مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی
جلد اول، شماره دوم، تابستان ۸۸
۱۲۱-۱۳۸
www.ejfpp.info

استفاده از نرم‌افزار Excel در طراحی و بهینه‌سازی خشک‌کن تسمه‌ای

محمد مزیدی[۱]، امین طاهری‌گراوند[۲] و *سیدمهدی جعفری[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران،
[۳]استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۱۳

چکیده

در این پروژه، ابتدا یک قاعده کلی برای طراحی فرآیند خشک کردن مطرح شد و سپس برای اجرای طراحی از محیط Excel استفاده شده است. یکی از خشک‌کن‌های متداول در صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی، خشک‌کن تسمه‌ای است که در پژوهش حاضر، برای خشک کردن هویج به‌عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. از طریق نرم‌افزار Excel می‌توان تابع هدف (هزینه سالیانه کل) را بهینه کرده و تأثیر متغیرهای طراحی برروی تابع هدف را مشاهده کرد. تعداد متغیرهای طراحی را می‌توان با تجزیه تحلیل درجه آزادی به‌دست آورد. در این مقاله جهت بهینه‌سازی تابع هدف به بررسی معادلات مربوط به گرم‌کن، خشک‌کن تسمه‌ای، فن، موتور محرکه تسمه، الزامات انرژی الکتریکی و معادلات مربوط به هزینه‌ها از جمله هزینه کاری سالیانه، هزینه ماشین‌آلات، فاکتور برگشت سرمایه و در نهایت هزینه کل سالیانه اقدام شده است. بعد از بررسی پارامترهای مختلف، به این نتیجه رسیدیم که از بین متغیرهای طراحی تنها با افزایش مقدار رطوبت هوا، هزینه سالیانه کل کاهش می‌یابد و با افزایش دما، سرعت هوای خشک‌کن و عرض تسمه، هزینه سالیانه کل افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: طراحی خشک کردن، مدل‌سازی، بهینه‌سازی، تجزیه و تحلیل هزینه‌ها، Excel

* مسئول مکاتبه: smjafari@gau.ac.ir

مقدمه

امروزه از خشک کردن برای از بین بردن فساد میکروبی و کاهش سرعت واکنش‌های مضر که به‌دلیل وجود رطوبت در مواد غذایی است، استفاده می‌شود. مواد غذایی خشک شده دارای وزن و حجم کمتری هستند که در نتیجه نگهداری و حمل و نقل آن‌ها راحت‌تر است. از آنجایی‌که حذف رطوبت با کیفیت محصول رابطه دارد در نتیجه فرآیند خشک کردن باید با مهارت انجام گیرد (مرتضوی و همکاران، ۱۹۹۸). یکی از خشک‌کن‌های متداول در صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی، خشک‌کن تسمه‌ای است. این خشک‌کن‌ها از نوع لایه نازک هستند، یعنی محصول به‌صورت دانه‌ها یا قطعه‌هایی برروی سطح تسمه با لایه نازکی تشکیل می‌شوند. در نتیجه تمام محصول تحت شرایط یکسان خشک‌کنندگی قرار می‌گیرد. از مزایای این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان به ۱- مستقل بودن از شرایط محیط، ۲- انجام سریع فرآیند، ۳- بالا بودن ظرفیت خشک‌کنندگی به‌ازای توان مصرفی دمنده و ٤- به‌کارگیری برای نگهداری کوتاه‌مدت و بلندمدت دانه‌ها، اشاره نمود (عسگری‌اصلی‌ارده، ۲۰۰۵).

بهینه‌سازی فرآیند جز با تحلیل و شناخت فاکتورهای تأثیرگذار در طراحی امکان‌پذیر نیست. طراحی به کمک کامپیوتر بر مبنای شبیه‌سازی کامپیوتری می‌باشد که خود بر پایه مدل‌سازی فرآیند است. مدل‌سازی، روشی برای ترجمه قوانین فیزیکی فرآیند به شکل معادلات ریاضی است. شبیه‌سازی، نرم‌افزار مناسبی است که کارایی واقعی یک فرآیند را حدس می‌زند. طراحی، روشی است برای تعیین اندازه وسرعت یک فرآیند به‌منظور دست‌یابی به هدفی خاص.

نرم‌افزارهای کامپیوتری این امکان را به مهندسان می‌دهد که تمرکز بیش‌تری را برروی برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و تفسیر اطلاعات بگذارند. از طریق نرم‌افزارهای کامپیوتری می‌توان یک عملیات فرآوری و یک فرآیند کامل را شبیه‌سازی کرد. یک مهندس طراح می‌تواند برای حل یک مشکل، خود یک زبان برنامه‌نویسی ابداع کند که به‌دلیل وقت‌گیر بودن توصیه می‌شود از نرم‌افزارهای موجود استفاده شود. نرم‌افزارهای صفحه گسترده گزینه مناسبی برای مهندسان می‌باشند. در حال حاضر به‌دلیل سهولت استفاده، قیمت مناسب این نرم‌افزارها و در دسترس بودن کامپیوترهای شخصی، استفاده از این نرم‌افزارها رو به گسترش است (ساندرز، ۲۰۰٦). یکی از نرم‌افزارهای چندمنظوره، Microsoft Excel همراه با Visual Basic است. این بسته نرم‌افزاری دارای ابزار مربوط به کاربردهای ریاضی و آماری است (بلاچ، ۲۰۰۰؛ لانگمی، ۱۹۹۷).

