائل یکپارچه و بین‌رشته‌ای می‌دهند که دانشجویان باید یاد بگیرند به‌طور گروهی آن‌ها را حل کنند. در این روش آموزشی یادگیری دانشجویان به‌صورت خود نظارتی و خود راهبری است و آن‌ها باید تصمیم بگیرند که چه دانشی را برای حل یک مسئله خاص به کار ببرند.

دوره‌های PBL در رشته‌های متعددی از جمله مهندسی پزشکی، مهندسی شیمی، مهندسی نرم‌افزار، فیزیک حرارتی، فرآیندهای طراحی، مهندسی هوافضا، میکروالکترونیک و مهندسی ساخت و کنترل اجرا می‌شود. روش PBL در برخی از دروس آموزشی مهندسی در دانشگاه‌های مختلفی چون آلبورگ دانمارک، مک مسترز کانادا، موناش استرالیا، منچستر انگلستان، گلاسکو اسکاتلند، آینده‌وون هلند و جمهوری پلی تکنیک در سنگاپور اجرا می‌شود. تبدیل روش آموزش سنتی به PBL، مستلزم اصلاح نظام‌مند برنامه‌های درسی یا

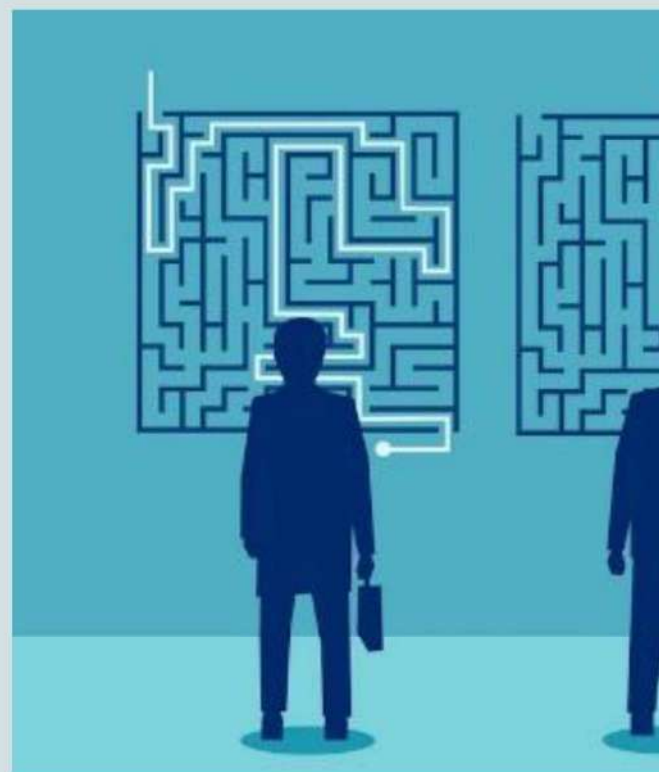


را پیش‌بینی و تطبیق دهند، خود را با شرایط متغیر پروژه و مسائل پیش‌بینی‌نشده وفق دهند، از ابزارهای متعددی (بصری، شفاهی و کمی) برای بیان مسئله استفاده کنند، پیچیدگی‌های مسائل محل کار را تا آنجا که ممکن است به‌طور مستقیم تجربه یا به‌صورت غیرمستقیم مشاهده کنند.

محیط یادگیری

در جاهایی که برنامه‌های PBL برگزار نمی‌شود، می‌توان محیط‌های یادگیری مسئله محور را طراحی، توسعه و پیاده‌سازی کرد. این محیط‌ها مسائل را در قالب روایت، بازنمایی تجربیات مرتبط با حل مسئله، موارد مرتبط، منابع اطلاعاتی موردنیاز برای خلق راه‌حل، ابزارهای شناختی برای نمایش اجزا مسئله و ابزارهای ارتباطی برای ایجاد همکاری، برای دانشجویان فراهم می‌کنند (Jonassen et al., 2005). کلاس‌های درسی می‌توانند به‌گونه‌ای باشند که دانشجویان در گروه‌های چند رشته‌ای (کارگروه‌ها) کار کنند تا یادگیری مشارکتی شکل بگیرد (Wankat, 2002). برخی مواقع گروه‌های کاری بر اساس تسهیل کار و نه بر اساس مجموعه مهارت‌های شرکت‌کنندگان یا نقش‌هایی آن‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین در فعالیتهای گروهی باید از جانب‌داری یا به حاشیه راندن دانشجویان شرکت‌کننده اجتناب شود. فعالیتهای گروهی باید از نظر میزان ارتباط معنی‌داری که باعث ایجاد حس مالکیت در میان شرکت‌کنندگان مختلف می‌شود، ارزیابی شوند. همچنین این فعالیتهای باید از نظر معنی‌دار بودن همکاری‌های شکل‌گرفته در گروه ارزیابی شوند تا سبب شود نقش‌هایی که اعضای گروه ایفا می‌کنند متنوع و معتبر باشند. آیا این فعالیتهای وابستگی متقابل مثبت، مسئولیت‌پذیری فردی، ترویج تعامل، مهارت‌های اجتماعی و تولید دانش اشتراکی را با مواجهه با وظایف معتبر همکاری محور تقویت می‌کنند (Johnson and Johnson, 1998).

