طراحی انبار زیر زمینی سیب زمینی (۱۵۹)

علی اسحق بیگی[۱] ، عباس مهدی[۲] ، شاهین بشارتی[۳]

چکیده

وجود انبار مناسب جهت نگهداری غده های سیب زمینی، به منظور جلوگیری از ضایعات محصول و کنترل قیمت بازار ضروری به نظر می رسد. در مطالعه حاضر طراحی یک انبار سیب زمینی با گنجایشی متناسب با تولید کشاورزان منطقه فریدن اصفهان در نظر گرفته شد. به منظور طراحی ساختمان انبار و کنترل شرایط دما و رطوبت داخل انبر، از آمار هواشناسی منطقه فریدن و تحلیل میزان گرمای تولید شده در انبار و تبادل گرمایی جداره انبار بهره گرفته شد. با در نظر گرفتن دمای شبانه روز در شهرستان فریدن، میزان ۷ ساعت هوادهی در روز با دبی ۳/۸ متر مکعب در ثانیه مناسب تشخیص داده شد. با توجه به میزان تولید کشاورزان منطقه و نگهداری غده ها در کیسه های توری، در این مطالعه یک انبار زیرزمینی با ابعاد ۳×۸×۱۲به ترتیب برای طول، عرض و ارتفاع برای سیب زمینی در نظر گرفته شد. به منظور انتخاب بادزن مناسب در انبار زیرزمینی، مقاومت جریان هوا از میان توده سیب زمینی رقم آگریا و دیامانت اندازه گیری شد. با توجه به ابعاد انبار، ۶ عدد بادبزن مدل 35L ساخت شرکت مرطوب ایران با ظرفیت هوادهی ۲۵۰۰-۱۵۰۰ مترمکعب بر ساعت و قدرت۱/۵ اسب بخار می تواند تهویه این انبار را انجام دهد. بارهای وارد شده بر ساختمان انبار زیر زمینی با استفاده از نرم افزار آنالیز سازه تجزیه و تحلیل شد و با بررسی نتایج نرم افزار، ستون نوع IPB و تیر IPE جهت به کارگیری در ساختمان انبار انتخاب شدند.

کلید واژه: انبار زیر زمینی، سیب زمینی، مقاومت جریان هوا

۱- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهرکرد، پست الکترونیک: aeshagh@yahoo.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۳- دانشور هیئت علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهرکرد

مقدمه

سیب زمینی در جهان از نظر اهمیت غذایی دارای مقام پنجم بعد از گندم، برنج، ذرت و جو می باشد. ذخیره این محصول از زمانهای گذشته مورد توجه کشورهای مختلف بوده است. هدف از ساخت انبار سیب زمینی، نگهداری کیفیت و بازار پسندی سیب زمینی و ایجاد یک جریان یکنواخت برای عرضه آن به بازار می باشد. چهار مقصد خروجی انبار سیب زمینی عبارتند از: الف- سیب زمینی بذری ب- مصرف خوراکی ج- صنایع تبدیلی د- تولید الکل و نشاسته. انتخاب روش انبارداری باید احتیاجات مربوط به هر کدام از چهار گروه فوق را برآورده کند. انبارداری خوب باید از افتهای بیش از حد سیب زمینی جلوگیری کند[۱۱]. با توجه به نیاز بازار در طول سال به سیب زمینی، کشاورزان نیز با توجه به قیمت محصول در فصول مختلف سال محصول خود را عرضه می کنند. همچنین با توجه به نیاز کشاورزان برای انبار کردن بذر سیب زمینی برای سال بعد، وجود انبار سیب زمینی مناسب، امری ضروری به نظر می رسد. در ساختمان انبارهای سنتی از مصالح ساده مانند چوب، سنگ، خشت و آجر استفاده می شود. در این انبارها مقدار محدودی از محصول را می توان برای مدت نه چندان طولانی و بدون استفاده از سیستم تهویه و تبرید مکانیکی نگهداری نمود. در بعضی مناطق مرتفع و سردسیر، سیب زمینی در حفره ای با پوشش کاه گندم و چاودار با لایه ای از خاک نگهداری می شد. این انبارها بر روی زمین یا به عمق ۲ تا ۲/۵ متر در داخل زمین احداث می شدند. شرکت تعاونی تولید کنندگان بذر سیب زمینی هلند درسال۱۹۵۰ اولین انبار سیب زمینی را که دارای سیستم خنک کننده با هوای بیرون بود، مورد استفاده قرار داد و فقط برای سیب زمینی های بذری و خوراکی مورد استفاده قرار می گرفت[۱۱].