ایده یک صفحه گسترده الکترونیکی برای دسته‌بندی اطلاعات و انجام محاسبات داده به سال ۱۹۶۱ که توسط Mattesich انجام شده برمی‌گردد (اندرو، ۲۰۰۱). محققی به‌نام دارکو ولیک و همکارانش (۲۰۰۳) به‌منظور کاهش هزینه‌های اجرایی از برنامه Excel استفاده کردند تا فرآیند خشک کردن بهبود یابد. مارولیز و ساراواکز (۲۰۰۲) برروی متغیرهای طراحی خشک‌کن با استفاده از یکی نرم‌افزارهای صفحه گسترده تحقیق کردند. بلیک وگلاوز (۱۹۹۲) برروی بهینه‌سازی قوی برای اجرای فرآیند خشک کردن پاششی با هدف حفاظت از انرژی مطالعاتی انجام دادند.

طراحی فرآیند خشک کردن نیازمند تحلیل دقیق انتقال جرم و حرارت در داخل ساختمان محصول است. یکی از مهم‌ترین پارامترها در خشک کردن مواد غذایی رطوبت تعادلی است که نقطه پایانی فرآیند را مشخص می‌کند. دمای هوای خشک‌کن نیز یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر در فرآیند خشک کردن می‌باشد. با افزایش دما رطوبت محصول کاهش می‌یابد و سرعت خشک شدن افزایش پیدا می‌کند. علاوه‌بر دمای هوا، تغییر سرعت هوای خشک‌کن نیز که وابسته به توان دمنده است موجب تغییر در ظرفیت خشک‌کن می‌شود. از مشخصات مهم فیزیکی خشک‌کن تسمه‌ای، عرض تسمه است که در رابطه مستقیم با ظرفیت محصول خشک رابطه مستقیم دارد.

جدول ۱- تجزیه و تحلیل درجه آزادی.

تعداد کل متغیرها	M
تعداد کل معادلات	N
درجه آزادی	F = M-N

درجه آزادی	F
مشخصات مسأله	K
متغیرهای طراحی	D = F-K

امروزه طراحان و صاحبان صنایع با بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر بازده کار، اقدام به بهینه‌سازی اهداف مورد نظر خود می‌کنند. این اهداف می‌تواند کیفیت محصول، کمیت محصول و هزینه تمام شده جهت تولید محصول باشد. هزینه کل سالیانه، هدفی است که در این مقاله بهینه شده است و پارامترهای مؤثر بر این هدف از طریق تجزیه و تحلیل درجه آزادی به‌دست می‌آیند. این مقاله به دو

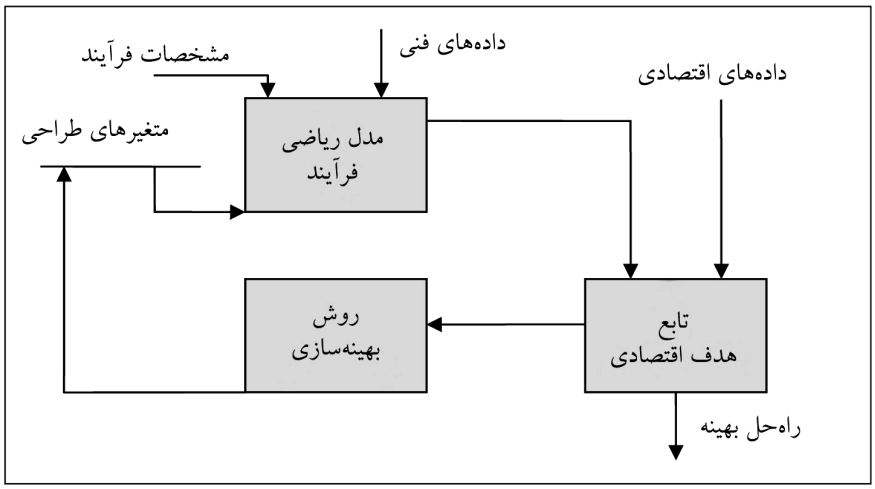
موضوع می‌پردازد: یک قاعده کلی برای طراحی فرآیند خشک کردن و سپس یک قاعده برای اجرای طراحی در محیط Excel.

اصول مدل‌سازی و طراحی فرآیند به کمک Excel: در جدول ۱ تجزیه و تحلیل درجه آزادی ارایه شده است. درجه آزادی تعیین‌کننده تعداد متغیرهای طراحی فرآیند می‌باشد (جعفری، ۲۰۰۹). تعداد درجه‌های آزادی یک جسم برابر است با حداقل تعداد مختصات مستقل که موقعیت آن جسم را به‌طور کامل تعیین می‌نماید. از بین متغیرهای یک سیستم باید آن دسته از متغیرها را به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب نمود که توسط متغیرهای دیگر به‌دست نیایند و در رابطه مؤثر با تابع هدف باشند (مارولیز و ساراواکز، ۲۰۰۲).

اصول بهینه‌سازی فرآیند در شکل ۱ ارایه شده است. این اصول را می‌توان در یک محیط صفحه گسترده پیاده کرد. در این رابطه، چهار بخش مجزا، قابل تفکیک از همدیگر بوده و هر یک در صفحه گسترده‌ای جدا پیاده خواهد شد (لینگمی، ۱۹۹۷). قلب محاسبات سامانه، "صفحه کاری مدل فرآیند" است که دربرگیرنده مدل فرآیند می‌باشد. با بروز هر گونه تغییر در متغیرهای ورودی (متغیرهای آزاد)، حل مسأله به‌صورت خودکار برروی همان صفحه کاری انجام خواهد شد. از آنجایی‌که برای استفاده از شبیه‌ساز نیاز به حل مسایل متفاوتی است، برخی از این مسایل در "فضای حل مسأله در Visual Basic" فرموله می‌شوند. حل آن‌ها بر مبنای ساده‌ترین مسأله موجود در "صفحه کاری مدل فرآیند" بوده و از ابزار Solver یا Goal Seek موجود در Excel از طریق برنامه Visual Basic استفاده می‌شود تا راه‌حلی برای مسایل مربوطه به‌دست آید. تمام داده‌های فنی و متفرقه مورد نیاز از "صفحه کاری بانک اطلاعاتی" بازخوانی می‌شود. این صفحه حاوی تمام اطلاعات مورد نیاز به شکل"فهرست داده‌ها" می‌باشد. می‌توان با استفاده از جعبه‌های dialog مناسب، این داده‌ها را توسعه داده و یا اصلاح نمود.