مشارکت داده شوند. برای آماده‌سازی بهتر دانشجویان در ایفای نقش خود در محل کار، باید دانشجویان به‌طور مستمر در بیشتر کلاس‌های آموزشی و همه دوره‌های PBL جهت حل پیچیدگی‌ها و ابهامات مسائل محل کار (نه فقط در زمینه اصلی) مشارکت داده شوند. در این راستا، باید از دانشجویان خواسته شود: ترکیبی از مسائل ساختاریافته را تحلیل و حل کنند، چندین مسئله فرعی را مدیریت کنند، اهداف متعدد و اغلب متضاد بیان و تحلیل یک مسئله را تجزیه کنند، محدودیت‌ها و معیارهای متعدد و متضاد را باهم تطبیق دهند، انواع راه‌حل‌ها را برای مسائل مختلف تحلیل و انتخاب کنند و راه‌حل‌های انتخاب‌شده را توجیه کنند، روش‌های مختلف برای دستیابی به معیارهای مختلف در حل مسائل را شناسایی و تطبیق دهند، با اعضای مختلف گروه‌های حرفه‌ای و فرا حرفه‌ای در تمام جنبه‌های فرآیند حل مسئله ارتباط برقرار نموده و با آن‌ها همکاری نمایند، مشکلات و آشفتگی‌های مداخله‌گر در فرآیند حل مسئله



انتقال معلومات به محل کار

یکی از اهداف آموزش در راستای بهبود حل مسئله باید تقویت توانایی انتقال معلومات توسط افراد یادگیرنده به محل کار است. مفهوم مرسوم انتقال معلومات، توانایی تعمیم روش‌های حل یک مسئله (معمولاً یک مسئله داستانی) به مسئله داستانی مشابه در زمینه‌ای دیگر است (Jonassen et al., 2006). مفهوم جدید انتقال، آماده‌سازی برای یادگیری حل مسائل محل کار است، یعنی کسب مهارت‌های یادگیری در موقعیت‌های کاری مختلف، چه در دانشگاه یا چه خارج از آن (Bransford and Schwartz, 1999). یکی از راه‌کارها برای انتقال معلومات به مسائل خارج از کلاس‌های درسی، درس کارآموزی است که در دوره‌های تحصیلی کارشناسی در برخی رشته‌ها گنجانده شده است تا دانشجویان در این راستا تجربیاتی کسب کنند. به‌طور کلی این تجربیات برای رشد فکری و حرفه‌ای دانشجویان بخصوص در رشته‌های فنی مهندسی و کشاورزی ارزشمند تلقی می‌شوند. با این حال، تجربیات کارآموزی دارای محدودیت‌هایی است. به دلایل ایمنی یا بهره‌وری، کارآموزان اغلب به وظایف غیرضروری و غیراصولی تنزل داده می‌شوند و دانشجویان به ندرت فرصت رویارویی با طیف قابل توجهی از مسائل واقعی محل کار یا مواجهه با خطرات حل مسئله واقعی را دارند. با این وجود، برای بهبود دوره کارآموزی می‌توان دانشجویان را در پایان دوره ارزیابی نمود. برای ارزیابی این دوره می‌توان از ویژگی‌های مسائل محل کار به عنوان معیار استفاده کرد (Jonassen et al., 2006). علاوه بر کلاس‌های درسی و خوابگاه، محیط یادگیری سوم دانشجویان، جامعه (صنعت، بازار، مزرعه و ...) است؛ بنابراین راه‌کار دیگری که علاوه بر ارتقا انتقال، موجب افزایش اعتمادبه‌نفس دانشجویان در حل مسئله می‌شود، انجام کارهای واقعی پاره‌وقت در جامعه در حین تحصیل است. چراکه وقتی دانشجویان باهدف کسب درآمد در جامعه کار می‌کند، جامعه نیز از آن‌ها انتظار دارد به درستی

