

خشك كن خورشیدی

مقدمه

خشك كردن، يك فرآيند پيچيده با مصرف انرژي فراوان مي باشد. انتخاب روش خشك كردن مناسب ميتواند علاوه بر صرفه جويي اقتصادي باعث بهبود كيفيت محصول توليدي گردد. در حال حاضر، خشك كردن با جريان هواي گرم، متداولترين روش خشك كردن محصولات كشاورزي مي باشد. به طوري كه با استفاده از اين روش ميتوان محصول با كيفيت، در مدت زمان كوتاه توليد كرد.

به علت رسانش حرارتي پائين محصولات كشاورزي، انتقال حرارت به قسمت هاي داخلي اين مواد بسيار كند صورت مي گيرد. لذا، خشك كردن آنها نيازمند مصرف انرژي فراوان است.

انرژي مورد نياز براي خشك كردن به طور معمول از سوختهاي فسيلي تأمين مي گردد.

به دليل افزايش قيمت جهاني سوختهاي فسيلي، منابع غير قابل اطمينان و آلودگي هاي زيست محيطي آن ها، توجه زيادي به استفاده از انرژيهاي تجديد پذير به عنوان جايگزين يا مكمل براي سوخت هاي فسيلي شده است. اخيراً در ايران نيز با اجراي طرح هدفمند كردن يارانه ها لزوم توجه به روشهاي مؤثر صرفه جويي در مصرف انرژي و استفاده از انرژيهاي جايگزين، جدي تر شده است. در اين راستا انرژي خورشیدی به عنوان مهم ترين منبع انرژي مورد نظر قرار گرفته است و استفاده از خشك كن هاي خورشیدی به صورت فزاينده اي در حال رشد است. چنانچه اين نوع خشك كن ها به خوبي و متناسب با نوع محصول مورد نظر طراحي شوند، ميتوانند جايگزيني مناسب براي خشك كن هاي صنعتي هواي گرم باشند.



به خصوص، استفاده از خشك كن هاي خورشيدى در كشورهاي در حال توسعه كه بيش از 80% از مواد غذايى آنها را، كشاورزي هاي كوچك تأمين مي كند، به خوبي ميتواند مفيد واقع شود.

پژوهش ها نشان داده است كه زمان خشك كردن محصول در خشك كن هاي خورشيدى، در مقايسه با روش خشك كردن مستقيم زير آفتاب (روش سنتي)، حدود 65% كاهش داشته است و كيفيت محصول نيز بهبود مي يابد .

استفاده از انرژي خورشيد براي خشك كردن محصولات كشاورزي، قدمتي برابر با تاريخ دارد، ولي در جستجوي منابع، اولين بار در سال 1958 ، محققي به نام Buelow اقدام به استفاده از

خشك كن خورشيدى براي خشك كردن محصولات كشاورزي كرد. از آن پس پژوهشگران مختلف، خشك كن هاي خورشيدى فراواني را ارائه و مورد بررسي قرار دادند. در ايران براي مثال تأثير دبي جرمي هوايي عبوري و زمان تخليه محصول را بر نرخ خشك شدن شلتوك، در يك خشك كن نيمه پيوسته خورشيدى بررسي كردند.



در این پژوهش، آزمایش های مربوط به ارزیابی خشک کن در دو روش مختلط و غیر مستقیم انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی هوای خشک کننده و روش خشک کردن، تأثیر معنی داری بر نرخ خشک شدن انگور دارد. در تحقیقی عملکرد شش نوع جمع کننده ی خورشیدی تخت قابل استفاده در خشک کن های خورشیدی مقایسه شد. در این تحقیق تفاوت بین جمع کننده ها در تعداد پوشش های پلاستیکی به کار رفته در ساختمانشان و وضعیت عبور جریان هوای خشک کننده نسبت به صفحه جاذب نور خورشید بود. در سال 2007، عملکرد يك خشک کن خورشیدی با چهار نوع صفحه جمع کننده خورشیدی مختلف (جمع کننده مسطح، جمع کننده مجهز به پرههایی با زاویه 70 درجه، صفحه مجهز به پرههایی با زاویه 75 درجه و صفحه مجهز به تعدادی لوله) ارزیابی شد.

نتایج آزمایش ها نشان داد جمع کننده مجهز به پره با زاویه 75 درجه، جمع کننده مجهز به پره با زاویه 70 درجه، جمع کننده مجهز به لوله و جمع کننده با صفحه مسطح به ترتیب از اول دارای بیشترین بازده بودند. در این راستا خشک کردن لایه نازک نوعی کدو، با استفاده از روشهای مختلف: خشک کن هوای گرم، خشک کن خورشیدی تونلی و زیر آفتاب مستقیم، بررسی شده است. همچنین عملکرد محفظه محصول در يك خشک کن خورشیدی جریان اجباری مورد بررسی قرار گرفته است.

در پژوهشی يك خشک کن خورشیدی کابینتی غیر مستقیم ارزیابی شد.

در این تحقیق مدت زمان لازم، برای خشک کردن 4 کیلوگرم کدو در خشک کن مورد نظر، 6 ساعت بود، در حالی که زمان مورد نیاز برای خشک کردن محصول زیر آفتاب، 11 ساعت تعیین شد. کیفیت برنج خشک شده به دو روش خشک کن خورشیدی و زیر آفتاب مستقیم با هم مقایسه شد.

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان سفیدی برنج تولید شده در خشک کن خورشیدی در مقایسه با روش آفتاب مستقیم دارای کیفیت بالاتری بود و سایر پارامترهای کیفی برنج تولیدی در خشک کن خورشیدی نیز در حد قابل قبولی قرار داشت. برای افزایش بازدهی جمع کننده خورشیدی، از صفحات جاذب نور خورشید سوراخدار استفاده شد.

در این تحقیق تأثیر استفاده از پوشش شیشه ای، بر روی جمع کننده خورشیدی بر بازده آن بررسی شد.

نتایج نشان داد که استفاده از پوشش شیشه ای میتواند تا 25 % سبب افزایش بازده جمع کننده گردد.

در تحقیقی دیگر يك خشک کن خورشیدی با جمع کننده ی دو مسیره طراحی شد و عملکرد آن با خشک کن های خورشیدی کابینتی متداول و روش خشک کردن زیر آفتاب مستقیم مقایسه شد.

یکی از معایب استفاده از سامانه های خورشیدی، عدم پیوستگی و یکنواختی انرژی خورشیدی میباشد. برای رفع این مشکل، پژوهشگران اقدام به استفاده از سامانه های ذخیره گرمایی در

خشک کن های خورشیدی کردند. این در پژوهش ها از آب، سنگ، سیمان، پارافین و مواد ترمو-شیمیایی برای ذخیره گرما استفاده شد. در تحقیقی يك خشک کن خورشیدی ترکیبی برای موز طراحی شد.