ارایه مدل ریاضی برای مطالعه انتقال حرارت در انبار سیب زمینی و تطبیق شرایط محیطی با روش منطق فازی[1][۸] و نیز استفاده از سیستم های کنترل شرایط محیطی داخل انبار [۱۰] همچنین استفاده از تونلهای رو زمینی مشبک[۱۹] از جمله تحقیقات متعددی است که در ارتباط با انبارهای سیب زمینی انجام گرفته است. از آنجا که انبارهای سنتی وضعیت مطلوبی برای نگهداری سیب زمینی فراهم نمی کنند و نیز هزینه های کارگری برای نگهداری محصول به این روش بالا است، استفاده از انبارهای فنی امری اجتناب ناپذیر است. در انبارهای فنی تجهیزات الکترومکانیکی مختلفی وجود دارد که بوسیله این تجهیزات درجه حرارت، رطوبت نسبی و عوامل دیگر از نقاط مختلف انبار قابل کنترل است. در ساختمان این نوع انبارها از مصالح مختلفی چون سفال، بتن، عایقهای حرارتی و رطوبتی استفاده می شود. هدف از تحقیق حاضر طراحی انباری زیرزمینی با حجم متناسب با تولید سیب زمینی کشاورزان خرده مالک منطقه فریدن اصفهان می باشد.

مواد و روش ها

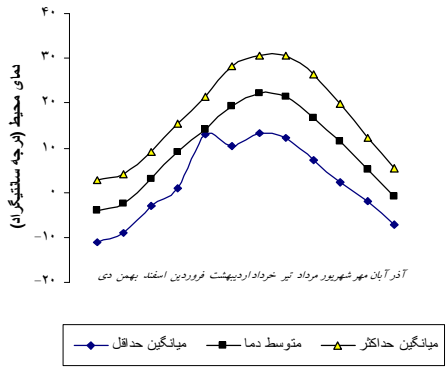
در منطقه فریدن اصفهان در حال حاضر چهار ایستگاه هواشناسی در حال فعالیت می باشند که ایستگاه داران، سینوپتیک و سه ایستگاه دیگر (بادجان ، دامنه و سینگرد) کلیماتولوژی می باشند.

۲-۱)بررسی داده های هواشناسی منطقه فریدن اصفهان

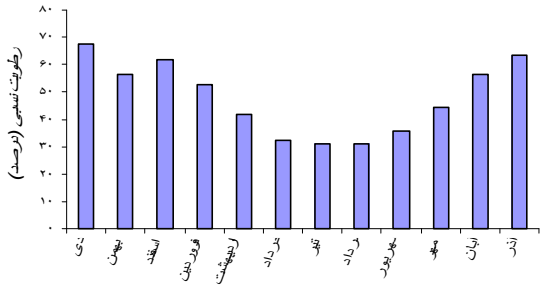
الف) بررسی ما: دمای مطلوب انبار برای نگهداری سیب زمینی۷ تا ۲ درجه سانتی گراد می باشد[۵] . مطابق آمار هواشناسی، بیشترین دامنه تغییرات ماهانه در آمار۲۰ ساله(۱۳۶۵تا ۱۳۸۵) مربوط به ایستگاه داران و کمترین آن مربوط به ایستگاه بادیجان می باشد که اختلاف اندکی با یکدیگر دارند و این در حالی است که دامنه تغییرات ایستگاههای دیگر یکسان و یا بسیار به هم نزدیک است[۲]. میانگین حداقل دمای آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند یعنی ۵ ماه از سال زیر صفر است و در این مدت سیب زمینی در انبار نگهداری می شود(شکل ۱). لذا وجود سیستم گرمایشی در انبار های منطقه مورد نظر در این ۵ ماه اجتناب ناپذیر است.

ب : بررسی رطوبت نسبی منطقه: با در نظر گرفتن رطوبت نسبی منطقه در زمان انبار داری و استفاده از نمودار سایکرومتریک ترکیب هوای ورودی به انبار و تغییر میزان رطوبت هوای ورودی میبایست مورد بررسی قرار می گیرد. میزان رطوبت نسبی هوای داخل انبار سیب زمینی باید در محدوده۸۰ تا۹۵ درصد قرار داشته باشد[۵] . مطابق شکل(۲) با توجه به پایین بودن رطوبت نسبی هوای بیرون انبار نسبت به شرایط مطلوب داخل انبار سیب زمینی، ناگزیر باید سیستم افزایش رطوبت در کل مدت انبارداری سیب زمینی در انبار بکار گرفته شود تا آب را به صورت پودر توسط نازلهایی به داخل تونل اصلی هوای ورودی تزریق کند.

1_ Fuzzy Logic Method



شکل(۱) میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه شهرستان فریدن از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵



شکل(۲) میانگین رطوبت نسبی شهرستان فریدن از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵

۲-۲-محاسبه بارگرمایشی در انبار

بار گرمایشی داخل انبار سیب زمینی معمولا ناشی از چهار منبع مختلف می باشد[۱] . برای محاسبه ظرفیت هوادهی بادبزن لازم است که تمام این بارهای گرمایشی محاسبه شوند.