کار کنند و بنابراین تجربیات ارزنده‌ای را کسب می‌نمایند. چون این موضوع در حین تحصیل اتفاق می‌افتد و دانشجویان ارتباط نزدیکی با دروس خود دارند، بنابراین انتقال معلومات به محل کار می‌تواند با بازده بالاتری شکل بگیرد. فرصت کار واقعی پاره‌وقت برای دانشجویان در حین تحصیل در دانشگاه‌های مستقر در شهرهای بزرگ و صنعتی به وفور وجود دارد. با این حال دانشجویان در حال تحصیل در شهرهایی که چنین فرصت‌هایی ندارند می‌توانند در فواصل بین‌ترم مای درسی در شهرهای دیگری کار کنند.

تجربه

بهره‌برداری مجدد از مسائلی که قبلاً توسط خود فرد یا افراد دیگر حل شده‌اند، برای یادگرفتن نحوه حل آن‌ها ضروری است؛ زیرا مهندسان به‌طور طبیعی از تجربیات حل مسئله خود مجدداً استفاده می‌کنند یا از دیگران می‌خواهند که تجربیات خود را هنگام حل مسائل بازگو کنند (Jonassen, 2000b). تحقیقات نشان داده است که کارکنان با تجربه آتش‌نشانی در هنگام تصمیم‌گیری در موقعیت‌هایی با درجه عدم قطعیت بالا، بیشتر بر موارد مبتنی بر تجربه گذشته تکیه می‌کنند تا بر اصول انتزاعی و داست آن‌هایی که آن‌ها به یاد می‌آوردند که بر آگاهی موقعیتی و درک نتایج مورد انتظار متمرکز بود (Klein and Calderwood, 1988). همچنین تعمیرکاران خودرو هنگام رویارویی با یک مسئله جدید (Lancaster and Kolodner 1987) و مهندسان مخابرات در حال عیب‌یابی شبکه‌های سوئیچینگ تلفن و دیگران (Kopeikina et al., 1988) از تجربیات خود و دیگران استفاده می‌کنند؛ بنابراین افزایش تجربه در حل مسائل مختلف و همچنین استفاده از تجربیات دیگر آن‌یکی از راهبردهای بهبود مهارت حل مسئله هست.

تفکر طراحی

هرچند تفکر طراحی به عنوان یک رویکرد انسان محور و مبتنی بر مسئله باز برای تغییر روش تدریس و یادگیری در آموزش مهندسی استفاده شده است (Pusca et al., 2013; Northwood, 2015)؛ اما این تفکر برای همه رشته های تحصیلی و زمینه های مختلف کارآمد است؛ چراکه برای انجام هر کاری، ابتدا باید طراحی، برنامه ریزی و یا فرمول بندی مناسبی صورت گیرد؛ بنابراین تفکر طراحی یا تفکر متمرکز بر راه حل، راه کار مهمی برای حل بهتر مسئله در زمینه های مختلف است. تفکر طراحی بر اساس همان اصولی که طراحان برای ایجاد راه حل های نوآورانه به منظور حل مسائل مهندسی استفاده می کنند (افضلی، ۱۳۹۹)، می تواند به عنوان الگوی حل مسائل پیچیده در زمینه ها و رشته های مختلف در نظر گرفته شود؛ چراکه تفکر طراحی ریشه در آموزش و تمرین دارد؛ بنابراین می تواند توسط همه افراد در هر زمینه و رشته ای به کار گرفته شود (Brown, 2009). در این راستا، تفکر طراحی (Piotrowski, 2011) برای حل مسائل در مشاغل مرتبط با علوم پایه و تجارت (Kimbell, 2011) و کسب و کارهای (Piotrowski, 2011) مختلف به کار گرفته شده است. تفکر طراحی با راهبرد خلاقانه مرتبط بوده و نتیجه سؤال «چگونه» به عنوان محرک ایده های پیش رونده برای یافتن راه حل خلاقانه برای مسائل هست، بخصوص مسائل بد ساختار (Johnson, 2016). از طرفی دیگر، تفکر مسئله محور با تفکر انتقادی پیوند تنگاتنگی دارد و در نتیجه پرسش سؤال هایی مانند «چرا» و «چه چیزی» به فرمول بندی مسئله کمک می کنند (Pusca and Northwood, 2017). این فرمول بندی برای حل مسئله نیاز است؛ بنابراین همیشه باید در نظر داشت برای فرموله کردن مسائل به سؤال های چرا و چه چیزی و هنگام نحوه تصمیم گیری در مورد راهبردهای خلاقانه برای شناسایی بهترین راه حل، به سؤال چگونه پرداخته شود. تفکر طراحی یک فرآیند یکپارچه است

