



## بررسی سنتیک و مدل‌یابی خشک کردن ضایعات ماهی قزل‌آلا

رضا یحیایی<sup>۱</sup>، محمدهادی خوش‌تقاضا<sup>۲</sup>، برات قبادیان<sup>۲</sup> و سیدرضی کریمی‌آکندی<sup>۱</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

Email: r.yahyae@gmail.com

### چکیده

ضایعات ماهی قزل‌آلا جزء ضایعاتی محسوب می‌شوند که در بازارهای محلی ماهی‌فروشی به وفور وجود دارد. رطوبت این ضایعات بالا و در حدود ۶۵٪ می‌باشد. با خشک کردن این محصول می‌توان آنها را برای خوراک طیور و ماهی و غیره مورد استفاده قرار داد. ضایعات ماهی قزل‌آلا در دو حالت، در آب جوشانده شده و بدون جوشاندن قرار گرفت و سپس در آن تحت خشک شدن با دماهای ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و منحنی سنتیک در هر دما بدست آمد. زمان رسیدن به رطوبت ۱۰٪ برای دماهای ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس در حالت جوشاندن به ترتیب برابر ۲۴۰، ۱۴۰، ۱۲۵، ۹۵ دقیقه و برای حالت بدون جوشاندن به ترتیب ۲۴۰، ۱۲۰، ۲۲۰ و ۱۸۵ دقیقه گردید. مقدار ضریب انتشار از مدل انتشار فیک (*Fick*) این مقادیر برای ضایعات جوشانده شده در حدود  $16/66 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7/5$  و برای ضایعات جوشانده نشده در محدوده  $8/6 - 0/6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  بودند. مدل‌های ریاضی خشک کردن لایه‌های نازک به داده‌های خشک کردن اعمال و از نظر  $R^2$ ،  $SSE$  و  $RMSE$  مقایسه شدند. کلمات کلیدی: خشک کن، آون، ضایعات ماهی قزل‌آلا، مدل ریاضی

### مقدمه

فساد ضایعات مواد مختلف از جمله ضایعات ماهی، میوه و دور ریختنی‌های مواد غذایی، معضلی است که در شهرهای کوچک و بزرگ باعث بروز مشکلات زیست محیطی فراوانی می‌باشد. از آنجا که دانش پرورش ماهی قزل‌آلا در کشور پیشرفت نموده و قیمت تمام شده آن پایین آمده و هم‌ین‌طور گران‌تر شدن سایر مواد پروتئینی در بازار، گرایش به سمت مصرف ماهی قزل‌آلا افزایش یافته است. متأسفانه آمار دقیقی در مورد مصرف این نوع ماهی و ضایعات آن وجود ندارد. ولی طبق مشاهدات صورت گرفته از یک بازار محلی ماهی‌فروشی تنها ۷۰ کیلوگرم ضایعات ماهی قزل‌آلا دیده شده است. این ضایعات شامل سر و احشام داخلی ماهی می‌باشد. بعلت رطوبت بالای ۶۵٪ و روغن موجود در این ضایعات، فساد آنها سریع است و در صورت عدم تخلیه روزانه موجب مشکلات فراوانی می‌گردد. با رساندن رطوبت این ضایعات به ۷ الی ۱۰٪ فعالیت میکروارگانیسم‌ها بسیار کاهش می‌یابد (Titili, 2000).

تولید بیودیزل، کود کمپوست، تولید بیوگاز و سوزاندن آنها برای تولید انرژی جزء روش های مختلف استفاده از ضایعات ماهی در جهان می باشد. جهت سوزاندن ضایعات ماهی باید رطوبت آن تا حد معینی کاهش یابد. برای کود کمپوست، رطوبت ۱۰٪ بر پایه خشک می باشد (Premachandra, 2006). تولید بیودیزل و بیوگاز نیز نیازمند میزان رطوبت پایین است. فرآیند خشک کردن به عملیات جداسازی آب تحت حرارت گفته می شود. خشک کردن با آون جزء روش های شناخته شده ای است که برای میوهجات، سبزیجات و چوب کاربرد دارد. این روش دارای سطوح دمایی بالایی بوده و در برخی موارد دارای تهویه جهت بیرون راندن بخار متصاعد شده از ماده می باشد.