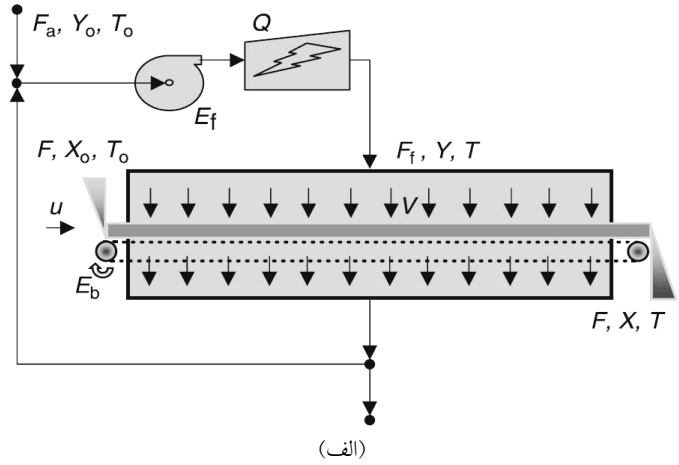
"صفحه کاری سطح تماس گرافیکی" یک راه مناسب و ساده برای برقراری ارتباط بین انسان و دستگاه می‌باشد. این صفحه معمولاً حاوی سه قسمت است: (الف) مشخصات مسأله: در این قسمت، مشخصات و داده‌های مورد نیاز برای حل مسأله مورد نظر توسط کاربر وارد شده و یا از بانک‌های اطلاعاتی تخمین زده می‌شود. داده‌های یادشده از طریق جعبه‌های dialog و یا صفحه کلید وارد شده و می‌توان آن‌ها را کم یا زیاد نمود. (ب) انتخاب نوع مسأله: انتخاب نوع مسأله‌ای که قرار است حل شود، از طریق کلیدها انجام می‌گیرد. (ج) ارایه نتایج: نتایج به‌طور خودکار به‌دست آمده و به شکل جدول یا نمودار ارایه می‌شوند. از آنجایی‌که نمودارهای مربوطه به‌صورت خودکار به روز در می‌آیند،

کاربر تمام اطلاعات مورد نیاز جهت تعیین اندازه سرعت، تجزیه و تحلیل تأثیر متغیرها و یا مقایسه راه‌حل‌های مختلف را به‌راحتی در اختیار دارد (اندرو، ۲۰۰۱).

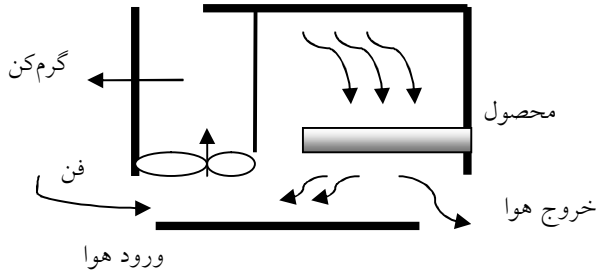


شکل ۱- نمودار جریان اطلاعات برای بهینه‌سازی فرآیند.

شرح فرآیند: در شکل ۲، یک نمودار جریان ساده از خشک‌کن تسمه نقاله‌دار نشان داده شده است. محصول مرطوب ورودی دارای شدت جریان F (db کیلوگرم بر ثانیه)، دمای $T_.$ (درجه سانتی‌گراد) و رطوبت $X_.$ (db کیلوگرم بر کیلوگرم) بوده و در هنگام ورود به خشک‌کن، برروی تسمه پخش می‌شود. محصول خشک شده نیز با همان شدت جریان مشابه F (db کیلوگرم بر ثانیه) بر مبنای وزن خشک، دمای T (درجه سانتی‌گراد) و میزان رطوبت X (db کیلوگرم بر کیلوگرم) از خشک‌کن خارج می‌گردد. سرعت حرکت تسمه برابر با u (متر بر ثانیه) بوده و برای حرکت به توان الکتریکی E_b (کیلووات) نیاز دارد. هوا نیز با شدت جریان F_f (db کیلوگرم بر ثانیه)، دمای T (درجه سانتی‌گراد) و رطوبت Y (db کیلوگرم بر کیلوگرم) وارد خشک‌کن می‌شود. دمای هوا در بخش گرم‌کن و رطوبت هوا از طریق شدت جریان هوای تازه F_a (db کیلوگرم بر ثانیه) کنترل می‌شود. توان الکتریکی مورد نیاز فن برابر با E_f (کیلووات) بوده و توان حرارتی برابر Q (کیلووات) در گرم‌کن مصرف می‌شود. همان‌طورکه در منحنی برش عرضی خشک‌کن در شکل ۲ (ب) نمایش داده شده است، به‌دلیل جریان هوای زیاد می‌توان شرایط هوا در طراحی فرآیند را ثابت در نظر گرفت.



(الف)



(ب)

شکل ۲- تصویری شماتیک از یک خشک‌کن تسمه‌ای: (الف) نمودار جریان ساده؛ (ب) نمایی از برش عرضی آن.

مدل فرآیند: مدل ریاضی فرآیند در بخش ۱ جدول ۲ آمده است. از معادله E01 برای محاسبه فشار بخار در دمای خشک کردن استفاده می‌شود و معادله E02 معادله سایکرومتری است. از معادلات E01 و E02 برای محاسبه فعالیت آبی در شرایط خشک کردن، یعنی دمای T و رطوبت هوای Y استفاده می‌گردد. معادله E03 میزان رطوبت تعادلی ماده را در شرایط خشک کردن محاسبه می‌نماید اما معادله E04 جهت برآورد ثابت زمان خشک کردن در شرایط مورد نظر به‌کار می‌رود. از هر دو معادله E03 و E04 در معادله E05 استفاده می‌شود که زمان مورد نیاز خشک کردن را محاسبه می‌کند. معادلات E06 و E07 موازنه رطوبت در خشک‌کن را بیان می‌کنند. معادله E06 در مورد مواد جامد و معادله E07 برای هوا به‌کار می‌رود.