خشك كن طراحي شده در اين پژوهش، شامل جمع كننده خورشيدى، منعكس كننده نور خورشيد، مبدل حرارتى و واحد ذخيره گرمايى (كه شامل يك مخزن آب بود) ميشد. اين خشك كن توانست 30 كيلوگرم موز را در مدت زمان 8 ساعت در روز تابستانى خشك كند. همچنين، كيفيت محصول خشك شده در خشك كن خورشيدى مورد بررسى در اين تحقيق، بهتر از محصول خشك شده زير آفتاب بود.

امروزه، پيشرفت هاى علمى و فناورى خشك شدن مقادير صنعتى را در يك روز با حفظ ويژگى هاى ارگانولپتيكى (بو، طعم، بافت و رنگ) و كيفيت تغذيه اى تسهيل مى كند. تيريس و دينسر (1996) يك خشك كن خورشيدى در مقياس كوچك پيشنهاد کرده اند و مقايسه اى تجربى بين خورشيد طبيعى و خشك كردن مصنوعى انجام داده اند. براى آخرين بار، هوا با استفاده از يك بخارى الكتريكى و سپس يك كلكتور خورشيدى گرم شد. مشخص شد كه خشك كردن مصنوعى موفق تر از خشك كردن طبيعى خورشيد است. كاراتانوس و بلسيوتيس (1997) يك خشك كن خورشيدى در مقياس بزرگ ارائه كردند. ظرفيت 5000 كيلوگرم براى سيستم خشك كردن مصنوعى آن، از مشعل با گاز پروپان استفاده شد. مقايسه آنها بين آفتاب و خشك كردن مصنوعى كاهش قابل توجهى در زمان خشك شدن براى آخرين مورد نشان داده است. نقطه ضعف اين نوع خشك كن ها مقدار مهم انرژى مورد نياز است. به طور خاص، در كشور هاى صنعتى، بين 7 تا 15 درصد از انرژى صنعتى در خشك كردن استفاده مى شود. از اين رو، استفاده از خشك كن هاى خورشيدى بهبود يافته براى توليدكنندگان كشاورزى جالب است.

بهبود رفتار خشك كن هاى خورشيدى از طريق مطالعات نظرى انجام مى شود. مدل هاى مختلفى براى شبیه سازی توسعه داده شد. Ratti و Mujumdar توازن جرم و انرژى را در فاز جامد و گاز پيشنهاد کرده اند. اثرات كوچك شدن و شرايط آب و هوايى در نظر گرفته شد. نتايج شبیه سازی شده با داده هاى تجربى مقايسه شد (جايارمن، داس گوپتا و بابو راثو، 1992 و جايارمن و داس گوپتا، 1992). مشخص شد كه تقريباً دو روز براى خشك كردن محصول لازم است. مدل استفاده شده توسط يوسف على، مسعودى، دزمز، آبنه و ليرى (2001)، براى مطالعه يك خشك كن دسته اى خورشيدى، بر اساس معادله گرماى اعمال شده به محصول و معادله سرعت خشك شدن است. براى نمايش انتقال رطوبت از مدل Daguinet استفاده کرده اند كه قياس هاى الكتريكى را در نظر مى گيرد. تغييرات در ميزان رطوبت و تأثير بسيارى از پارامترها، مانند سرعت هوا، مورد مطالعه قرار گرفت. يك شبیه ساز خورشيدى كه داراى انرژى دريافتى ثابت است، استفاده شد. بنابر اين تغييرات آب و هوايى را نادیده مى گيرد كه مى تواند تأثير قابل توجهى داشته باشد.

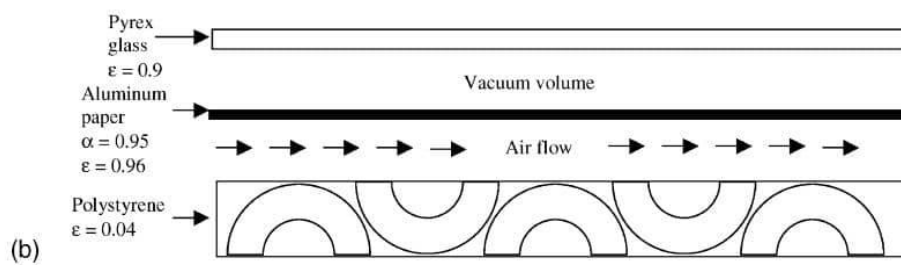
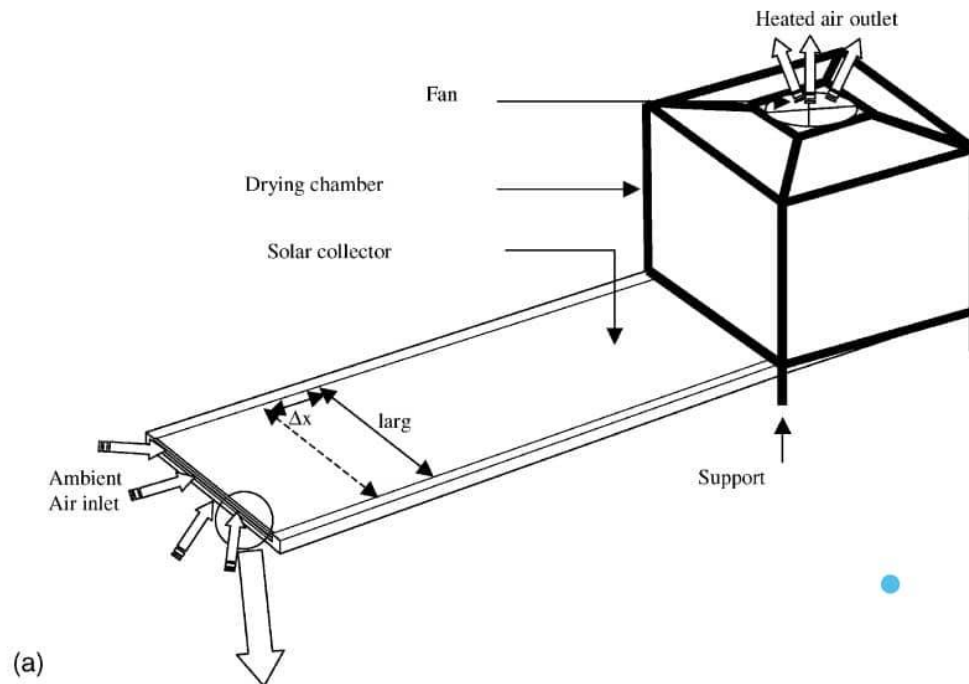
به منظور صرفه جويى در انرژى، مطالعات زيادى به سمت طراحي انجام شد. يك خشك كن چوب خورشيدى در دانشگاه آرکانزاس آزمایش شد (دى وور، دنى و هارپر، 1999). سه تا چهار ماه براى خشك كردن چوب تا رطوبت 9 درصد لازم بود. براى كوتاه كردن زمان خشك شدن، تغييراتى در طراحي ايجاد شد و در نتيجه تنها 28 روز كافى بود. سيستم هاى ذخيره سازى بسيار مورد توجه قرار گرفته اند.