منحنی سنتیک خشک کردن دو نوع ماهی prawn و chelwa در برابر نور خورشید مورد مطالعه قرار گرفته است. منحنی نسبت خشک شدن مقدار ثابتی نداشته و نزولی بدست آمد. ضریب انتشار تخمینی از معادله Fick برای ماهی prawn و chelwa به ترتیب برابر  $11/11 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $8/708 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  بدست آمد. بین ضریب انتشار و متوسط میزان رطوبت رابطه نمایی برقرار بود (Bala and Price, 2006).

در این تحقیق منحنی سنتیک خشک شدن ضایعات ماهی قزل آلا بصورت های جوشانده شده در آب و بدون جوشاندن بدست آمد. عمده اهداف تحقیق به موارد زیر متمرکز می شوند:

- ۱- ارائه بهترین مدل خشک کردن جهت تشریح فرآیند خشک شدن
- ۲- محاسبه انتشار رطوبتی موثر ضایعات ماهی قزل آلا

### اختصارات

میزان رطوبت اولیه	$Mo(d.d.b)$	ضرایب ثابت	$a, b, c, \gamma, k, k_0, k_1$
مجذور متوسط مربعات خطا	RMSE	ضریب موثر انتشار	$D_{eff} (\text{m}^2/\text{s})$
نسبت رطوبت	MR	شیب منحنی	d
محتوای رطوبت تعادلی	(d.d.b.)	زمان (دقیقه)	t (min)
میزان رطوبت در هر لحظه	(d.d.b.) $M_c$	ضخامت (متر)	l (m)
جمع مربعات اشتباه	SSE	ضریب انطباق	$R^2$

### ملاحظات نظری

قانون دوم انتشار فیک (Fick) بطور گسترده ای جهت مدلسازی عملیات خشک کردن استفاده می شود. چندین مدل خشک کردن برای لایه های نازک سبزی ها و میوه ها بر این اساس حاصل شده است (Nguyen and Price, 2006; Roberts et al, 2008; Doymaz, 2004; Sacilik, 2007). معادله تعیین نرخ رطوبتی بصورت زیر می باشد:

$$MR = \frac{M_c - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \left[ \text{Exp} \left\{ -Dt \left( \frac{\pi^2}{l^2} \right) \right\} \right] \quad (1)$$

### وزن خشک - وزن اولیه

میزان رطوبت بر پایه خشک نیز از رابطه  $\frac{\text{وزن خشک}}{\text{وزن اولیه}}$  بدست می آید.

: (Ranasingha and Ariyaratne, 2009)

معادله (۱) را می توان به شکل رابطه زیر خلاصه نمود

$$MR = \frac{M_c - M_e}{M_0 - M_e} = A.e^{-kt} \quad (2)$$

ثابت انتشار رطوبتی ( $D_{eff}$ ) از شیب منحنی لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت- زمان بدست می آید. از این ثابت برای بیان سرعت خروج رطوبت از مواد در حین خشک شدن استفاده می شود و تحت تاثیر میزان رطوبت اولیه و حرارت می باشد. شیب منحنی به طریق زیر بدست می آید (Dilip et al, 2006; Doymaz, 2003):

$$\frac{8}{\pi^2} \sum \frac{1}{n^2} \cdot \text{Exp}\left(-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{D_{eff} \cdot t}{l^2}\right) MR = \frac{M_c - M_e}{M_0 - M_e} = \quad (3)$$