(Buchanan, 1992) و در چنین محیطی همدلی در کار گروهی یک ضرورت است؛ زیرا درک تجربه، موقعیت و احساسات بسیار مهم است (Baert, 2015). اعمال تفکر طراحی همانند تصمیم سازی در حل مسائل بد ساختار یک فرآیند خطی ساده نیستند. افرادی که فکر می کنند تفکر طراحی یک فرآیند خطی است، این فرآیند را به دو فاز مجزا تقسیم می کنند: ۱- ساختار بندی شناسایی و فرمول بندی مسئله و ۲- ساختار بندی جستجو و ایجاد راه حل برای حل آن. فاز اول به عنوان یک توالی تحلیلی در نظر گرفته می شود که در آن طراح تمام اجزا مسئله را تعیین و همه الزامات و محدودیت ها را مشخص می کند. شناسایی و فرمول بندی مسئله، فاز بسیار مهمی است؛ زیرا اگر مسئله ای به درستی فرموله بندی نشود نمی توان راه حل موفقی را برای آن طراحی کرد. فاز دوم شامل توالی های ترکیبی است که در آن چندین مورد به منظور یافتن بهترین راه حل برای مسئله ارزیابی می شوند. در مدل خطی مسائل خوب ساختار و خوب تعریف شده با موقعیت مشخص وجود دارند؛ در حالی که رویکرد مسئله بد ساختار، مسائل باز و خوب تعریف نشده با موقعیت نامشخص و محدودیت های خاص وجود دارند (Buchanan, 1992). در طول زمان روش طراحی به عنوان راه کاری برای حل خلاقانه مسائل در مهندسی توسعه یافته است (Kelley, 2017). تفکر طراحی به عنوان یک فرآیند، رویکردی مشابه و توصیف کننده کاری است که طراحان مهندسی انجام می دهند. اساتید باید طوری تفکر طراحی را توضیح دهند که به خوبی به عنوان الگوی مناسبی در حل مسائل، ارتباط و همکاری با افراد مختلف و بهبود زندگی مورد استفاده قرار گیرد (Dym, 2005). شکل (۲) طرحواره فرآیند طراحی مهندسی را نشان می دهد (Kelley, 2017). این طرحواره تعریفی مبتنی بر مدل برای تفکر طراحی، به عنوان یک فرآیند توالی مؤثر در حل مسئله است. این فرآیند با شناسایی و تعریف نیاز و فرمول بندی مسئله با در نظر گرفتن همه محدودیت ها، به عنوان گام اول

شروع می‌شود. گام اول بسیار مهم است؛ زیرا برای یافتن راه‌حل، ضروری است مسئله به‌خوبی فرمول‌بندی شود. مسائل پیچیده اغلب نیازمند استدلال نامنظم هستند (Hall, 2009). یک مسئله طراحی در حین رسیدگی به آن مدام در حال تغییر است؛ زیرا درک آنچه باید انجام شود و اینکه چگونه ممکن است انجام شود به‌طور مداوم در حال تغییر است. یادگیری اینکه مسئله چیست، خود یک مسئله است (Rittel, 1998). در گام دوم باید سعی شود مسئله موردبررسی با موارد مشابه حل‌شده در گذشته مرتبط گردد. در صورت ناموفق بودن این گام، در گام بعدی باید ایده‌های جدیدی با استفاده از دانش و خلاقیت به‌عنوان نوعی تفکر تجربی پیدا کرد. ارزیابی ایده‌های جدید با استفاده از یک ماتریس تصمیم به یک راه‌حل ختم می‌شود که باید بیشتر مورد تحلیل و آزمون قرار گیرد. ایده بهینه در صورت عبور موفق از آزمون، می‌تواند اجرا شود. اگر این گام موفقیت‌آمیز نبود، مسئله باید دوباره فرمول‌بندی شود و این روند تکرار می‌شود. این یک فرآیند تکراری است، یعنی روش حلقه. این تعریف مبتنی بر مدل، توصیفی بسیار واضح و قابل‌درک از چیرستی تفکر طراحی ارائه می‌دهد. درواقع، این مفهوم بسیار پیچیده است و تا حدودی با فرآیند تفکر طراحی مرتبط با سایر فعالیت‌های غیرمهندسی متفاوت است. این تفاوت در ابزارها و روش‌های به کار گرفته‌شده در طول پنج مرحله اصلی، مراحل ۲ تا ۶ در شکل (۲) است. جنبه مشترک در رشته‌های مهندسی و غیرمهندسی، استفاده از تکنیک‌های خلاقیت و تحریک خلاقیت، مانند طوفان فکری، قیاس، وارونگی یا چک‌لیست با استفاده از سؤالات کلیدی است. شکل‌هایی از دانش مختص به شایستگی‌ها و توانایی‌های فرد طراح وجود دارد (Cross, 2001). از روش‌های طراحی مهندسی برای حل مسائل غیرمهندسی مانند طراحی برنامه درسی مبتنی بر نتیجه (Pusca, 2010)، فضای یادگیری (Pusca et al., 2015) و طراحی روش‌های ارزیابی (Pusca and Northwood, 2017)