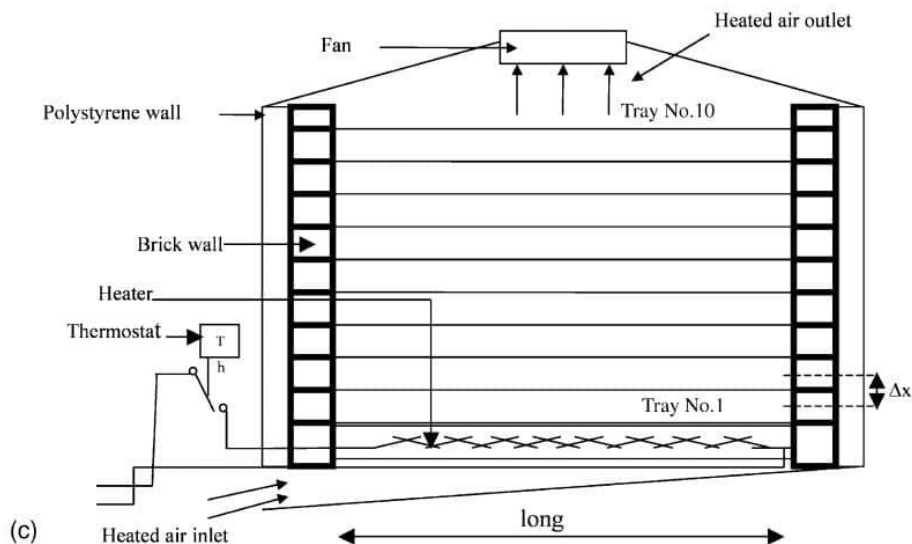
يك كلكتور هواى صاف به خشك كن اضافه مى شود تا با استفاده از انرژى رايگان خورشيدى هواى محيط را گرم كند. بخارى براى شرايط نامساعد آب و هوايى استفاده مى شود. اين سيستم در تمام طول سال قابل استفاده است.



طراحی سیستم مورد مطالعه

شکل زیر یک نمودار معمولی از خشک کن دسته ای خورشیدی را نشان می دهد که مزایایی مانند فضای کم نیاز، تمیز کردن و نگهداری آسان را نشان می دهد.





این شامل 0.04 متر ضخامت صفحه پلی استایرن مورد استفاده به عنوان عایق و دیوار آجری، 0.1 متر ضخامت، پشتیبانی از 10 سینی همانطور که در شکل (C) نشان داده شده است. فاصله بین یک سینی و سینی دیگر حدود 0.1 متر است. جابجایی اجباری با استفاده از یک فن ایجاد می شود که بهترین کنترل را بر فرآیند خشک کردن و یکنواختی توزیع هوا در داخل محفظه خشک کن می دهد. یک کلکتور هوای صاف که نمایانگر دومین قسمت اصلی است، به محفظه خشک کن اضافه می شود.

طراحی کلکتور صاف هوا ساده است. شکل (b) از یک صفحه پیرکس شیشه ای به ضخامت 0.01 متر تشکیل شده است که به عنوان روکش استفاده می شود. از صفحه آلومینیومی به ضخامت 0.001 متر رنگ مشکی به عنوان جاذب و در نهایت از صفحه پلی استایرن 0.04 متر به عنوان عایق استفاده می شود. هوا بین جاذب و عایق جریان دارد. یک حجم خلاء شکل (b) به منظور کاهش اتلاف گرمای تبدیل شده از تابش خورشیدی ایجاد می شود. در شرایط نامساعد آب و هوایی، یک بخاری به خشک کن اضافه می شود. شکل (c) این دومی فقط زمانی استفاده می شود که دمای خروجی کلکتور هوا کمتر از 50 درجه سانتی گراد بنابراین، یک سیستم کنترل مورد نیاز است. این شامل یک ترموستات ساده بود که در خروجی کلکتور قرار می گرفت. این امکان فعال یا قطع شدن بخاری الکتریکی را با توجه به دمای اندازه گیری شده فراهم می کند.

3. مدل ریاضی

یکی از روش هایی که برای مطالعه این نوع خشک کن ها بسیار مناسب است، «روش گام به گام» است (Daguenet) 1985). این شامل برداشتن یک برش ساختگی با ذکر «j» ، سپس تعمیم مطالعه به تمام سیستم با تغییر «j» است. این روش هم برای محفظه خشک کن و هم برای کلکتور هوای تخت استفاده می شود.

3.1. کلکتور مسطح هوا

تبادل حرارتی امکان ایجاد معادلات زیر را فراهم می کند: این شامل برداشتن یک برش ساختگی با ذکر j، سپس تعمیم مطالعه به تمام سیستم با تغییر j است. این روش هم برای محفظه خشک کن و هم برای کلکتور هوای تخت استفاده می شود.

در سطح خارجی شیشه:

$$\frac{m_v C_{PV}}{surf} \left(\frac{dT_{ve}}{dt} \right) = p_v + hr_{v,c}(T_c - T_{ve}) + h_{V,c}(T_c - T_{ve}) + h_{v,am}(T_{am} - T_{ve}) + k_v(T_{vi} - T_{ve})$$

در سطح داخلی شیشه:

$$\frac{m_v C_{pv}}{surf} \left(\frac{dT_{ve}}{dt} \right) = hr_{v,A}(T_A - T_{vi}) + h_{v,A}(T_A - T_{vi}) + k_v(T_{ve} - T_{vi})$$

جاذب انرژی منتقل شده را دریافت می کند.

یک قطعه ذخیره می شود و با همرفت و تابش با شیشه، با همرفت، با سیال و توسط تابش، با عایق تبادل می شود.

$$\frac{m_A C_{PA}}{surf} \left(\frac{dT_A}{dt} \right) = h_{v,A}(T_{vi} - T_A)hr_{v,A}(T_{vi} - T_A) + hr_{A,I}(T_{I,i} - T_A) + h_{fld,I,i}(T^* - T_A) + P_A$$

هوا بین جاذب و عایق جریان دارد، که اجازه گرمایش آن را می دهد:

$$\dot{m}_{am} C_{pair}(T - T^*) = surf h_{fld,A}(T_A - T^*) + surf h_{fld,I,i}(T_{I,i} - T^*)$$

عایق انرژی را از طریق تابش از جاذب و با همرفت از سیال دریافت می کند. بخشی از این انرژی ذخیره می شود و بخشی دیگر از طریق تابش و همرفت به محیط و داخل مقره از طریق رسانایی منتقل می شود.