برای دوره های زمانی طولانی قسمت اول معادله (۳) را می توان به شکل ساده تر نوشت:

$$\text{Ln}\left(\frac{M_c}{M_0}\right) = \text{Ln}\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{l^2}\right) \quad (4)$$

ضریب موثر انتشار رطوبتی با روش شیب منحنی محاسبه می گردد. با رسم نمودار لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت - زمان و استفاده از معادله (۴)، شیب منحنی از رابطه (۵) حاصل می گردد:

$$\text{شیب منحنی} = \frac{D_{eff} \cdot \pi^2}{l^2} \quad (5)$$

برای معادله (۲)، مدل های مختلفی پیشنهاد شده است (جدول ۱). در این تحقیق داده های تجربی را با مدل های نامبرده تطبیق داده و بهترین مدل خشک شدن ضایعات ماهی ارائه می شود.

#### مواد و روش ها

ضایعات ماهی قزل آلا از ماهی فروشی های محلی تهیه گردید. میزان رطوبت اولیه بر اساس استاندارد *ASAE-S353* در آون در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۱۰ ساعت به دست آمد، که در حدود ۶۵٪ بود. ضایعات ماهی را به دو قسمت تقسیم می شود. یک بخش از آنها را دردیگ زودپز خانگی بمدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد. بعد از این عمل حدود ۸٪ روغن از آن جدا گردید. سپس نمونه های ۳۰ گرمی از آن جدا گردید و از بخش جوشانده نشده نمونه های ۵۰ گرمی وزن گردید. ۴ ظرف با نشانه A برای ماهی جوشانده شده و چهار ظرف با نشانه B را برای ماهی جوشانده نشده در آب تهیه شد، نمونه های وزن شده بصورت لایه ۳ میلی متری داخل ظروف و در آون دارای سیستم تهویه قرار گرفت. دماهای اعمالی در آون ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس انتخاب گردید. در زمان های ۵ دقیقه ای وزن ظروف در طی خشک شدن، اندازه گیری شد و این عمل تا رسیدن به میزان رطوبت ۱۰٪ ادامه داشت. داده های آزمایش با کمک نرم افزارهای *MATLAB* و *EXCEL* مورد تجزیه و تحلیل و تطبیق با مدل های معرفی شده در جدول (۱) قرار گرفت (جدول ۲).