خلاصه‌ای از نیازهای مربوط به انرژی حرارتی در هنگام خشک کردن نیز در معادلات E08 تا E11 آمده است. معادله E08 مربوط به تبخیر آب، معادله E09 مربوط به حرارت‌دهی مواد جامد، معدله E10 مربوط به حرارت‌دهی هوای برگشتی و معادله E11 مربوط به کل انرژی مورد نیاز گرم‌کن می‌باشد. از معادله E12 برای تعیین اندازه گرم‌کن استفاده می‌شود. معادله‌های E13 تا E17 جهت محاسبه اندازه تسمه نقاله به‌کار می‌روند. معادله E13 رابطه بین زمان ماندن با جرم کلی محصول در داخل خشک‌کن و معادله E14 رابطه بین جرم کلی و حجم کلی محصول در داخل خشک‌کن را نشان می دهد.

جدول ۲- اطلاعات فرآیند خشک کردن هویج در خشک‌کن تسمه‌ای.

بخش ۱- مدل خشک‌کن تسمه‌ای.	
معادلات سایکرومتری	
$P_S = \exp[a_1 - a_2/(a_3 + T)]$	(E01)
$Y = m a_w P_s/(P - a_w P_s)$	(E02)
سینیتیک خشک کردن	
$X_e = b_1 \exp[b_2/(273 + T)][a_w/(1 - a_w)]^{b_3}$	(E03)
$t_c = c_0 D^{c_1} V^{c_2} T^{C_3} Y^{C_4}$	(E04)
$t = -t_c \ln[(X - X_e)/(X_0 - X_e)]$	(E05)
موازنه جرم	
$W = F(X_0 - X)$	(E06)
$W = F_a (Y - Y_0)$	(E07)
الزامات انرژی حرارتی	
$Q_{we} = F(X_0 - X)[\Delta H_0 - (C_{PL} - C_{PV})T]$	(E08)
$Q_{sh} = F[C_{PS} + X_0 C_{PL}](T - T_0)$	(E09)
$Q_{ah} = F_a[C_{PA} + Y_0 C_{PV}](T - T_0)$	(E10)
$Q = Q_{we} + Q_{sh} + Q_{ah}$	(E11)
گرم کن هوا	
$Q = A_S U_S (T_S - T)$	(E12)

ادامه جدول ۲- اطلاعات فرآیند خشک کردن هویج در خشک‌کن تسمه‌ای.

خشک‌کن تسمه‌ای	
$M = tF(1 + X_1)$	(E13)
$M = (1 - \varepsilon)\rho_S H$	(E14)
$H = Z_1 DL$	(E15)
$A_b = LD$	(E16)
$u_b = L / t$	(E17)
فن	
$\Delta P = f_1 Z_1 V^2$	(E18)
$F_i = \rho_a VDL$	(E19)
$E_f = \Delta P F_F / \rho_a$	(E20)
موتور محرکه تسمه	
$E_b = e_1 L(1 + X_1)F$	(E21)
الزامات انرژی الکتریکی	
$E = E_b + E_f$	(E22)
اندیس‌های کارایی	
$n = Q_{we} / Q$	(E23)
$r = W / A_B$	(E24)

بخش ۲- داده‌های مربوط به فرآیند.

دانسیته (کیلوگرم بر مترمکعب)	
آب	$\rho_W = 1000$
هوا	$\rho_a = 1$
ماده خشک	$\rho_s = 1750$
گرمای ویژه (کیلوژول بر کیلوگرم کلوین)	
آب	$C_{PL} = 4/20$
بخار آب	$C_{PV} = 1/90$
هوا	$C_{pa} = 1/00$
ماده خشک	$C_{PS} = 2/00$
گرمای نهان (میلی‌ژول بر کیلوگرم)	
کندانس شدن بخار در صفر درجه سانتی‌گراد	$\Delta H_1 = 2/50$

ادامه جدول ۲- اطلاعات فرآیند خشک کردن هویج در خشک‌کن تسمه‌ای.

سایر مواد	
ضریب انتقال حرارت در گرم‌کن هوا (کیلووات بر مترمکعب کلوین)	$U_S = ۰/۱۰$
فضای خالی	$\varepsilon = ۰/٤۰$
اعداد ثابت تجربی	
معادله Antoine برای فشار بخار آب	$a_۱ = ۱/۱۹\ ۱۰$
	$a_۲ = ۳/۹۹\ ۱۰^{۳}$
	$a_۳ = ۲/۳٤\ ۱۰^{۲}$
معادله Oswin برای ایزوترم‌های ماده	$b_۱ = ۷/۳۵\ ۱۰^{-٤}$
	$b_۲ = ۱/۷۵\ ۱۰^{۳}$
	$b_۳ = ٤/۰۰\ ۱۰^{-۱}$
معادله سینتیک خشک کردن	$c_۰ = ۰/۵۰;\ c_۱ = ۱/٤۰$
	$c_۲ = -۱/٦۵;\ c_۳ = -۰/۲۵$
	$c_۲ = ۰/۱۲$
معادله توان تسمه	$e_۱ = ۲/۰۰$
معادله افت فشار	$f_۱ = ۲/۰۰$

بخش ۳- مشخصات فرآیند.