در سطح داخلی مقره:

$$\frac{m_I C_{PI}}{surf} \left(\frac{dT_{Ii}}{dt} \right) = hr_{A,I}(T_A - T_{Ii}) + h_{fld,I,i}(T^* - T_{Ii}) + k_I(T_{Ie} - T_{Ii})$$

در سطح خارجی مقره:

$$\frac{m_I C_{PI}}{surf} \left(\frac{dT_{Ie}}{dt} \right) = k_I (T_{Ii} - T_{Ie}) + h_{v,am} (T_{am} - T_{Ie}) + hr_{s,I} (T_{sol} - T_{Ie})$$

نشان دهنده سینی سابق است.

Pv و PA به شار انرژی دریافتی مستقیم و پراکنده بستگی دارند، آخرین بار به یک شار انرژی مستقیم با زاویه برخورد حدود 60 درجه جذب می شود. علاوه بر این، آنها به جذب مستقیم و انتشاری بستگی دارند.

موازنه گرما و جرم اجازه ایجاد معادلات زیر را می دهد:

جریان هوای گرم شده بین دو سینی منجر به تبادل بین هوای گرم شده، محصول و دیواره های داخلی خشک کن می شود:

$$\dot{m}_{ach} C_{pair} (T^* - T_{ach}) = h_{ach,f} S_f (T_{ach} - T_f) + 4h_{ach,pi} S_v (T_{ach} - T_{pi})$$

محصول انرژی دریافت می کند. یک قطعه ذخیره می شود و یک دوم برای تبخیر آب آن استفاده می شود:

$$m_f C_{Pf} \left(\frac{dT_f}{dt} \right) = h_{ach,f} S_v (T_{ach} - T_f) - P_{ev}$$

انرژی از طریق جابجایی و رسانایی با قطعات ذخیره شده به داخل دیواره های خشک کن منتقل می شود. جداره خارجی انرژی را با همرفت و تابش با محیط اطراف مبادله می کند.

در سطح داخلی دیوار آجری:

$$\frac{m_{pb} C_{pb}}{4} \left(\frac{dT_{pi}}{dt} \right) = k_b S_v (T_p - T_{pi}) + h_{ach,pi} S_v (T_{ach} - T_{pi})$$

تبادل بین دیوار آجری و دیوار پلی استایرن:

$$\frac{m_{pp} C_{pp}}{4} \left(\frac{dT_p}{dt} \right) + k_p S_v (T_p - T_{pe}) = \frac{m_{pb} C_{pb}}{4} \left(\frac{dT_p}{dt} \right) + k_b S_v (T_p - T_{pi})$$

در سطح خارجی دیوار پلی استایرن:

$$\frac{m_{pp} C_{pp}}{4} \left(\frac{dT_{pe}}{dt} \right) = k_p S_v (T_p - T_{pe}) + h_{am,pe} S_v (T_{am} - T_{pe}) + h_r S_v (T_c - T_{pe})$$

نشان دهنده سینی سابقه است.

با قدرت تبخیر:

$$P_{ev} = m_{sec} L_v dX/dt$$

m_{sec} جرم محصول خشک است.

$$S_f = \pi D^2 n$$

S_f سطح تبادل است.

n تعداد محصول خشک شده در هر سینی است.

تغییرات رطوبت هوا با استفاده از معادله زیر:

$$(W_{ach,0} - W_{ach})\dot{m}_{ach} = K(X - X_e)m_{sec}$$

تغییر X که نشان دهنده میزان رطوبت محصول در طول زمان خشک شدن است، مورد نیاز است. در نتیجه، دانستن بیشتر در مورد سینتیک خشک کردن ضروری است.



از یک مدل تجربی متعلق به مدل های پدیدارشناسی استفاده شده است.

ضرایب از آزمایشات برای برخی محصولات کشاورزی مانند پیاز محاسبه می شود.

مدل تطابق خوبی بین نتایج محاسبه شده و تجربی نشان داده است.

رطوبت محصول از موارد زیر بدست می آید:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_e)$$

X_e رطوبت محصول تعادلی است.

K تابعی از بعد مشخصه مواد D ، دمای هوا T_{ach} ، رطوبت W_{ach} و سرعت U_{ach} است.

معادله زیر پیشنهاد شده است.

$$K = K_0 D^{KD} T_{ach}^{KT} W_{ach}^{KW} U_{ach}^{KU}$$

K_0, KD, KT, KW, KU ثابت های تجربی در حال تغییر هستند.

از یک محصول به محصول دیگر.

در ابتدای فرآیند با 87/6 درصد رطوبت نسبی اولیه به صورت کره در نظر گرفته می شود.

ترکیب محصول :

آب: 87.60%

پروتئین ها: 01.25%

کربوهیدرات ها: 04.81%

چربی: 00.25%

دیگران: 05.99%

گرمای ویژه به این صورت بیان می شود:

$$C_{Pf} = 1.42m_{carbohydrates} + 1.549m_{Proteins} + 1.675m_{Fat} + 0.837m_{Others} + 4.187m_{Water}$$

ویژگی های فیزیکی برای هر مرحله زمانی و برای هر سینی خشک کن دوباره محاسبه می شود، که اجازه می دهد تا اثرات انقباض در نظر گرفته شود. سرعت هوا در اطراف محصول U_{ach} به صورت زیر محاسبه می شود:

$$U_{ach} = U/P_0$$

U سرعت هوای داخل خشک کن است.

P_0 نرخ تخلخل است و برابر است:

$$P_0 = 1 - O_c$$

O_c میزان اشغال است و برابر است با:

$$O_c = n \frac{\pi D_f^3}{6} \frac{1}{Long larg D_f}$$

روش تفکیک

دو مجموعه از معادلات با توسعه برنامه های Fortran حل می شوند، مجموعه اول مربوط به کلکتور صاف هوا و دومی اتاق خشک کردن است.

برای حل دو مجموعه معادله نوشته شده به صورت ماتریسی از روش تکراری گاو هنگامی که ماتریس ضریب پراکنده است (صفرهای زیادی دارد)، یک روش تکراری ممکن است در حافظه مورد نیاز یک کامپیوتر سریعتر و مقرون به صرفه تر باشد. س-سایدل استفاده شد.

خود تصحیح یک مزیت برای روش های تکراری است.

دو مورد برای مطالعه وجود دارد:

مورد 1 (بدون بخاری): دمای هوای گرم شده برابر با کلکتور هوای خروجی است.

مورد 2 (با بخاری): اگر دمای کلکتور هوای خروجی کمتر از 50 درجه سانتیگراد باشد، دمای هوای گرم برابر با 50 درجه سانتیگراد است (هیتر در حال کار است). در غیر این صورت دمای هوای گرم شده برابر با کلکتور هوای خروجی است.