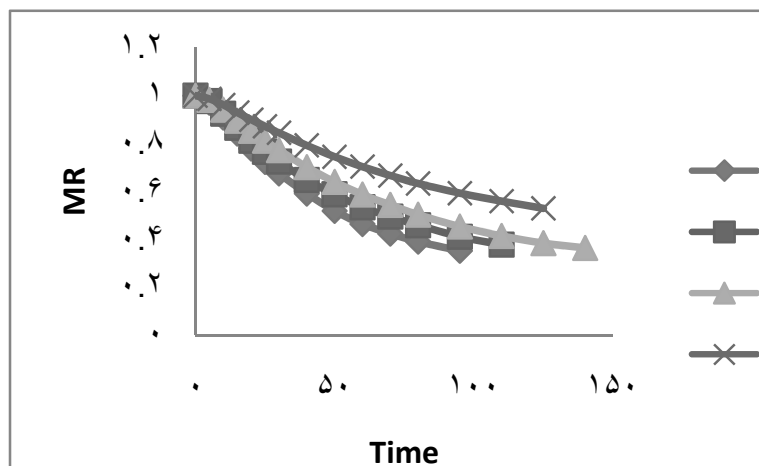
جدول ۱: مدل های مختلف خشک کردن

شماره مدل	معادله	نام مدل	مراجع
-----------	--------	---------	-------

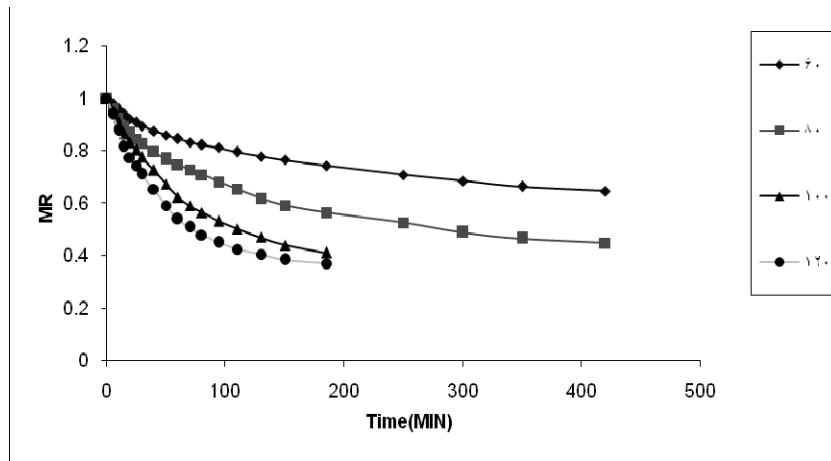
۱	$MR=\exp(-kt)$	Lewis	Ayensu (1997)
۲	$MR=\exp(-kt^y)$	Page	Diamante and Munro (1993)
۳	$MR=\exp(-(kt)^y)$	Modified Page	Ozdemir and Devres (1999)
۴	$MR=a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Henderson and Pabis (1961)
۵	$MR=a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	Yaldis, Ertekin, and Uzun (2001)
۶	$MR=a \exp(-kt) + \exp(-kt).b$	Two-term model	Togrul and Pehlivan (2002)

### نتایج و بحث

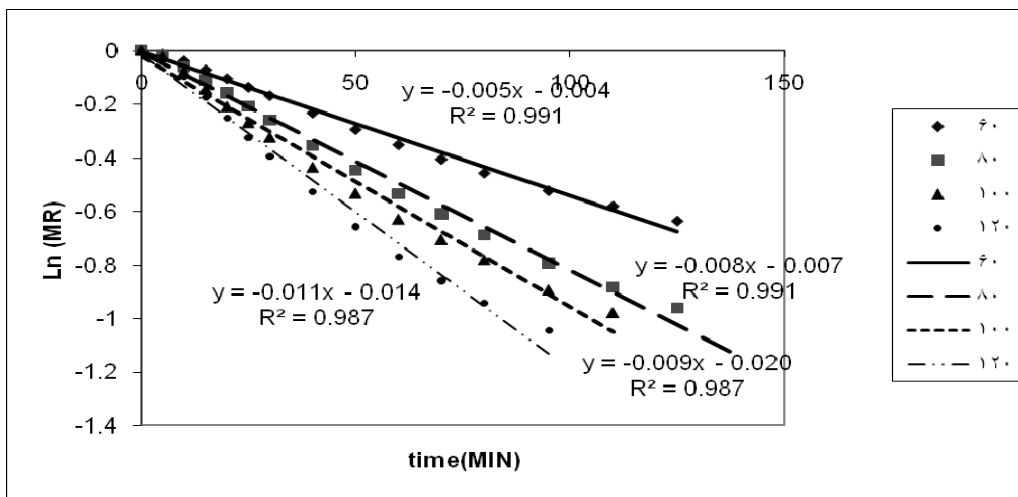
منحنی نسبت رطوبت- زمان و منحنی لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت - زمان در اشکال ۱ تا ۴ نشان داده شده است. منحنی خشک شدن نمونه‌های جوشانده شده و جوشانده نشده با یکدیگر متفاوت است و علت آنرا می‌توان در میزان روغن موجود در ضایعات دانست که باعث این تغییرات رفتاری می‌گردد. زمان لازم برای نمونه‌های جوشانده نشده جهت رسیدن به رطوبت ۱۰٪ در حدود ۲۸ ساعت و نمونه‌های جوشانده شده در حدود ۴ ساعت (نزدیک به ۷ برابر) می‌باشد. با افزایش دما شیب منحنی نسبت رطوبت - زمان در هر نمونه افزایش می‌یابد. در دمای ۹۰ درجه سلسیوس برای ضایعات جوشانده شده، بالاترین مقدار ضریب انتشار حاصل گردید. ضرایب انتشار در حالت‌های مختلف در جدول (۳) نشان داده شده است.