الف) بار گرمایشی ناشی از کاهش درجه حرارت محصول پس از برداشت تا حد مطلوب انبارداری (q_1) :

مقدار گرمایی که باید از سیب زمینی های داخل انبار دور شود تا به دمای هوای انبار برسد که با توجه به فصل برداشت سیب زمینی یعنی نیمه اول آبان ماه به مدت ۱۰ روز انجام می گیرد[۲] . این گرما از رابطه(۱) به دست می آید.

$$Q = m.c(T_i - T_s) \qquad (۱)$$

$$q_1 = \frac{Q}{n} \qquad (۲)$$

Q: گرمایی که باید از سیب زمینی ها گرفته شود (J)

m: جرم سیب زمینی (kg)

c: گرمای ویژه سیب زمینی($\frac{J}{kg°c}$)

T_i : دمای سیب زمینی های ورودی به انبار($°c$)

T_s: دمای مطلوب انبار($°c$)

n : تعداد روزهای اول دوره انبار داری که دمای سیب زمینی باید کاهش یابد .

ب) بار گرمایشی حاصل از تنفس محصول(q_2) :

گرمای تولید شده در اثر تنفس سیب زمینی بستگی به دمای سیب زمینی و میزان خراشیدگی و زخم پوست غده در اثر برداشت می باشد. این گرما از رابطه(۳) به دست می آید.

$$q_2 = m.q_r(24\cdot 3600) \quad (۳)$$

q_2 : بار گرمایشی حاصل از تنفس محصول ($\frac{kJ}{day}$)

q_r: حرارت حاصل از تنفس سیب زمینی ($\frac{J}{ton.s}$)

پ) بار گرمایشی انتقال یافته از محیط خارج (q_3):

محاسبات انتقال حرارت سقف و دیوارهای انبار کمی با هم متفاوت است ولی هر دو از رابطه(۴) تبعیت می کنند.

$$q_3 = U.A.\Delta T\cdot 86400 \quad (۴)$$

q_3 : بار گرمایشی انتقال یافته از محیط خارج ($\frac{kJ}{day}$)

U : قابلیت هدایت حرارتی ($\frac{w}{m^{2}\circ c}$)

A : مساحت دیوارها وسقف (m^2)

ΔT : اختلاف دمای خارج و داخل انبار ($\circ c$)

(۵)

$$U = \frac{1}{R}$$

در رابطه(۵) R مقاومت حرارتی مصالح و برحسب ($\frac{m^{2}\circ c}{W}$) می باشد.

ت) بار گرمایشی ناشی از سیستم روشنایی و رفت و آمد پرسنل(q_4) :

$$q_4 = q_l + q_p \quad (۶)$$

(q_l) : بار گرمایی ناشی از سیستم روشنایی($\frac{kJ}{day}$)

(q_p) : بار گرمایی ناشی از رفت و آمد پرسنل($\frac{kJ}{day}$)

۲-۳) محاسبه میزان هوادهی مورد نیاز انبار

برای محاسبه میزان هوادهی مورد نیاز انبار از رابطه (۷) استفاده می شود.

$$Q = \dot{V}\cdot \rho\cdot \Delta i\cdot t \quad (۷)$$

Q: بار گرمایشی کل برحسب ($\frac{kJ}{day}$) که مجموع $q_1 + q_2 + q_3 + q_4$ است .

$\dot{V}$: ظرفیت هوادهی بادزن یا دبی مورد نیاز هوا برحسب ($\frac{m^3}{s}$)

ρ : جرم مخصوص هوا برحسب ($\frac{kg}{m^3}$)

Δi: اختلاف آنتالپی هوای خارج با هوای داخل انبار برحسب ($\frac{kJ}{kg}$)

t : مدت زمان هوادهی انبار برحسب ($\frac{s}{day}$)

چون Δi برابر است با $c\cdot \Delta T$ در نتیجه فرمول فوق مطابق رابطه(۸) خواهد شد.

$$Q = \dot{V}\cdot \rho\cdot c\cdot \Delta T\cdot t \quad (۸)$$

که در آن c ارزش حرارتی هوایی است که در مجاورت محصول قرار دارد بر حسب $\frac{kJ}{kg.\circ c}$ و ΔT اختلاف درجه حرارت بین هوای تازه ورودی و دمای سیب زمینی است.

بنابراین با جایگذاری بار گرمایشی کل در رابطه(۸) می توان میزان هوادهی مورد نیاز انبار را از رابطه(۹) به دست آورد.

(۹)

$$\dot{V} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{\rho \cdot c \cdot \Delta T \cdot t}$$

۲-۴) انتخاب بادبزن

برای خنک کردن سیب زمینی در انبار نیاز به بادبزنی می باشد که به داخل توده محصول هوا بدمد. البته هر جریان هوا در مسیر خود با مقاومت روبرو می گردد. این مقاومت موجب کاهش فشار هوا می شود که چنین کاهشی مبین اتلاف انرژی[1] در مسیر می باشد. بنابراین لازم است ظرفیت بادزن باندازه انرژی تلف شده، بیش از ظرفیت مورد نیاز جهت تهویه انتخاب شود. در نتیجه باید بین طرف مکش و طرف فشار بادزن اختلاف فشاری معادل میزان تلفات در سیستم تهویه ایجاد گردد. این اختلاف فشار، فشار استاتیک بادزن (p_s) نامیده می شود.