نتایج و بحث

این مطالعه برای دمای واقعی محیط منطقه کنستانتین، ارائه شده توسط سرویس هواشناسی اعمال شد. بنابراین، پانزدهم تیرماه 97 برای خشک کردن انتخاب شد، زیرا در این روز از سال برداشت پیاز به پایان رسید. منطقه کنستانتین در شمال شرقی الجزایر، در 6 درجه و 37 درجه شرقی (طول جغرافیایی) و 36 درجه و 17 واقع شده است.

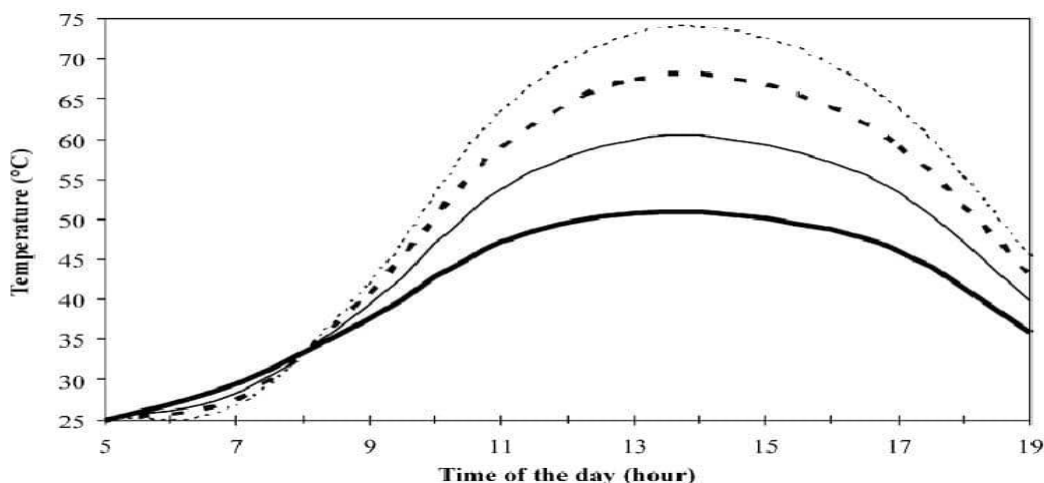
ارتفاع این منطقه از 493 تا 721 متر متغیر است. 86 کیلومتر از دریا فاصله دارد و در منطقه ای واقع شده است که زمستان سرد با میانگین دمای 10 درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی حدود 70 درصد و تابستان گرم با میانگین دمای حدود 35 تا 40 درجه سانتی گراد و بیشتر و رطوبت نسبی در اطراف مشخص می شود. 50 درصد مهمترین عامل برای مطالعه تابش آفتاب منطقه است. این آخرین حداکثر حدود 349 ساعت در ژوئیه و 151 ساعت در دسامبر و ژانویه است. توسط سرویس هواشناسی تایید شده است.

روش بهینه برای نصب کلکتور هوای صاف هدایت آن به سمت جنوب با زاویه شیب 10 درجه است (Percebois, 1975).

در ابتدا، خشک کن دسته ای خورشیدی بدون بخاری مورد مطالعه قرار گرفت.

تأثیر پارامترهای کلکتور

تأثیر سطح کلکتور بر دمای هوای خروجی در شکل زیر نشان داده شده است.



این رقم به دو بازه تقسیم می شود. قبل و بعد از ساعت 8 صبح

قبل از ساعت 8 صبح: اگرچه کلکتور به مدت 3 ساعت در معرض نور خورشید قرار می گیرد، دما زیاد افزایش نمی یابد. انرژی دریافتی برای گرم کردن کلکتور استفاده می شود. از آنجایی که سطح بزرگتر به انرژی بیشتری برای گرم کردن آن نیاز دارد، افزایش سطح در این زمان منجر به کاهش دمای هوای می شود.

تقریباً برابر بود با 35 درجه سانتیگراد؛ قبل از این دما، هوای محیط را نمی توان گرم کرد.

بعد از ساعت 8 صبح: دمای هوای گرم شده ارتباط مستقیمی با انرژی جذب شده و دمای محیط دارد. افزایش آنها به افزایش و کاهش آنها منجر به کاهش آن می شود. انرژی جذب شده که در این زمان به هوا منتقل می شود با افزایش سطح کلکتور افزایش می یابد. بنابراین، دمای هوای گرم شده ممکن است با افزایش سطح کلکتور افزایش یابد.

توجه به این نکته ضروری است که حداکثر دما بعد از ساعت 13 به دست می آید، در حالی که حداکثر تابش در ساعت 12 ظهر به دست می آید. در همین حالت، در ساعت 19، دمای هوا مهمتر از محیط است، اگرچه تشعشع دریافتی وجود ندارد. این تفاوت به دلیل اینرسی سیستم است.

شکل زیر تأثیر سطح کلکتور را بر رطوبت محصول در خشک کن بدون بخاری نشان می دهد.

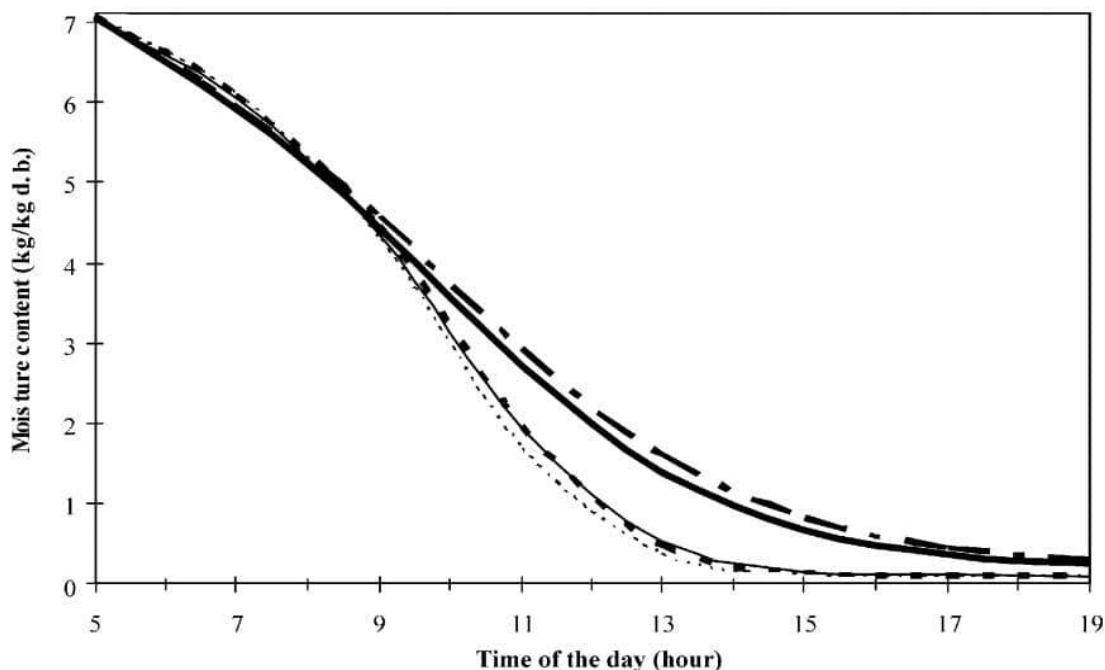


Fig. 3. Influence of the collector surface on the product moisture ($m_f = 25$ kg, $U_{am} = 2.4$ m/s, $D_f = 0.05$ m). ($S = 1$ m \times m, $j = 10$: —), ($S = 1$ m \times m, $j = 19$: —■—), (3 m \times m, $j = 10$: —), (4 m \times m, $j = 10$:), (4 m \times m, $j = 19$: —■—).