شدت جریان خوراک ورودی (db تن بر ساعت)	$F = ۰/۰۱$
میزان رطوبت اولیه محصول (db کیلوگرم بر کیلوگرم)	$X_۰ = ۱۰/۰$
میزان رطوبت نهایی محصول (db کیلوگرم بر کیلوگرم)	$X = ۰/۱۰$
اندازه مشخصه ماده (متر)	$d = ۰/۰۱$
دمای محیط (درجه سانتی‌گراد)	$T_۰ = ۲۵/۰$
رطوبت محیط (db کیلوگرم بر کیلوگرم)	$Y_۰ = ۰/۰۱$
عمق بارگیری (متر)	$Z_۰ = ۰/۲۰$
فشار محیط (بار)	$P = ۱/۰۰$
دمای بخار حرارتی (درجه سانتی‌گراد)	$T_s = ۱٦۰$

بخش ٤- تجزیه و تحلیل درجه آزادی.

(۱۳) درجه آزادی = (۲٤) معادلات فرآیند - (۳۷) متغیر فرآیند

(٤) متغیر طراحی = (۹) مشخصات معلوم - (۱۳) درجه آزادی

ادامه جدول ۲- اطلاعات فرآیند خشک کردن هویج در خشک‌کن تسمه‌ای.

بخش ۵- متغیرهای طراحی.	
رطوبت هوای خشک (db کیلوگرم بر کیلوگرم)	$Y = ۰/۰۴۵$
دمای هوای خشک (درجه سانتی‌گراد)	$T = ۶۵/۰$
سرعت هوای خشک (متر بر ثانیه)	$C_{eq} = C_{bel} A^{n_{bel}} + C_{exc} A_s^{n_{exc}} + C_{fan} E_f^{n_{fan}} = ۱/۵۰$
عرض تسمه (متر)	$D = ۲/۰۰$
بخش ۶- تجزیه و تحلیل هزینه‌ها.	
هزینه ماشین‌آلات (F01)	$C_{eq} = C_{bel} A^{n_{bel}} + C_{exc} A_s^{n_{exc}} + C_{fan} E_f^{n_{fan}}$
هزینه کاری سالانه (F02)	$C_{op} = (C_s Q + C_e E) t_y$
کل هزینه سالیانه (تابع هدف) (F03)	$TAC = eC_{eq} + C_{op}$
فاکتور برگشت سرمایه (F04)	$e = \frac{i_r (۱ + i_r)^{t_f}}{(۱ + i_r)^{t_f} - ۱}$
بخش ۷- داده‌های مربوط به هزینه‌ها.	
هزینه سرویس‌های جانبی	
هزینه برق (ریال/kWh)	$C_e = ۳۰۰$
هزینه بخار حرارتی (ریال/kWh)	$C_s = ۲۰۰$
هزینه واحد ماشین‌آلات	
خشک‌کن تسمه‌ای (ریال/ مترمربع)	$C_{bel} = ۱۰/۰۰۰/۰۰۰$
مبدل‌های حرارتی (ریال/ مترمربع)	$C_{exc} = ۲/۰۰۰/۰۰۰$
فن (ریال/kW)	$C_{fan} = ۱/۰۰۰/۰۰۰$
فاکتور مقیاس اندازه ماشین‌آلات	
خشک‌کن تسمه‌ای	$n_{bel} = ۰/۹۵$
مبدل حرارتی	$n_{exc} = ۰/۶۵$
فن	$n_{fan} = ۰/۷۵$

ادامه جدول ۲- اطلاعات فرآیند خشک کردن هویج در خشک‌کن تسمه‌ای.

سایر موارد	
زمان کاری سالانه (h/yr)	$t_y = ۲۵۰۰$
نرخ بهره	$i_r = ۰/۱۵$
عمر مفید (yr)	$l_f = ۵$
بخش ۸- نتایج تجزیه و تحلیل هزینه‌ها.	
هزینه ماشین‌آلات	
خشک‌کن تسمه‌ای (ریال/kWh)	$C_{bel} = ۱۰/۰۰۰/۰۰۰$
مبدل حرارتی (ریال/kWh)	$C_{exc} = ۲/۰۰۰/۰۰۰$
فن	$n_{fan} = ۱۰/۰۰۰/۰۰۰$
کل هزینه ماشین‌آلات (ریال)	$C_{eq} = ۲۲۹٤۹۱۰۸۹$
هزینه کاری	
هزینه برق (ریال/kWh)	$C_e = ۳۰۰$
هزینه بخار حرارتی (ریال/kWh)	$C_s = ۲۰۰$
کل هزینه کاری (ریال/kWh)	$C_{op} = ٤۷۸۲۲۱٤۹$
تابع هدف	
هزینه سالیانه ماشین‌آلات	$eC_{eq} = ٦۸٤٦۰۷٦۱$
هزینه کاری	$C_{op} = ٤۷۸۲۲۱٤۹$
کل هزینه سالیانه	TAC=116282910

این معادله‌ها برای تمام انواع خشک‌کن‌ها معتبر هستند. معادله E15 بیانگر توزیع هندسی حجم کلی محصول برروی تسمه می‌باشد. معادله E16 برای محاسبه مساحت مورد نیاز تسمه و معادله E17 جهت محاسبه سرعت مورد نیاز تسمه برای تامین زمان ماندن مطلوب به‌کار می‌رود.

معادله‌های E18 تاE20 در تعیین اندازه فن استفاده می‌شوند. از معادله E18 برای محاسبه افت فشار هوای عبوری از میان توده محصول برروی تسمه استفاده می‌گردد. معادله E19 رابطه بین شدت جریان هوا با سرعت هوا را نشان می‌دهد. معادله E20 نیز برای برآورد توان الکتریکی مورد نیاز جهت حرکت فن استفاده می‌شود. معادله E21 توان الکتریکی لازم برای حرکت تسمه را محاسبه می‌کند. معادله E22 کل توان الکتریکی مورد نیاز را محاسبه می‌نماید. بالاخره معادله‌های E23 و E24 دو

شاخص مهم و بحرانی کارایی خشک‌کن را تعریف می‌کنند. معادله E23 کارایی حرارتی خشک‌کن و معادله E24 ظرفیت تبخیر را به‌ازای واحد سطح تسمه نقاله محاسبه می‌کند.