۲-۵)گنجایش و جنس ساختمان انبار زیر زمینی

گنجایش انبار به عوامل مختلفی از قبیل میزان تولید محصول و نحوه چیدمان سیب زمینی در انبار دخالت دارند. مصالح به کار رفته در انبار نیز باید در مقابل فشارهای جانبی خاک مقاوم بوده و عایق گرما و رطوبت نیز باشند. برای محاسبه بار وارد شده از طرف خاک به دیوارهای انبار از رابطه ساده شده رانکین(رابطه۱۰)و نرم افزارSAP2000 که یک نرم افزار تحلیل سازه است، بهره گرفته شد[۵] .

$$q_a = \gamma.h.k_a \qquad (۱۰)$$

q_a: فشار اعمالی از طرف خاک($\frac{kg}{m^2}$) h: عمق خاک(m) γ: وزن مخصوص خاک($\frac{kg}{m^3}$)

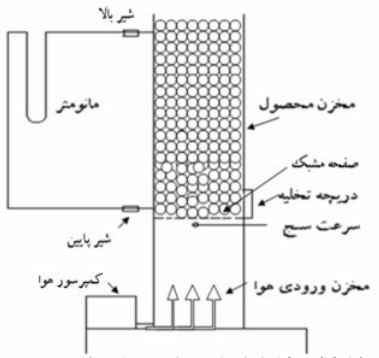
k_a : ضریب فشار فعال خاک

۲-۶) تعیین مقاومت به جریان هوا در توده سیب زمینی

به منظور بررسی مقاومت به جریان هوا در توده سیب زمینی دو رقم آگریا و دیامانت از منطقه فریدن اصفهان انتخاب شد. نمونه آگریا متشکل از ۱۷درصد غده ریز(۵/۵ تا ۷/۵ سانتی متر) ۵۲ درصد غده متوسط(۷/۵۱ تا ۹/۵ سانتی متر) و ۳۱ درصد غده بزرگ (بزرگتر از ۹/۵ سانتی متر) و نمونه سیب زمینی رقم دیامانت نیز به ترتیب شامل ۲۲، ۵۸ و۲۰ درصد غده های ریز، متوسط و بزرگ بود. طرحواره دستگاهی که برای سنجش میزان افت فشار استاتیک جریان هوا طراحی و ساخته شد در شکل(۳) نشان داده شده است[۴و۱۶] . هوا توسط یک کمپرسور مدل c-20 ساخت شرکت ناکاموای ژاپن به داخل مخزن دمیده شد. دامنه کاری این کمپرسور بین ۱۴۴ تا ۳۶۰ متر مکعب بر ساعت و قدرت آن ۲۰۰ وات بود. برای یکنواخت شدن جریان هوا، مخزن ورودی هوا با ارتفاع ۷۰ سانتی متر و قطر۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. ارتفاع مخزن قرارگیری محصول ۱۳۰ سانتی متر و قطر آن نیز۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. بین مخزن ورودی هوا و مخزن محصول یک صفحه مشبک قرار داده شد تا علاوه بر نگهداری محصول (به عنوان کف مخزن) به یکنواختی توزیع جریان هوا در محصول نیز کمک کند. انتهای فوقانی مخزن اصلی باز بود و هوا در انتهای مسیر خود از آن خارج می شد. روی بدنه مخزن نیز دو شیر خروجی به فاصله ۱۰۰ سانتی متر تعبیه شد. شیر پایینی در ارتفاع ۵ سانتی متری کف مخزن اصلی قرار گرفت و به عنوان نقطه مبنا در نظر گرفته شد[۹، ۱۴و۱۸]. برای اندازه گیری افت فشار استاتیک هوای عبوری از داخل توده سیب زمینی آزمایش در سه تکرار انجام شد. هر تکرار شامل توزین توده سیب زمینی، پر کردن مخزن دستگاه، اندازه گیری اختلاف فشار استاتیک محصول (میلی متر آب) در چهار سرعت جریان هوا (۰/۰۴ ،۰/۰۶ ،۰/۰۸ و ۰/۱ $\frac{m^3}{s}$)و تخلیه مخزن بود. برای اندازه گیری سرعت جریان هوا از بادسنج مدل AVM -05 ساخت شرکت پروای تایون و

1- Head Loss

برای اندازه گیری اختلاف فشار در ارتفاع یک متری محصول از یک مانومتر یو شکل استفاده شد. در تمام آزمایش ها اختلاف فشار برای یک متر از ارتفاع محصول اندازه گیری شد.



شکل(۳)دستگاه اندازه گیری افت فشار هوا در توده سیب زمینی

بحث و نتایج

۳-۱) طراحی انبار

مزارع کشاورزان منطقه فریدن وسیع نبوده و هرکشاورز به طور معمول۲ تا ۳ هکتار سطح زیرکشت سیب زمینی دارد و بطور متوسط ۴۰ تا ۶۰ تن سیب زمینی برداشت می کند. در منطقه فریدن از کیسه های توری برای ذخیره سازی سیب زمینی استفاده می شود. با توجه به اینکه ابعاد کیسه های توری سیب زمینی۲۵×۳۰× ۵۵ سانتی متر به ترتیب برای طول، عرض و ارتفاع می باشد، چنانچه ۱۰ عدد کیسه توری کنار هم قرار گیرند و ۸ کیسه دیگر روی آنها قرار گیرند با در نظر گرفتن ۴ ردیف کیسه سیب زمینی، ابعاد یک توده در انبار ۲×۲/۲×۳ متر به ترتیب برای طول ، عرض و ارتفاع می باشد. چنانچه وزن هر کیسه تقریبا ۲۵ کیلوگرم باشد، بنابراین وزن یک توده برابر ۸ تن است. با توجه به ابعاد توده سیب زمینی گنجایش انبار تعداد ۹ توده ۸ تنی بوده که جمع آن ۷۲ تن می باشد.