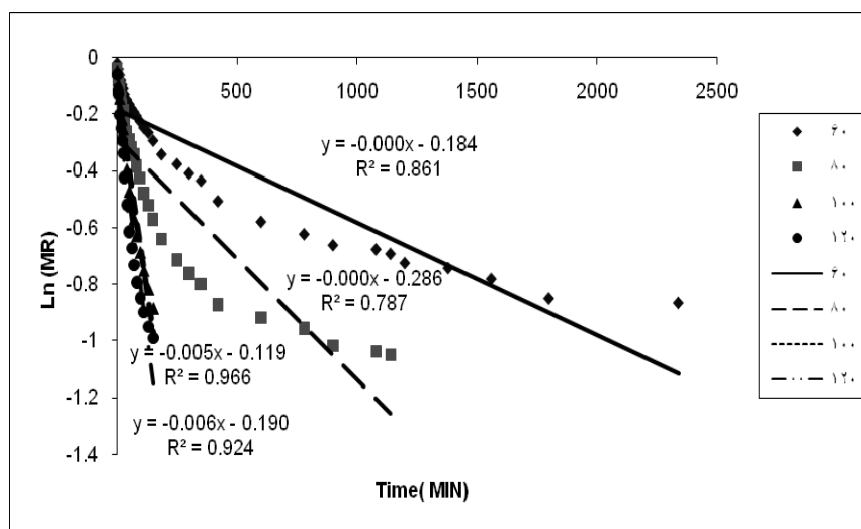
شکل (۱) منحنی نسبت رطوبت - زمان (ضایعات جوشانده)



شکل (۲) منحنی نسبت رطوبت - زمان (ضایعات جوشانده نشده)



شکل (۳) منحنی LN (MR) در مقابل زمان ضایعات جوشانده نشده



شکل (۴) منحنی LN (MR) در مقابل زمان ضایعات جوشانده نشده

جدول (۲) نتایج بدست آمده از مدل سازی ریاضی

حالت	شماره مدل	60			80			100			120		
		R <sup>2</sup>	S SE	R MSE	R <sup>2</sup>	S SE	R MSE	R <sup>2</sup>	S SE	R MSE	R <sup>2</sup>	S SE	RM SE
جوشانده شده	1	0.993	0.0023	0.0128	0.991	0.0062	0.02032	0.991	0.00529	0.02017	0.992	0.00509	0.0206
	2	0.994	0.0021	0.0127	0.992	0.0053	0.01949	0.993	0.00426	0.0188	0.992	0.0049	0.02111
	3	0.993	0.0021	0.0127	0.992	0.0053	0.0195	0.993	0.00426	0.01885	0.992	0.0049	0.02111
	4	0.998	0.0022	0.0132	0.991	0.0061	0.0203	0.991	0.00528	0.02099	0.992	0.0049	0.02185
	5	0.998	0.0006	0.0073	0.998	0.0013	0.01028	0.998	0.00123	0.01058	0.997	0.00195	0.01398
	6	0.998	0.0006	0.0077	0.998	0.0013	0.01028	0.991	0.00528	0.02299	0.997	0.00195	0.01398
جوشانده نشده	1	0.672	0.0869	0.0643	0.713	0.1834	0.0934	0.934	0.03733	0.0483	0.886	0.07631	0.06906
	2	0.993	0.0018	0.0096	0.987	0.0082	0.02036	0.991	0.00475	0.01781	0.982	0.0116	0.02781
	3	0.993	0.0018	0.0096	0.987	0.0082	0.02036	0.991	0.00476	0.01781	0.983	0.0116	0.02781
	4	0.891	0.0288	0.037	0.882	0.0752	0.06133	0.962	0.02152	0.03787	0.932	0.0456	0.05513
	5	0.985	0.004	0.0146	0.992	0.0048	0.01591	0.999	0.00034	0.00495	0.999	0.00056	0.00634
	6	0.916	0.0223	0.0352	0.996	0.0022	0.01116	0.969	0.01722	0.03639	0.946	0.03602	0.05264