قبل از ساعت 8 صبح: کاهش ناچیز رطوبت ثبت شده است. این به دلیل گردش هوا در داخل محفظه خشک کن با استفاده از فن است.

که امکان تبادل گرما و جرم را فراهم می کند. همانطور که قبلاً از شکل 2 استنباط شد که قبل از ساعت 8 صبح دمای هوا با افزایش سطح کاهش می یابد. به عبارت دیگر دمای هوای خشک کن ورودی با افزایش سطح کلکتور کاهش می یابد. بنابراین، آب تبخیر شده بیشتری با سطح کوچکتر داریم.

بعد از ساعت 8 صبح: گرما به هوا و در نتیجه به محصول منتقل می شود. بنابراین با افزایش سطح، رطوبت محصول به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. علاوه بر این، در 4 متر مربع، محصول پس از حدود 10 ساعت به رطوبت مورد نظر رسیده بود و حتی می توان از 20 سینی استفاده کرد.

میزان رطوبت مورد نظر از 10% تا 12% (از 0.111 تا 0.136)

متغیر است. در این محدوده، ویژگی های ارگانولپتیک (بو، طعم، بافت و رنگ) و مقدار تغذیه بدون تغییر باقی می ماند.

شکل زیر تأثیر سطح کلکتور را بر دمای محصول نشان می دهد (در خشک کن بدون بخاری در سینی
(10).

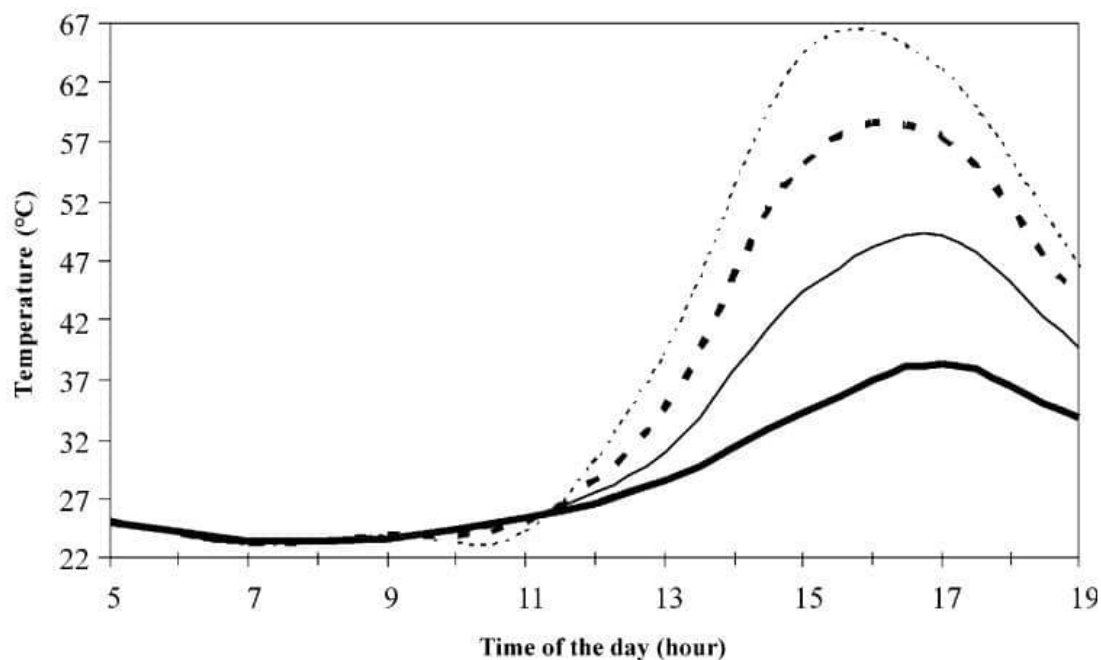


Fig. 4. Influence of the collector surface on the product temperature ($m_f = 25$ kg, $U_{am} = 2.4$ m/s, $D_f = 0.05$ m $j = 10$). (1 m \times m: —), (2 m \times m: —), (3 m \times m: ■■■■■), (4 m \times m:).

به شکل بالا در فواصل زیر نگاه کنید:

از ساعت 5 صبح تا 8 صبح: انرژی جذب شده اساساً برای گرم کردن کلکتور استفاده می شود. کاهش قابل توجهی در دما به دلیل تجمع آب تبخیر شده از سینی های قبلی ثبت شده است.

از ساعت 8 صبح تا 11 صبح: از شکل 3، مشاهده می شود که در این بازه زمانی، مهم ترین کاهش رطوبت محصول ثبت شده است، البته افزایش ناچیز دمای محصول (حدود 3 درجه سانتی گراد). مشاهده می شود که کاهش 4 متر؟ مهمتر است. این به دلیل تجمع آب تبخیر شده از سینی های قبلی ایجاد می شود. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، با افزایش سطح کلکتور اهمیت بیشتری دارد. می توان گفت که انرژی جذب شده اساساً برای تبخیر آب محصول استفاده می شود. این نشان دهنده اولین دوره خشک شدن است.

بعد از ساعت 11 صبح: مقدار مهمی از آب تبخیر می شود. بنابراین، انرژی جذب شده باعث افزایش دمای محصول می شود که نشان دهنده دوره دوم خشک شدن است.

ز آنجایی که انرژی جذب شده 4 متر مربع از 1 متر مربع مهمتر است. دما با افزایش سطح افزایش می یابد. علاوه بر این، حداکثر دما برای 4 متر مربع به سرعت نسبت به 1 متر مربع به دست می آید.

از شکل 2 مشاهده می شود که حداکثر دما بعد از ساعت 13 به دست آمده است. با این حال، حداکثر دمای محصول بین ساعت 3 بعد از ظهر مشاهده شد. برای 4 متر مربع و 5 بعد از ظهر برای 1 متر مربع، علت این جابجایی نیز اثر اینرسی سیستم و رفتار خشک شدن محصول است.

تاثیر استفاده از بخاری

شکل زیر اهمیت افزودن بخاری به خشک کن خورشیدی را نشان می دهد که از سطح کلکتور 1 متر مربعی استفاده می کند.