برای عبور هوا از بین سیب زمینی و همچنین برای جلوگیری از تماس مستقیم کیسه ها با دیوار انبار فاصله هایی به طول۰/۲متر در نظر گرفته شد. در صورتی که این فاصله وجود نداشته باشد احتمال تقطیر بخار آب در اثر برخورد سیب زمینی با دیوار به وجود می آید. همچنین فاصله عرضی بین توده ها در انبار ۰/۱متر در نظر گرفته شده تا در فضا صرفه جویی شود. با احتساب فضاهای خالی بین سیب زمینی ها و فضاهای ابتدا و انتهای انبار، طول انبار ۱۲/۴ متر، عرض آن ۸/۴ متر و عمق آن ۳ متر در نظر گرفته شد.

۳-۲) محاسبه بارگرمایشی در انبار

الف) بار گرمایشی ناشی از کاهش درجه حرارت محصول پس از برداشت تا حد مطلوب برای انبارداری (q_1):

در رابطه(۱۱) وزن سیب زمینی ۷۲۰۰۰ کیلوگرم، گرمای ویژه سیب زمینی ۳۶۰۰ $\frac{J}{kg\,^\circ c}$ [۶] ، دمای محیط در زمان شروع فصل نگهداری در انبار ۱۲ درجه سانتی گراد [۲] و ۱۰دد تعداد روزهای لازم برای خنک شدن سیب زمینی تا دمای انبار می باشد.

$$q_1 = \frac{Q}{n} = \frac{72000 \cdot\ 3600(12-5)}{10} = 18144 \cdot\ 10^4\ \frac{J}{day} = 181440\frac{kJ}{day} \qquad (۱۱)$$

ب) بار گرمایشی حاصل از تنفس محصول(q_2):

در رابطه(۱۲) وزن سیب زمینی۷۲ تن ، میزان گرمازایی در اثر تنفس ۱۲/۹ $\frac{w}{ton}$ [۷] عداد ۲۴ و۳۶۰۰ برای تبدیل ساعات شبانه روز به ثانیه و تبدیل وات به ژول در روز، به کار رفته اند .

(۱۲)

$$q_2 = m.q_r(24 \cdot\ 3600)$$

$$= 72 \cdot\ 12.9 \cdot\ 86400 = 80248320\frac{J}{day} = 80248\frac{kJ}{day}$$

پ) بار گرمایشی انتقال یافته از محیط خارج (q_3):

۱) انتقال حرارت از دیوارهای انبار:

مقاومت حرارتی	ضریب هدایت حرارتی مفید	ضخامت	مصالح
$R(\frac{L}{\lambda})(\frac{m^{2\circ}c}{W})$	$\lambda(\frac{W}{m^{\circ}c})$	$L(m)$	

ضخامت دیوار انبار ۵۱ سانتی متر و از آجر معمولی، آجر قزاقی، فوم پلی یورتان، پلاستر سیمان و عایق رطوبتی ایزوگام پیشنهاد شده که ضخامت هر کدام مطابق جدول(۱)است[۳] . مساحت دیوارهای انبار با توجه به ابعاد انبار به صورت زیر محاسبه می شود.

$(12.4\times3)\times2=74.4$ و $(8.4\times3)\times2=50.4$

مجموع کل سطوح دیوارها $=124.8\ m^2$

با جایگذاری جمع کل مقاومت حرارتی دیوار مطابق جدول(۱) در رابطه(۱۳) مقدار انتقال حرارت دیوارها در هر متر مربع تعیین می شود[۳] .

$$U=\frac{1}{R}=\frac{1}{2.445}=0.407\ \frac{W}{m^{2\circ}c} \qquad (۱۳)$$

دراین رابطه U مقدار انتقال حرارت بر حسب $\frac{W}{m^{2\circ}c}$ و R مقاومت حرارتی بر حسب $\frac{m^{2\circ}c}{W}$ می باشد.