در این مدل، ۳۷ متغیر همراه با ۲٤ معادله ارایه شده است. خلاصه‌ای از داده‌های فنی مربوطه در جدول ۲ آمده است. مشخصات فرآیند برای این پروژه طراحی در جدول ۲ داده شده است و تجزیه و تحلیل درجه آزادی نیز در جدول ۲ دیده می‌شود که نشانگر وجود ٤ متغیر طراحی است. جدول ۲ پیشنهاد می‌کند که متغیرهای طراحی چگونه انتخاب شوند. هزینه کل سالیانه (TAC) در جدول ۲ به‌عنوان تابع هدف در بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد. خلاصه‌ای از داده‌های هزینه‌ای مورد نیاز در جدول ۲ و نتایج تجزیه و تحلیل هزینه در جدول ۲ آمده است.

پیاده‌سازی مسأله در Excel

۱- آماده کردن فایل مورد نظر

۲- مدل کردن فرآیند در یک صفحه گسترده

۳- استفاده از ابزار Solver برای بهینه‌سازی فرآیند

٤- استفاده از جداول و نمودارها برای ارایه نتایج

۵- آماده‌سازی و تکمیل یک سطح تماس گرافیکی

مرحله ۱- آماده کردن فایل: در این مرحله یک فایل جدید به‌نام ((Drying.xls)) ایجاد نموده و مطابق جدول ۳، صفحات خالی را در این فایل ایجاد و نام‌گذاری می‌گردند.

جدول ۳- صفحات موجود در فایل ((Drying.xls)).

نام صفحه	هدف
صفحات گسترده	
• فرآیند	• مدل فرآیند
• نمودار جریان	• نمودار جریان فرآیند
• گزارش	• گزارش خلاصه نتایج
• کنترل	• سطح تماس گرافیکی
مدول‌های Visual Basic	
• بهینه‌سازی	• مسیرهای فرعی بهینه‌سازی فرایند
• کنترل‌ها	• مسیرهای فرعی جعبه‌های Dialog و کنترل‌ها

مرحله ۲- مدل کردن فرآیند در یک صفحه گسترده: در داخل صفحه گسترده ((فرآیند))، ۷ ناحیه جداگانه به‌شرح زیر در نظر گرفته می شود:

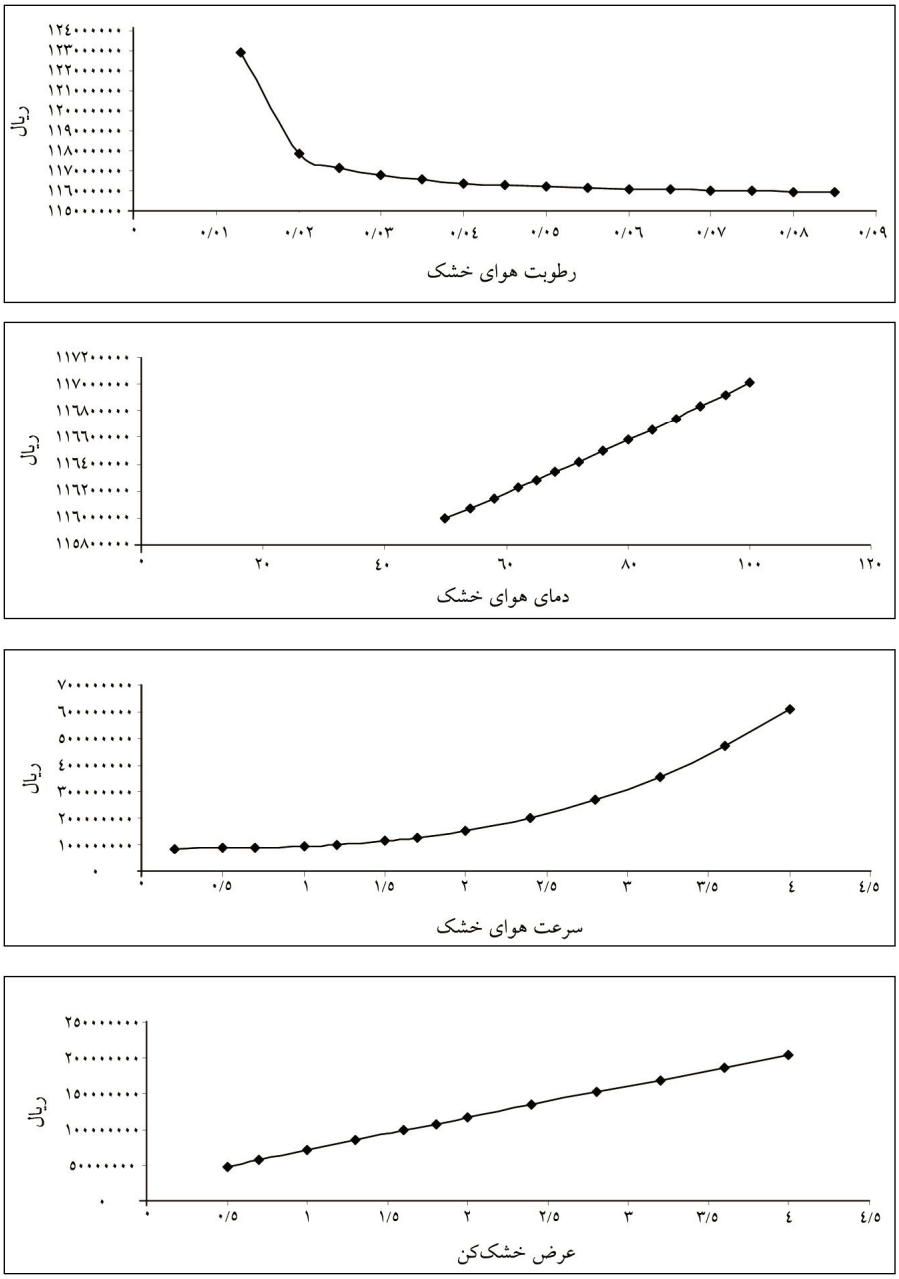
۱- داده‌های فنی، ۲- مشخصات فرآیند، ۳- مدل فرآیند، ٤- مدل اقتصادی، ٥- متغیرهای طراحی، ٦- داده‌های اقتصادی، ۷- حدود فرآیند