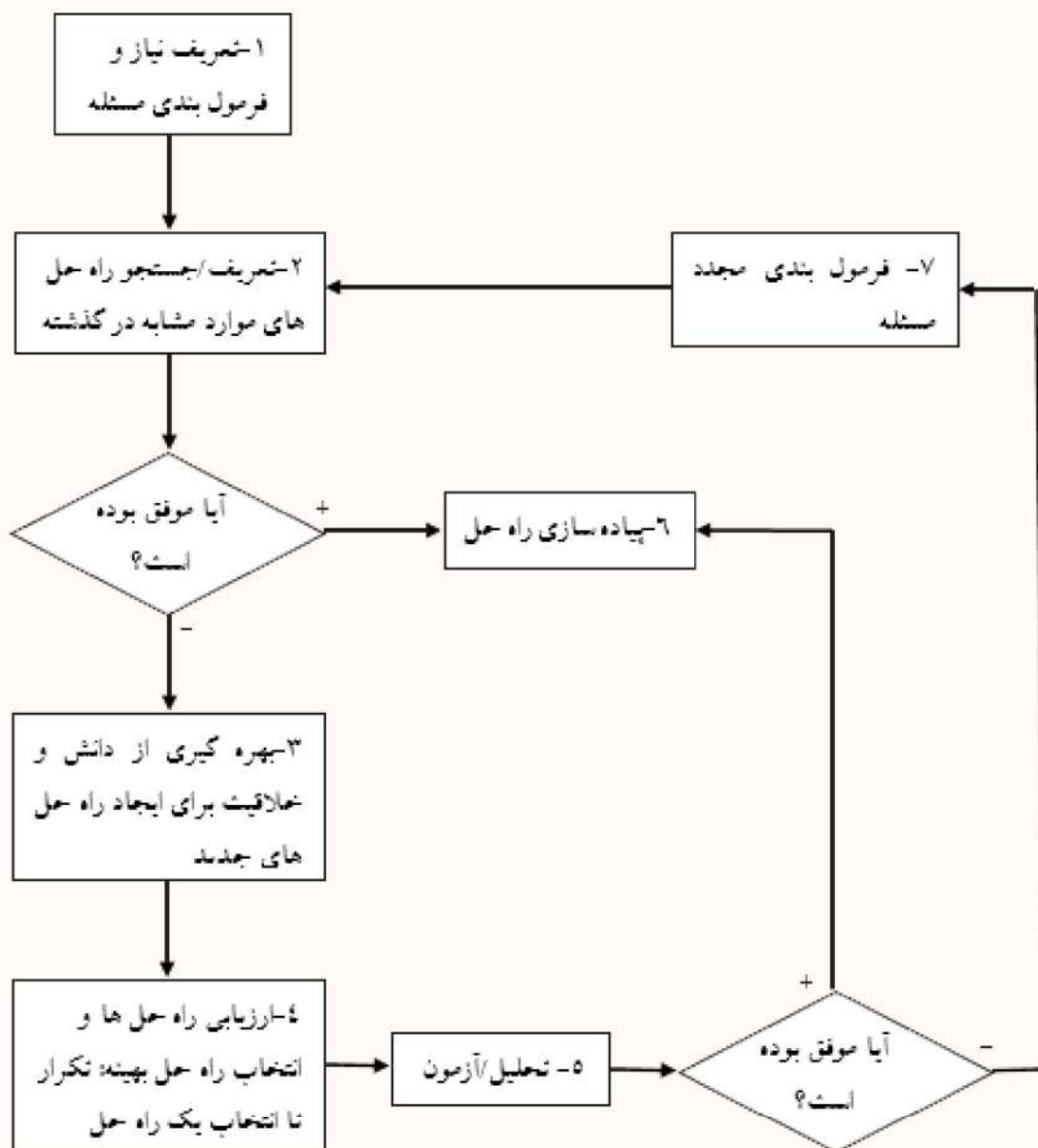
به کار گرفته‌شده است. الگوی تفکر طراحی با استفاده تطبیقی از روش‌ها و ابزارهای طراحی مهندسی برای حل مسائل پیچیده در توسعه برنامه درسی قابل به‌کارگیری است (Pusca, 2010; Pusca and Northwood, 2017) و راهبرد اساسی حل مسائل پیچیده یا اکتشافی که توسط مهندسان استفاده می‌شود، اثربخش است (Woods, 2000; Douglas et al., 2012). این راهبرد از مرحله آگاهی با مسئله شروع می‌شود، سپس مرحله تعریف و با مرحله ارزیابی یا تأیید راه‌حل پایان می‌یابد. این راهبرد از شش مرحله گسسته تشکیل شده است که می‌تواند به شیوه‌ای تکراری مورد استفاده قرار گیرد. روش طراحی مهندسی می‌تواند به‌عنوان یک الگوی تفکر طراحی برای حل مسائل پیچیده در نظر گرفته شود؛ زیرا هم درک منطقی از فرآیند طراحی را ارائه می‌دهد و هم افراد را برای دستیابی به راه‌حل مسئله راهنمایی می‌کند (Pusca and Northwood, 2017). با تأکید بر کار گروهی و رویکرد مبتنی بر مسئله، تفکر طراحی به‌ویژه برای حل مسائل بد ساختار، بزرگ، بد تعریف‌شده، پیچیده و چندوجهی که راه‌حل روشنی ندارند، مناسب است (Johnson, 2016). تحقیقاتی برای نشان دادن استفاده تطبیقی از اکتشافات طراحی به‌عنوان یک راهبرد مفید برای حل مسئله و تصمیم‌گیری صورت گرفته است و مطالعه مهندسی طراحی شهودی، یعنی طراحی ابزارهای کمکی شفاف برای ساخت را در نظر گرفته‌اند (Raab and Gigerenzer, 2015). همچنین شباهت‌ها و تفاوت‌های تفکر طراحی هنگامی که برای فعالیت‌های مختلف به کار گرفته می‌شود، بررسی شده است (Visser, 2009). Pusca and Northwood (۲۰۱۷) الگوی تفکر طراحی را به‌عنوان روشی برای یافتن راه‌حل برای مسائل و چالش‌های خاص در آموزش به هدف بهبود ویژگی‌های فارغ‌التحصیلان و در نتیجه انتقال یادگیری‌های دانشجویان به صنعت پیاده‌سازی کردند و بیان نمودند که تفکر طراحی کاربر محور و مبتنی بر نتیجه، الگوی مناسبی هست.