گرمترین فصل انبارداری سیب زمینی در منطقه فریدن اردیبهشت ماه است که در این ماه دمای زیر زمین ۱۵/۴درجه سانتی گراد می باشد و اختلاف آن با دمای مطلوب انبار که ۵ درجه است برابر با ۱۰/۴ درجه سانتی گراد است. بنابراین با جایگذاری در رابطه (۱۴) مقدار انتقال حرارت از دیوارهای انبار تعیین می شود.

$$Q_w=U.A.\Delta T\cdot\ 86400 \qquad (۱۴)$$

$$Q_w=0.407\cdot\ 124.8\cdot\ 10.4\cdot\ 86400=45641097\frac{J}{day}=45641\frac{kJ}{day}$$

۲) انتقال حرارت از سقف انبار:

مساحت سقف انبار برابر با ۱۰۴/۱۶ متر مربع می باشد. سقف انبار به ضخامت ۳۵ سانتی متر و از بلوک سفالی، عایق حرارتی پلی یورتان، پلاستر سیمان وعایق رطوبتی ساخته می شود

$Q_r=U.A.\Delta T\cdot\ 86400$

که ضخامت هر کدام از مصالح در جدول(۲) آمده است[۳]. چنانچه اختلاف درجه حرارت بیرون و داخل انبار در شهرستان فریدن۱۵/۵درجه باشد، از رابطه (۱۵) مقدار انتقال حرارت از سقف به دست می آید.

(۱۵)

جدول(۱) انتقال حرارت از دیوار ان ار

در این رابطه Q_r انتقال حرارت از سقف برحسب $\frac{kJ}{day}$ می باشد.

آجر	۰/۳۵	۰/۸۱	۰/۴۳۲
پلی یورتان	۰/۰۳	۰/۰۳۳	۰/۹
آجر قزاقی	۰/۱	۰/۸۱	۰/۱۲۳
عایق رطوبتی	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲
پلاستر سیمان	۰/۰۲	۰/۱	۰/۲
اینرسی حرارتی			۰/۶
جمع کل			۲/۴۴۵

$$= \frac{1}{2.8} \cdot 104.16 \cdot 15.5 \cdot 86400 = 49798312 \frac{J}{day} = 49798 \frac{kJ}{day}$$

انتقال حرارت از دیوارها و سقف(q_3) با جمع بارهای گرمایشی بصورت زیر تعیین می شود.

$$q_3 = Q_w + Q_r = 45641 + 49798 = 95439 \frac{kJ}{day}$$

جدول(۲) انتقال حرارت از سقف انبار

مصالح	ضخامت $L(m)$	ضریب هدایت حرارتی مفید $\lambda(\frac{W}{m^{\circ}c})$	مقاومت حرارتی $R(\frac{L}{\lambda})(\frac{m^{2\circ}c}{W})$
بلوک سفالی	۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۳۵
پلی یورتان	۰/۰۵	۰/۰۳۳	۱/۵
پلاستر سیمان	۰/۰۲	۰/۱	۰/۲
عایق رطوبتی	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۶
اینرسی حرارتی			۰/۱۵
جمع کل	۰/۳۵		۲/۸

ت) بار گرمایشی سیستم روشنایی و رفت و آمد پرسنل(q_4):

۱) بار گرمایشی سیستم روشنایی(q_l):

با فرض اینکه یک کارگر در طول شبانه روز یک ساعت در انبار باشد بنابراین مدت زمان روشنایی لازم نیز یک ساعت است. با استفاده از رابطه (۱۶) بار گرمایشی ناشی از سیستم روشنایی به دست می آید .

$$q_l = A.L.T \qquad (۱۶)$$

در این رابطه A مساحت انبار بر حسب فوت مربع، L میزان استاندارد روشنایی برحسب $\frac{w}{ft^2}$ و T مدت زمان روشنایی برحسب ثانیه می باشد. میزان استاندارد روشنایی در انبار سیب زمینی به ازای هر فوت مربع $1\frac{w}{ft^2}$ می باشد[۱۰].

$$q_l = 9.8 \cdot 7.4 \cdot 1 \cdot 10.76 \cdot 3600 = 2809000 \frac{J}{day} = 2809 \frac{kJ}{day}$$

۲) بار گرمایشی رفت و آمد پرسنل(q_p):

استاندارد بار گرمایشی حاصل از عبور و مرور پرسنل به داخل انبار برای یک فرد $\frac{kJ}{day}$ ۸۸۲ می باشد [۱۳] .

$$q_p = 882 \cdot 1 = 882 \frac{kJ}{day}$$

با جمع کردن بار گرمایشی سیستم روشنایی و رفت و آمد پرسنل، q_4 بصورت زیر به دست می آید.

$$q_4 = q_l + q_p = 2809 + 882 = 3691 \frac{kJ}{day}$$

۳-۳) محاسبه میزان هوادهی مورد نیاز انبار

برای محاسبه میزان هوادهی، مجموع بارهای گرمایشی به دست آمده از روابط (۱۱)تا (۱۶) در رابطه (۱۷)جایگذاری می شوند.

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot \Delta i \cdot t \qquad (۱۷)$$

ρ **:** جرم مخصوص هوا معادل ($1.26\frac{kg}{m^3}$) در دمای ۵ درجه سانتی گراد می باشد[۶] .

چون اختلاف آنتالپی هوای بیرون و درون انبار(Δi) برابر است با $c \cdot \Delta T$ در نتیجه رابطه(۱۷)به صورت رابطه(۱۸)خواهد شد.