در ناحیه‌های مربوط به ((داده‌های فنی))، ((متغیرهای طراحی))، ((مشخصات فرآیند)) و ((داده‌های اقتصادی)) تنها یک سری داده وجود دارد. در ناحیه‌های ((مدل فرآیند))، ((حدود فرآیند)) و ((مدل اقتصادی)) نیز یک سری فرمول وجود دارند. با وارد کردن داده‌ها و فرمول‌ها، پیاده‌سازی مدل فرآیند تکمیل خواهد شد و صفحه گسترده به‌دست آمده یعنی صفحه ((فرآیند)) ظاهری شبیه شکل ۲ خواهد داشت. فلش‌های رسم شده نشانگر چگونگی جریان اطلاعات در صفحه گسترده هستند.

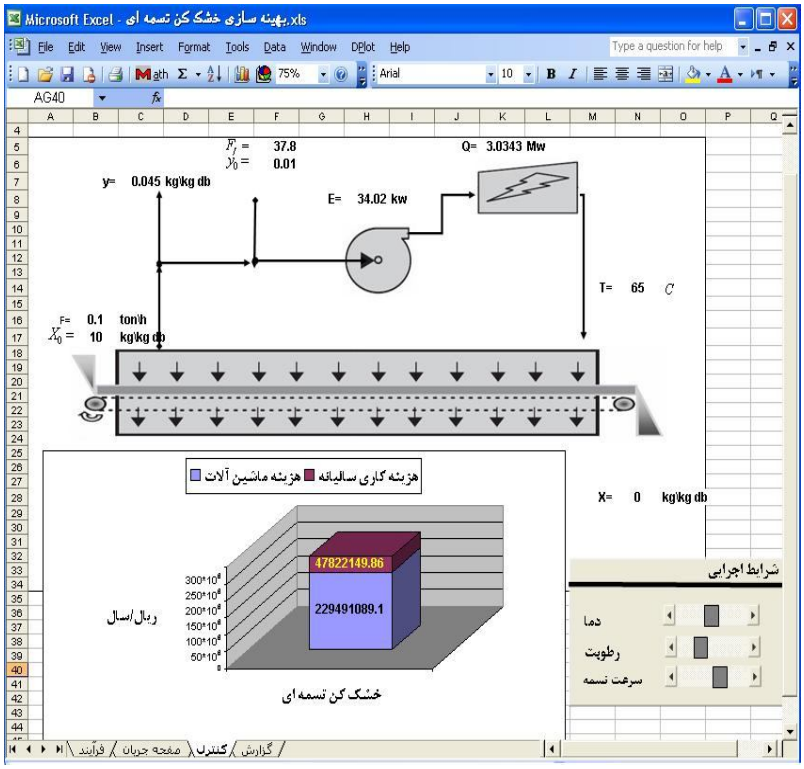
مرحله ۳- استفاده از ابزار Solver: برای به‌دست آوردن مقدار بهینه در تابع هدف از ابزار Solver در Excel استفاده می‌شود. با انتخاب تابع هدف در حالت Min به معنای کم‌ترین مقدار برای کل هزینه سالیانه و انتخاب متغیرهای طراحی به‌عنوان متغیرهای Solver مقدار بهینه به‌دست می‌آید. لازم به ذکر است که در ابزار Solver قسمتی برای قیدها در نظر گرفته شده است که می‌توان بر متغیرهای طراحی قیدهایی را اعمال کرد.

مرحله ٤- استفاده از جداول و نمودارها برای ارایه نتایج: می‌توان با ابزار جدول و نمودار اکسل، نتایج طراحی فرآیند را بیشتر مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (شکل ۳).

مرحله ٥- آماده‌سازی و تکمیل یک سطح تماس گرافیکی: می‌توان هر نوع سطح تماس گرافیکی مورد نظر را در صفحه گسترده ((کنترل‌ها)) تهیه و تکمیل نمود. از یک جعبه dialog به‌منظور اصلاح مقادیر مربوط به مشخصات فرآیند که در ناحیه ((مشخصات فرآیند)) در صفحه فرآیند قرار دارند، استفاده می‌شود (شکل ٤). همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود، با تغییر پارامترهای دما، رطوبت و سرعت هوای خشک کردن در صفحه control، میزان هزینه جاری و هزینه ماشین‌آلات تغییر کرده و هر کدام شامل سهمی از کل هزینه سالیانه می‌شوند.



شکل ۳- تاثیر متغیرهای طراحی بر کل هزینه سالیانه.