ارزیابی مهارت حل مسئله

مهارت حل مسئله همانند سایر توانایی‌های انسان، می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد تا مشخص شود آموزش، تمرین، یا ویژگی‌های فردی می‌توانند چه تأثیری بر آن داشته باشند. Heppner and Petersen (۱۹۸۲) پرسش‌هایی برای ارزیابی توانایی حل مسئله را ارائه دادند

شکل ۲

طرح‌واره تفکر طراحی به‌عنوان یک فرآیند طراحی مهندسی.



نتیجه گیری

به طور کلی می توان مسائل پیش آمده در زندگی فردی، اجتماعی و حرفه ای هر فردی در هر رشته تحصیلی و هر زمینه شغلی را به ۱۱ نوع تقسیم نمود. این مسائل باید به طور بهینه و در کمترین زمان ممکن باید حل شوند؛ چراکه در صورت حل نشدن ممکن است سبب بروز مسائل بزرگتری شوند و ضرر و زیان بیشتری را به بار آورند. حل این مسئله دارای مؤلفه های مختلفی هست که در این مقاله بیان شدند. شناخت این مؤلفه ها و بهبود مهارت حل مسئله می تواند در حل مسائل مختلف مؤثر باشد. ارتقا برنامه های آموزشی در دوره های تحصیلی و تدوین درسی به نام مهارت حل مسئله به منظور ارتقا مهارت حل مسئله ضروری هست. علاوه بر دوره کارورزی، کار کردن دانشجویان به طور پاره وقت در حین تحصیل در بهبود توانایی حل مسئله مفید هست که نیاز به حمایت در این زمینه و تسهیل آن است.