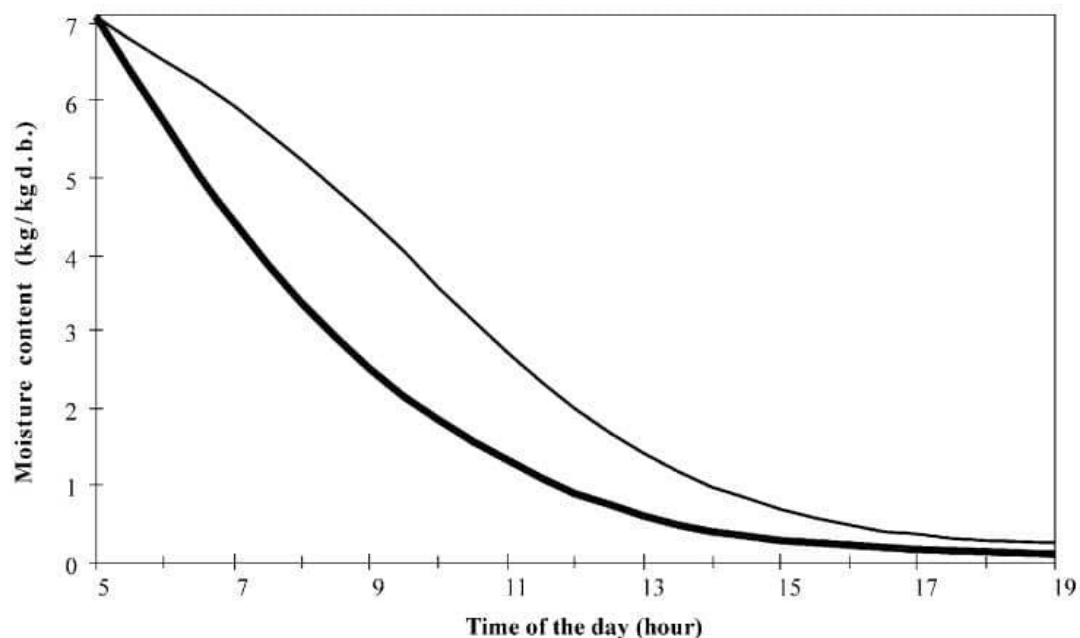


Fig. 5. Influence of the heater use on the product moisture ($m_f = 25$ kg, $U_{am} = 2.4$ m/s, $D_f = 0.05$ m, $j = 10$, $S = 1$ m²). (With a heater: —), (Without a heater: - -).

شکل 2 نشان داده است که دمای هوای گرم تنها بین ظهر تا 3 بعد از ظهر از 50 درجه سانتیگراد فراتر رفته است. شکل 3 نشان داد که با این شرایط محصول به رطوبت مورد نظر دست پیدا نکرده است.

افزودن بخاری امکان خشک کردن محصول را در شرایط نامساعد مانند بین 5 صبح تا 8 صبح فراهم می کند. در این دور از زمان، کلکتور خشک کن بدون بخاری گرم می شود. اما برای خشک کن دارای بخاری، محصول با دمای ثابت 50 درجه سانتی گراد خشک می شود. تفاوت بین این دو رطوبت را می توان به وضوح در شکل 5 مشاهده کرد. در نتیجه، پس از افزودن بخاری، رطوبت مورد نظر پس از 12 ساعت خشک شدن به دست آمد.

تأثیر دمای هوا

تأثیر دمای هوای گرم شده بر رطوبت محصول در شکل 6 نشان داده شده است.

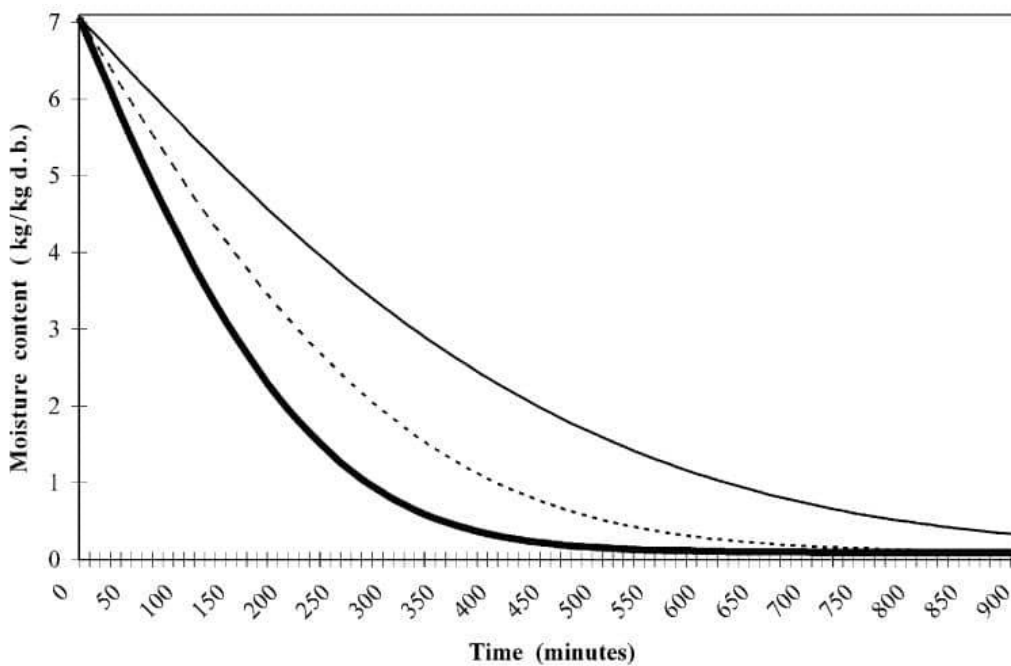


Fig. 6. Influence of the heater air temperature on the product moisture ($m_f = 25$ kg, $U_{am} = 2.4$ m/s, $D_f = 0.05$ m, $j = 10$, $S = 3$ m²). (40 °C: —), (50 °C:), (60 °C: ———).

به نظر می رسد که این پارامتر تأثیرگذارترین و مهم ترین پارامتری است که باید در نظر گرفته شود. برای 60 درجه سانتیگراد، تنها 500 دقیقه برای رسیدن به رطوبت مورد نظر نیاز بود. برای 50 درجه سانتیگراد، 700 دقیقه هنوز کافی بود، دانشمند با این حال، برای 40 درجه سانتیگراد و پس از 900 دقیقه، رطوبت مورد نظر حاصل نشد.

استنباط شد که افزایش دمای هوای گرم منجر به دریافت قدرت بیشتر برای خشک کردن می شود.

تأثیر ویژگی های محصول

شکل 7 تأثیر جرم محصول را بر میزان رطوبت آن در سینی 10 نشان می دهد.