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \cdot t \qquad (۱۸)$$

که در این رابطه c ارزش حرارتی هوایی که در مجاورت محصول قرار دارد معادل ($2 \frac{kJ}{kg.^{\circ}c}$) و ΔT اختلاف درجه حرارت بین هوای تازه ورودی و دمای سیب زمینی است، که مقدار آن بین ۱/۵تا ۱درجه سانتی گراد می باشد[۶]. بر اساس مقادیر فوق رابطه (۱۸) به صورت زیر خواهد شد .

$$\dot{V} = \frac{Q}{3.7 \cdot t} (\frac{m^3}{s}) \qquad (۱۹)$$

با بررسی دمای شبانه روزی هوا در شهرستان فریدن میزان ۷ ساعت هوادهی در روز در نظر گرفته می شود. بنابراین با استفاده از رابطه (۲۰) میزان هوادهی برحسب متر مکعب بر ثانیه به دست می آید.

$$\dot{V} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{3.7 \cdot 7 \cdot 3600} \qquad (۲۰)$$

$$= \frac{181440 + 80248 + 95439 + 3691}{3.7 \cdot 7 \cdot 3600} = 3.8 \ \frac{m^3}{s}$$

۳-۴) انتخاب بادبزن و طراحی تونل هوا

از آنجا که ذخیره کردن سیب زمینی در کیسه های توری صورت می گیرد تونل هوای انبار نمی تواند بالاتر از سطح زمین باشد، زیرا از تونلهای روی سطح زمین برای محصولات فله ای استفاده می شود[۱۹]. بمنظور اینکه تمام کف انبار از نظر هوادهی تحت پوشش یکسان قرار گیرد ۶ عدد تونل زیرزمینی با طول۹/۶ متر و عرض۰/۷متر در نظر گرفته شد. چنانچه سرعت متوسط عبور هوا در مقطع ورودی ۴ متر بر ثانیه فرض شود[۹] ، مساحت مقطع ورودی تونل ۰/۱۵۷۵ متر مربع خواهد بود. با توجه به رابطه(۲۱) مساحت مقطع ورودی تونل تعیین می شود.

$$A = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{0.63}{4} = 0.1575\, m^2 \qquad (۲۱)$$

$\dot{V}$: دبی هوا در هر تونل که از تقسیم ۳/۸ بر ۶ عدد تونل برحسب $\frac{m^3}{s}$ به دست میآید.

V: سرعت عبور هوا در تونل، $\frac{m}{s}$

با تقسیم مساحت ورودی تونل بر عرض تونل، ارتفاع تونل در مقطع ورودی به دست می آید.

$$\frac{0.1575}{0.7} = 0.225m$$

برای گردکردن، ارتفاع تونل۰/۲۵متر در نظر گرفته شد. با توجه به اعمال ضریب ۷:۱ [۹]، مساحت دهانه خروجی و ارتفاع تونل در آن مقطع محاسبه شد. چون عرض تونل ثابت است ارتفاع تونل در مقطع خروجی ۳/۵ سانتی متر می شود(شکل۴).

$$\frac{0.1575}{7} = 0.0225m^2 \Rightarrow \frac{0.0225}{0.7} = 0.032m$$

افت فشار هوا و اتلاف انرژی در سیستم تهویه و خنک کاری انبار شامل دو قسمت می شود که عبارتند از :

الف) تلفات انرژی در تونل: برای سرعتهای ۴ تا ۶ متر برثانیه این مقدار برابر با ۱۰۰-۸۰ پاسکال می باشد[۹] .

ب) تلفات انرژی در توده محصول: با توجه به نتایج آزمایش این مقدار برای ۲ متر ارتفاع سیب زمینی در انبار برابر با ۱۱ پاسکال می باشد.

بنابراین با توجه به اطلاعات فوق، ۶ عدد بادبزن مدل 35L ساخت شرکت مرطوب ایران با ظرفیت هوادهی ۲۵۰۰-۱۵۰۰ مترمکعب بر ساعت، قدرت۱/۵ اسب بخار و ابعاد ۷۱ ×۶۱/۵×۷۴ می تواند نیاز این انبار را برطرف کند.

شکل (۴)ارتفاع ابتدا و انتهای تونل هوا

۳-۵) مشخصات سازه انبار

بمنظور تعیین مشخصات سازه انبار، بارهای وارده بر ساختمان انبار در نرم افزارSAP2000 مورد بررسی قرار گرفت. بارهای اعمالی عبارتند از:

الف) بار مرده : این بار از طرف پشت بام، دیوارها و اسکلت فلزی اعمال شده و حدود ۶۹۰ کیلوگرم بر متر مربع تخمین زده شده و در این راستا فاصله عرضی ستونها نیز ۴ متر در نظر گرفته شد.

ب) بار زنده : این بار شامل وزن برف و ترددهای روی سقف انبار می باشد که ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شد.

ج) بار ناشی از فشار خاک بر دیوارهای انبار: این بار با استفاده از رابطه(۱۰) به دست آمد[۵].

$$\gamma h k_a = 1600\ \frac{kg}{m^3} \cdot\ h \cdot\ 0.19$$

در این رابطه وزن مخصوص خاک(γ)۱۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ضریب فشار فعال خاک(k_a)۰/۱۹و عمق انبار(h) ۳ متر در نظر گرفته شد. میزان فشار خاک(q_a) بر دیوارهای انبار برای اعماق ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵ و۳ متر به ترتیب برابر با ۲۲۸، ۴۵۶ ، ۶۴۸ و۹۱۲ کیلوگرم بر متر مربع می باشد.