منابع

- افضلی، م.ر. (۱۳۹۹). طراحی اجزا ماشین شیگلی. نشر کتاب دانشگاهی، تهران، ایران.
- امیرحسینی، خ. (۱۳۹۰). مهارت های حل مساله. ترجمه (رابرتسون، س. ی.). ویرایش اول. انتشارات عارف کامل. تهران، ایران.
- زارع، ح.، مرادی، ل. (۱۳۹۹). حل مسئله. ترجمه (رابرتسون، س. ی.). ویرایش دوم. انتشارات نسل نو اندیش. تهران، ایران.
- قاسمی، ج.، ۱۳۹۹. آشنایی با مهارت حل مسئله (ویژه مروجان پهنه های تولیدی). مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.
- Anderson, J.R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. Freeman, New York.
- Baert, P. (2015). *The Role of Design Thinking*. <https://www.slideshare.net/Pietel/the-role-of-design-thinking>. (Accessed October 2017).
- Bransford, J.D., and Schwartz, D. (1999). *Rethinking Transfer: A Simple Proposal with Multiple Implications*. *Review of Research in Education*, 24: 61-100.
- Brown, T., (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. Harper Business, New York.
- Buchanan, R. (1992). *Wicked problems in design thinking*. *Design Issues*, 8(2): 5-21 .
- Churchman, C.W. (1967). *Guest Editorial: Wicked Problems*. *Manage. Science*. <http://www.jstor.org/stable/262867>.
- Cross, N. (2001). *Designerly ways of knowing: design discipline versus design science*. *Design Issues*, 17(3): 49-55.
- Davidson, J.E., and Sternberg, R.J. (1998). *Smart problem solving: How metacognition helps*. In D.J. Hacker, J. Dunlosky, & A.C. Graesser (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Douglas, E.P., Koro-Ljungberg, M., McNeil, N.J., Malcolm, Z.T. and Therriault, D.J. (2012). *Moving beyond formulas and fixations: solving open-ended engineering problems*. *European J. of Engng. Educ.*, 37(6): 627-651.
- Dym, C.L., Agogino, A.M., Eris, O., Frey, D. and Leifer, L.J. (2005). *Engineering design thinking, teaching, and learning*. *J. of Engng. Educ.*, 94(1): 103-120 .
- English, L.D. (1998). *Children's reasoning in solving relational problems of deduction*. *Thinking & Reasoning*, 4(3): 249-281.
- Flavell, J.H. (1979). *Metacognition and comprehension monitoring: A new era of cognitive development inq*. *American Psychologist*, 34: 906-911.





- Funke, J. (1991). Solving complex problems: Exploration and control of complex systems. In R.J. Stemberg & P.A. Frensch (eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms* (pp. 185-222). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gagne, R.M. (1980). *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart, & Winston .
- Gick, M.L. (1986). Problem-solving strategies. *Educational Psychologist*, 21(1&2): 99-120.
- Goel, V., and Pirolli, P. (1989). Motivating the notion of generic design within information processing theory: The design problem space. *AI Magazine*, 10(1): 19-36.
- Gourgey, A.F. (1998). Metacognition and basic skills instruction. *Instructional Science*, 26: 81-96.
- Greeno, J.G. (1994). Gibson's affordances. *Psychological Review*, 101(2), 336-342 .
- Greeno, J. (1991). A view of mathematical problem solving in school. In M.U. Smith (Ed.), *Toward a unified theory of problem solving*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ .
- Halgren, S.L., and Cooke, N.J. (1993). Towards ecological validity in menu research. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39(1): 51-70.
- Hall, P. (2009). Discovery reasoning in information design. *J. of the American Society for Infor. Science and Technol.*, 60(9): 1877-1882.
- Heppner P.P., and Petersen C.H. (1982). The development and implications of a personal problem-solving inventory. *Journal of Counseling Psychology*, 29(1): 66-75.
- Hofer, B.K., and Pintrich, P.R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67(1): 88-140.
- Hong, N.S., Jonassen, D.H., and McGee, S. (2003). Predictors of Well-Structured and Ill-Structured Problem Solving in an Astronomy Simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(1): 6-33.
- Johnson, D.M., Parrott, G.R., and Stratton, R.P. (1968). Production and judgment of solutions to five problems. *Journal of Educational Psychology Monograph*, 59.
- Johnson, D.W., and Johnson, R.T. (1998). Cooperative Learning Returns to College: What Evidence is There That It Works? *Change*, 30 (4): 26-36 .
- Jonassen, D.H. (2000a). Integrating problem solving into instructional design. In R.A.
- Jonassen, D.H. (2000b). Toward a Design Theory of Problem Solving. *Educational Technology: Research & Development*, 48 (4): 63-85.
- Jonassen, D.H. (2000c). Using technologies to model student problem spaces. Paper presented at the International Conference on Computers in Education, Taipei, Taiwan.
- Jonassen, D.H. (1997). Instructional design model for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1): 65-95.
- Jonassen, D.H., Beissner, K., and Yacci, M. (1993). Structural knowledge: Techniques for assessing, conveying, and acquiring structural knowledge. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Jonassen, D.H., and Grabowski, B.L. (1993). *Handbook of individual differences, learning and instruction* .
- Jonassen, D.H., and Henning, P. (1999). Mental Models: Knowledge in the Head and Knowledge in the World. *Educational Technology*, 39 (3): 37-42.
- Jonassen, D.H., and Land, S.L. (2000). *Theoretical foundations of learning environments*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- Jonassen, D.H., Schmidt, M.A., Miller, W., and Neumeyer, G. (2005). *A Problem-Based Introduction to Nuclear Sciences*. American Society of Engineering Education, Portland, Oregon.
- Jonassen, D., Strobel, J., and Lee, C.B. (2006). Everyday Problem Solving in Engineering: Lessons for Engineering Educators. *Journal of Engineering Education*, 95(2): 139-151.
- Jonassen, D.H., and Tessmer, M. (1996/1997). An outcomes- based taxonomy for instructional systems design, evaluation, and research. *Training Research Journal*, 2: 11-46.