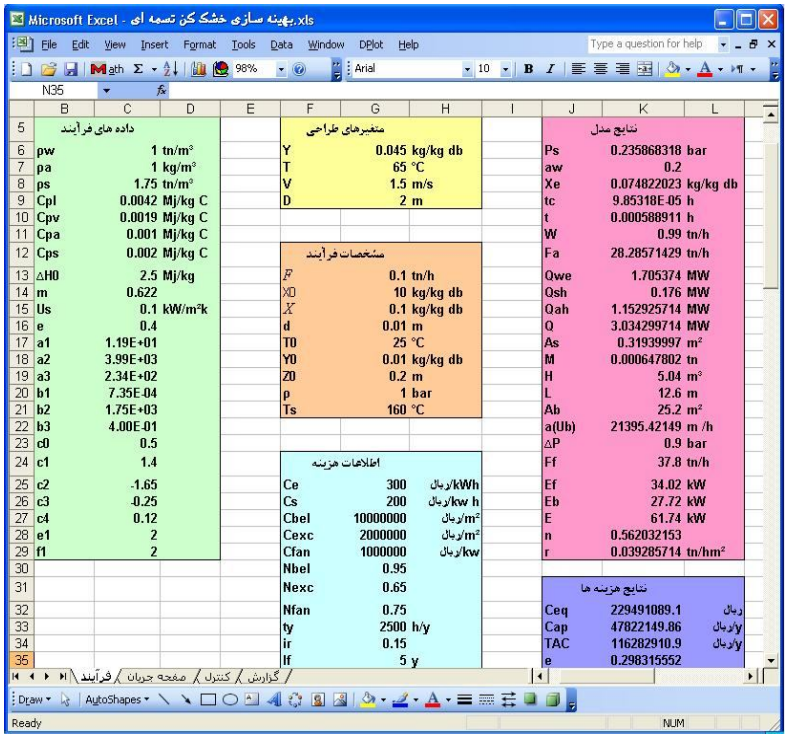


شکل ٤- جعبه dialog مشخصات فرآیند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بعد از مدل‌سازی و پیاده‌سازی پروژه طراحی خشک‌کن تسمه‌ای برای محصول هویج در محیط Excel بهترین شرایط برای به حداقل رساندن هزینه سالیانه کل عبارت است از: هوای خشک مورد نیاز با سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه، رطوبت مطلق ۰/۰٤٥ کیلوگرم بر کیلوگرم و دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد و عرض تسمه در خشک‌کن ۲ متر. همان‌طورکه مشهود است هزینه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در فرآیندهای صنعتی است. می‌توان از همین اصول در طراحی، مدل‌سازی و بهینه‌سازی سایر خشک‌کن‌ها و بسیاری از ماشین‌آلات به‌کار رفته در صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی استفاده نموده و هزینه‌ها را به حداقل رساند.

یکی از قسمت‌های مهم در بهینه‌سازی توسط ابزار Solver تعیین محدوده مجاز برای متغیرهای مستقل است. در این پژوهش محدوده‌ای که برای متغیرهای طراحی انتخاب شده است، براساس احتمالات واقعی در حین خشک کردن است. با استفاده از نرم‌افزارهای صفحه گسترده این قابلیت وجود دارد که به‌صورت آنی نتیجه تغییر در متغیرهای طراحی را مشاهده کرده و با استفاده از ابزار بهینه‌سازی موجود در این نرم‌افزارها اقدام به بهینه‌سازی تابع هدف مورد نظر در کم‌ترین زمان ممکن و با کم‌ترین هزینه کرد. طبق بررسی در منابع موجود در این پژوهش برای بهینه‌سازی از کدهای برنامه‌نویسی Macro استفاده شده است که جهت این کار باید با اصول برنامه‌نویسی به زبان Macro آشنا بود. در این پژوهش برای تسریع در امر بهینه‌سازی و سادگی اقدام به استفاده از ابزار Solver شده است. خلاصه‌ای از داده‌ها و نتایج مربوط به پروژه در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵- صفحه فرآیند (داده‌ها و نتایج).

منابع

Andrew, F.S. 2001. Spreadsheet Simulation. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference.

Askari asli ardeh, E. 1384. Postharvest Technology Cereals, Pulses, Fruits and Vegetables. Yavaran Publishing Co.

Bilic, M. and Glavas, G. 1992. Spray-drying simulation in spreadsheet. *Drying Technology*, 10: 2. 509-519.

Bloch, S.C. 2000. Excel for engineers and scientists. New York: John Wiley.

Darko Velic, Mate Bilic, Srecko Tomas, Mirela Planinic. 2003. Simulation, calculation and possibilities of energy saving in spray drying process.

Frye, C., Wayne, S. and Felicia, K., Buckingham. 2004. Microsoft Excel 2003 Programming Inside Out, Microsoft Press.

Jafari, S.M. 2008. Food Process Design, Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Liengme, B.V. 1997. A guide to Microsoft excels for scientist and engineers. London: Arnold.

Maroulis, Z.B. and Saravacos, G.D. 2002. Modeling, simulation and design of drying processes. Keynote Lecture at the 13th International Drying Symposium, IDS 2002, Beijing, China.

Saunders, S. 2006. Programming Excel with VBA and NET, Jeff Webb Publisher.

Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. and Mujumdar, A.S. 2003. Spreadsheet-Aided Dryer Design.

Mortazavi, A., Seifkordi, A., Kadkhodaei, R. and Shaffafi, M. 1378. Introduction to food Engineering. Ferdowsi University Press.

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

EJFPP., Vol. 1 (2): 121-138
www.ejfpp.info

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Application of Microsoft Excel in the Design and optimization of a Belt Dryer

M. Mazidi[1], A. Taheri Gravand[2] and [*]S.M. Jafari[3]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Mechanics of Agricultural Machinery, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]M.Sc. Student, Dept. of Mechanics of Agricultural Machinery, University of Tehran, [3]Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

In this project, first we introduced a general rule for the design of drying processes and then, we have applied Microsoft Excel for this purpose. Belt dryer is one of the most common dryers in the food industry. In this study, our aim was to process carrot by this dryer. We optimized the target function (total annual cost or TAC) and investigated the influence of design variables on this target function. This was done by preparation of the equations related to heater, belt dryer, fan, belt drive shaft, electrical energy requirements and cost analysis including the annual operating cost, equipment cost, investment return factor, and finally TAC. Our results revealed that among design variable, an increase in air humidity reduces the TAC and an increase in air temperature, drying air velocity, and belt width caused an increase in TAC.

Keywords: Dryer design; Modeling; Optimization; Cost analysis; Excel

[*] Corresponding Author; Email: smjafari@gau.ac.ir