جدول (۳) ضرایب انتشار نمونه‌های جوشانده شده و جوشانده نشده در دماهای مختلف

دمای خشک شدن (°C)	نمونه جوشانده نشده (m <sup>2</sup> /s)	نمونه جوشانده شده (m <sup>2</sup> /s)
۶۰	$۰/۶ \times ۱۰^{-۱۱}$	$۷/۵ \times ۱۰^{-۱۱}$
۸۰	$۱/۲ \times ۱۰^{-۱۱}$	$۱۰/۵ \times ۱۰^{-۱۱}$
۱۰۰	$۷/۵ \times ۱۰^{-۱۱}$	$۱۳/۶ \times ۱۰^{-۱۱}$
۱۲۰	$۸/۶ \times ۱۰^{-۱۱}$	$۱۶/۶ \times ۱۰^{-۱۱}$

با توجه به جدول ۳، ضریب موثر انتشار رطوبتی در ضایعات ماهی تحت تاثیر عملیات پيش حرارتی می باشد. با اقدام به این عملیات، ضریب انتشار در حدود ۲ تا ۷ برابر افزایش می یابد. ضرایب انتشار در ضایعات جوشانده شده در محدوده  $۷/۵ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ m}^2/\text{s}$  تا  $۱۶/۶ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ m}^2/\text{s}$  و در ضایعات بدون جوشاندن  $۰/۶ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ m}^2/\text{s}$  تا  $۸/۶ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ m}^2/\text{s}$  تغییرات داشت. این مقادیر در محدوده شناخته شده  $۱۰^{-۹} \text{ m}^2/\text{s}$  تا  $۱۰^{-۱۱}$  جهت خشک کردن گوشت ماهی قرار دارد (Panagiotou, et al, 2004).

با مشاهده  $R^2$ ،  $SSE$ ، و  $RMSE$  مربوط به نتایج تحلیلات آماری مندرج در جدول (۲)، برای ضایعات ماهی قزل آلا جوشانده شده در آب به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱ بوده و بهترین مدل منطبق برای خشک کردن، مدل لگاریتمی است. ضرایب مدل لگاریتمی برای نمونه های جوشانده شده در دماهای مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. بهترین مدل منطبق برای خشک کردن ضایعات ماهی قزل آلا جوشانده نشده، با داشتن  $R^2$ ،  $SSE$ ، و  $RMSE$  به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۱، مدل لگاریتمی می باشد. ضرایب این مدل در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۴): ضرایب مدل لگاریتمی برای مدل ضایعات ماهی قزل آلا جوشانده شده

ک	ا	ج	دمای خشک شدن (°C)
۰/۳۱۳	۰/۷۰۷	۰/۰۰۹۶	۶۰
۰/۰۱۲۸	۰/۸۰۷۹	۰/۲۱۸۸	۸۰
۰/۰۱۵۸	۰/۰۷۹۱۱	۰/۲۳۳۵	۱۰۰
۰/۰۱۸۱	۰/۸۳۹۳	۰/۱۸۹۹	۱۲۰

جدول (۵): ضرایب مدل لگاریتمی برای مدل ضایعات ماهی قزل آلا جوشانده نشده

لگاریتمی			دمای خشک شدن (°C)
ک	ا	ج	
۰/۰۰۶۳	۰/۳۵۰۸	۰/۶۲۰۹	۶۰
۰/۰۰۸۴	۰/۵۲۴۳	۰/۴۳۹۳	۸۰
۰/۰۱۴۸	۰/۶۱۹۷	۰/۳۷۶۱	۱۰۰
۰/۰۲۰۲	۰/۶۴۰۲	۰/۳۵۶۴	۱۲۰