فراخوان دریافت مقالات و مطالب علمی نشریه علم-ترویج

صنعت سبز نوین

با توجه به اهمیت هم‌افزایی و همچنین معرفی پژوهش‌های انجام شده در این رشته و دستاوردهای آن به علاقه‌مندان و ترویج آن؛ از همه اساتید، پژوهشگران و دانشجویان در رشته‌های مهندسی مکانیک بیوسیستم، مهندسی مکانیزاسیون، مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی و رشته‌های مرتبط دعوت می‌شود جهت ارسال مطالب خود به نشریه علمی ترویجی صنعت سبز نوین از طریق راه‌های ذکر شده اقدام فرمایند.

همچنین از شماره‌های گذشته، بخشی با نام «دست‌آورد» برای معرفی طرح‌ها و پژوهش‌های انجام شده با هدف معرفی توانایی‌های دانشجویان در این رشته به صورت ثابت به نشریه اضافه شده است که علاقه‌مندان می‌توانند طرح‌ها و دستاوردهای خود را در این بخش با نام خود معرفی نمایند.

نحوه ارسال مطالب:

- مراجعه به سایت رسمی نشریه به نشانی sanatsabzsj.ut.ac.ir و بخش ارسال مقالات
- ارسال مقاله به ایمیل نشریه به نشانی: sanat.sabz.pub@gmail.com

جهت کسب اطلاعات بیشتر، می‌توانید به شماره‌های پیشین نشریه که در سایت و تلگرام نشریه موجود است، مراجعه کرده و با آی دی تلگرام [@sanatsabznovin](https://t.me/sanatsabznovin) یا شماره ۰۹۰۳۷۰۲۵۷۳۹ در ارتباط باشید.

راه‌های ارتباطی نشریه:

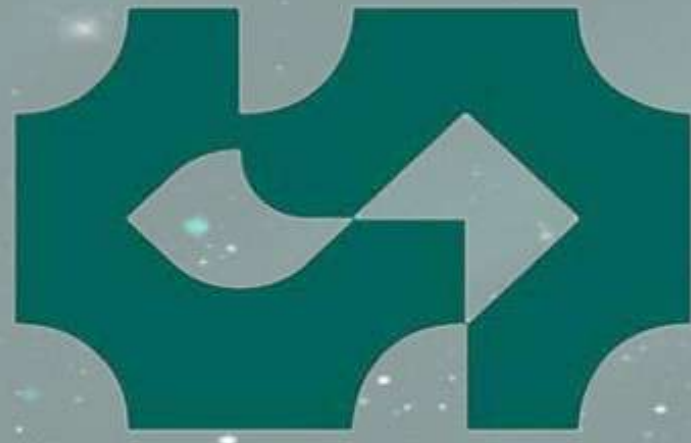
 sanat.sabz.pub@gmail.com

 <http://sanatsabzsj.ut.ac.ir>

  SanatSabz_UT

 ۰۹۰۳۷۰۲۵۷۳۹





SORENA
AGRICULTURE
MACHINES COMPANY

- تولید و تعمیر انواع دستگاه های کشاورزی و بسته بندی



همدان، سردرود
روستای خورونده

آشتیانی ۰۹۱۸۲۹۰۹۰۰۷
طیپی ۰۹۱۲۰۳۵۵۶۰۵



سورنا

گروه تولیدی دستگاه های سورتنینگ
سیب زمینی و بسته بندی میوه و مرکبات