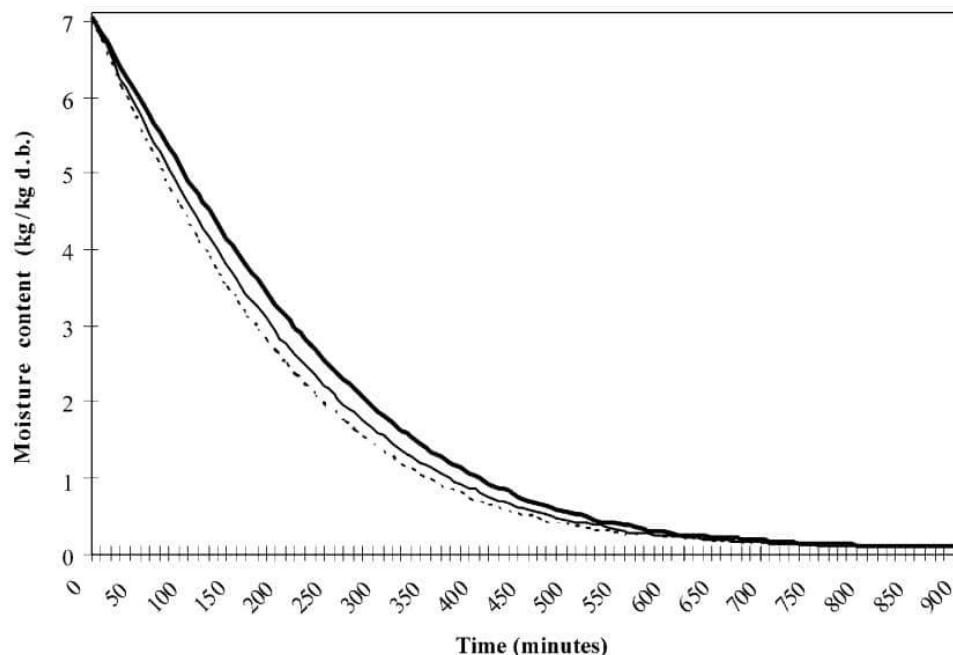


Fig. 7. Influence of the product mass on its moisture ($U_{am} = 2.4$ m/s, $D_f = 0.05$ m, $j = 10$, $S = 3$ m²). (5 kg: ·····), (15 kg: —), (25 kg: ———).

هنگامی که هوای گرم شده از محصول عبور می کند، آب تبخیر می شود تا به رطوبت تعادل برسد. از آنجایی که محصول رطوبت سنجی است، رطوبت تعادلی با صفر متفاوت است.

شکل نشان می دهد که رطوبت 25 کیلوگرم مهمتر از 5 کیلوگرم است. بنابراین، افزایش جرم به معنای افزایش تعداد پیازهای قرار داده شده در هر سینی خشک کن است. از این رو استنباط می شود که هر پیاز انرژی کمتری دریافت می کند. بنابراین افزایش جرم باعث افزایش رطوبت محتوی محصول می شود. با این حال، 900 دقیقه (15 ساعت)، همچنان برای خشک کردن 25 کیلوگرم روی هر خشک کن کافی بود.

شکل 8 تأثیر قطر محصول را بر روی نمودار نشان می دهد.

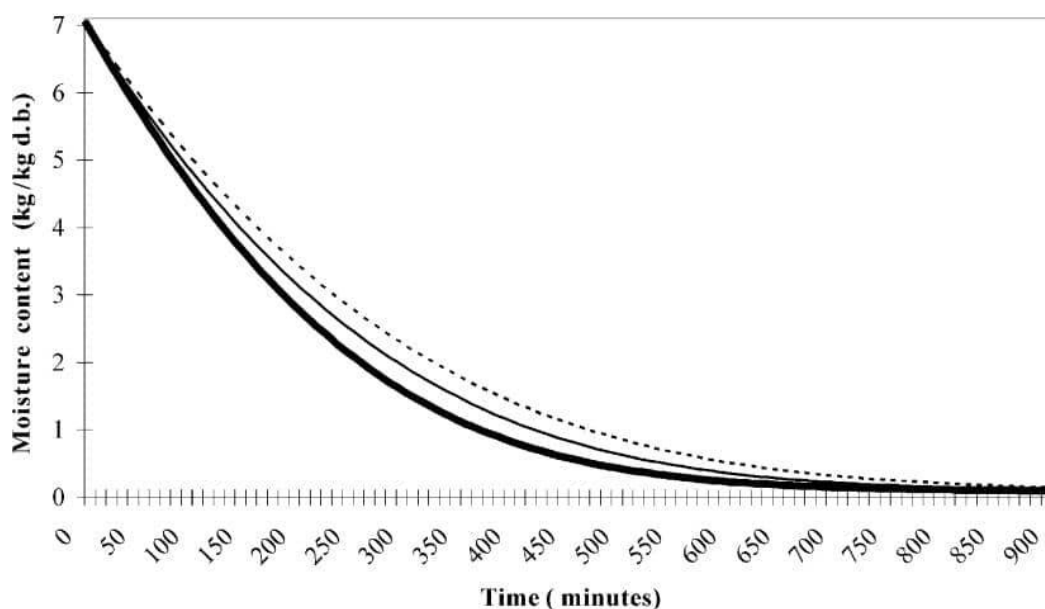


Fig. 8. Influence of the product dimension on its moisture ($m_f = 15$ kg, $U_{am} = 2.4$ m/s, $j = 10$, $S = 3$ m²). (5 cm: ———), (6 cm: —), (7 cm:).

افزایش قطر محصول منجر به مقاومت بیشتر برای انتشار می شود.
استنباط می شود که افزایش قطر محصول منجر به افزایش رطوبت محصول خشک شده می شود.

نتیجه گیری

سطح کلکتور و دمای هوای گرم شده اساساً بر خشک شدن دسته ای خورشیدی تأثیر می گذارد. افزایش آنها زمان خشک شدن را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. تأثیر ابعاد و جرم کل محصول خشک شده اهمیت کمتری دارد.

استفاده از بخاری بهبود خوبی در نتایج به دست آمده نشان داده است. امکان استفاده از خشک کن در شرایط نامساعد آب و هوایی و رسیدن به رطوبت مورد نظر را در بسیاری از موارد مطالعه شده فراهم می کند. استفاده از آن می تواند بازده سرمایه گذاری سریعی را ایجاد کند.

استفاده از خشک کن دسته ای خورشیدی با سطح کلکتور 3 متر مربع و بخاری در دمای 50 درجه سانتیگراد، امکان خشک کردن حدود 250 کیلوگرم در روز را فراهم می کند.

این مطالعه را می توان برای سایر محصولات کشاورزی و برای رفتار خشک کن دسته ای خورشیدی در فصول مختلف توسعه داد.

تصاویر بیشتر از خشک کن خورشیدی