## نتیجه گیری

آهنگ خشک کردن ضایعات ماهی قزل آلا در دستگاه آون سیر نزولی داشته و عملیات پیش حرارتی که منجر به جداسازی روغن از ضایعات می گردد، در روند خشک شدن تاثیر دارد. مدل لگاریتمی بهترین مدل برای بیان روند خشک شدن ضایعات (جوشانده شده و جوشانده نشده در آب)، بدست آمد. ضرایب انتشار در ضایعات جوشانده شده در محدوده  $7/5 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  تا  $16/6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  و در ضایعات بدون جوشاندن  $0/6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  تا  $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  تغییرات داشت.

## منابع

1. Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy* 59, 121...126.
2. Bala, B.K., & Mondol, M.R.A. 2001. Experimental investigation on solar drying of fish using solar tunnel dryer. *Drying Technology*, 19(2), 427-436.
3. Doymaz, I. 2004. Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering* 61, 341-346.
4. Dilip, J., Pankaj, B. 2006. Study the drying kinetics of open sun drying of drying of fish. Central Institute of Post Harvest Engineering and Technology, PAU Campus, Ludhiana 141004, india.
5. Doymaz, I. 2003. Drying Kinetics of White Mulberry. Department of Chemical Engineering, Yildiz Technical University, Davutpasa Cad No.127, 34210 .
6. Diamante, L.M. & Munro, P.A. 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51(4), 271...276.
7. Henderson, S.M. & Pabis, S. 1961. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, 6, 169...174.
8. Nguyen, M.H & Price, W. E. 2006. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season, *Journal of Food Engineering*, 79, 200-207
9. Ozdemir, M. & Devres, Y.O. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225...233.
10. Premachandra, H.S. 2006. Household Waste Composting & MSW, Asia 3R Conference, Tokyo.
11. Panchariya, P.C., Popovic, D. & Sharma, A.L. 2002. Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52, 349...357.
12. Panagiotou, N.M., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. & Saravacos, G.D. 2004. Moisture diffusivity: literature data compilation for foodstuffs. *International Journal of Food Properties*, 7(2), 273... 299.
13. Roberts, J. S., Kidd, D. R. & Padilla-Zakour, O., 2008. Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering* 89, 460-465.
14. Ranasingha O. K. & Ariyaratne T. R. 2009. Comparison of Drying of Mixed Kitchen Garbage under Different Drying Conditions. *Proceeding of the Technical Session*, 25, 45-52.
15. Sacilik, K. 2007. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo L*). Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Ankara University, 06130 Ankara, Turkey
16. Titili, G.V. 2000. Fish Drying. Available at the <http://classshares.student.usp.ac>
17. Yaldiz, O., Ertekin, C. & Uzun, H.I. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Journal of Energy*, 26, 5, 457... 465.



## Drying Kinetics and Modeling of Salmon Waste

### Abstract

The fish wastes mainly cause to lot of environment and hygienic problems. By drying, it is possible to convert them to some useful products. The drying behavior of salmon waste were studied under air-ventilated oven drying. Drying rate curves showed a linear falling rate throughout the drying process. Experiments were conducted at two treatment and four temperatures 60, 80, 100, 120<sup>0</sup>C . The diffusion coefficients using Fick' law for the boiled wastes were to be within 7.5 – 16.6 ×10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>/s and for the non-boiled wastes were to be within 0.6 – 8.6×10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>/s . Drying data were fitted with several published thin layer drying models and selection of the best model was investigated by comparing R<sup>2</sup> , SSE, RMSE.

**Key words:** Salmon waste, Air-ventilated oven, Drying