د) بار ناشی از باد و زلزله: با توجه به اینکه تراز پایه این ساختمان مطابق با سطح زمین است، نیروهای زلزله و باد بر ساختمان انبار زیر زمینی اثر نمی کند[۵] . با بررسی نتایج نرم افزار سازه، ستون نوع IPB وتیر IPE جهت ساختمان انبار زیر زمینی مناسب تشخیص داده شدند.

۳-۶) اثر سرعت جریان هوا بر میزان افت فشار استاتیک هوا

با افزایش سرعت هوا از ۰/۰۴ متر بر ثانیه تا ۰/۱ متر بر ثانیه، میزان مقاومت توده سیب زمینی در مقابل جریان هوا افزایش یافت. زیرا هوا درحین عبور از فضاهای خالی بین غده های سیب زمینی با غده ها و دیگر ذرات موجود در مسیر برخورد می کند و بخشی از انرژی خود را از دست می دهد. هرچه سرعت جریان هوا بیشتر باشد این برخوردها بیشتر و اتلاف انرژی و در پی آن افت فشار استاتیک هوا بیشتر خواهد بود[۱۵]. نتایج آزمایش افت جریان هوا برای دو رقم سیب زمینی مورد مطالعه در جدول(۳) نشان داده شده است. با افزایش درصد تخلخل توده سیب زمینی، تغییراتی در افت فشار هوای عبوری حاصل می شود. مثلا در سرعت۰/۱ متر برثانیه و تخلخل ۴۱ درصد افت فشار ۲ میلی متر آب بوده در حالی که این میزان برای تخلخل ۳۸ درصد، ۳/۵ میلی متر آب می باشد(جدول۳و۴). با افزایش تخلخل، هوا به آسانی می تواند از لایه های توده عبور کند ولی با کاهش تخلخل، هوا مجبور است مسافت طولانی تری را در توده طی کند و به همین جهت افت فشار بیشتری رخ می دهد[۱۸]. از آنجا که در انبارهای زیرزمینی سیب زمینی، هوا با فشار از پایین توده سیب زمینی وارد می شود، نحوه چیدمان کیسه ها از اهمیت خاصی برخوردار است. چنانچه چیدمان کیسه ها متقارن و یکنواخت باشد، توزیع سرعت و فشار هوا نیز متقارن بوده و محصولات به خوبی تهویه می شوند.

جدول (۳) افت فشار هوا در سرعتهای مختلف برای دو رقم سیب زمینی برحسب میلی متر آب

سرعت هوا $\frac{m^3}{s}$	غده با وزن کمتر از ۱۲۰ گرم		مخلوط		غده با وزن بیشتر از ۱۲۰ گرم	
رقم سیب زمینی	اگریا	دیامونت	اگریا	دیامونت	اگریا	دیامونت
۰/۰۴	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
۰/۰۶	۱/۵	۲	۱	۱/۵	۱	۱
۰/۰۸	۲/۵	۲/۵	۱/۵	۲	۱/۵	۲
۰/۱	۳/۵	۴/۵	۲	۳	۲	۲/۵

جدول(۴)وزن مخصوص و تخلخل دو رقم سیب زمینی

	غده با وزن کمتر از ۱۲۰ گرم		مخلوط		غده با وزن بیشتر از ۱۲۰ گرم	
رقم سیب زمینی	اگریا	دیامونت	اگریا	دیامونت	اگریا	دیامونت
وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	۶۴۲	۶۶۸	۶۱۱	۶۲۷	۵۸۷	۶۰۳
(درصد) تخلخل	۳۸	۳۵	۴۱	۳۹	۴۲/۸	۴۰

پیشنهادات

امروزه انبارهای مدرن تمام کامپیوتری، دمای هوا، رطوبت محیط، شدت نور، میزان دی اکسید کربن هوا و سایر پارامترهای انبار را اندازه گیری و مانیتور می کنند. با توجه به سادگی و کاربرد گسترده ی کنترل کننده های دو وضعیتی (ON/OFF)، به نظر می رسد این کنترل کننده ها در انبارهای زیر زمینی سیب زمینی نیز قابل استفاده باشند[۱].

منابع مورد استفاده

۱- بی نام (۱۳۸۰) مبانی طراحی انبارهای سیب زمینی. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۱۶۸، صفحات ۲۵۷ تا ۳۰۴ .

۲- بی نام (۱۳۸۵) آمار نامه هواشناسی. سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران، مرکز داده های استان اصفهان.

۳- بی نام (۱۳۸۵) مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان. سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور.

۴-گودرزی ف (۱۳۸۵)اندازه گیری مقاومت توده ی سیب زمینی رقم مارفونا به عبور جریان هوا. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۷، شماره۲۶ صفحه۴۳-۵۴ .

۵- مستوفی نژاد د (۱۳۸۰) بارگذاری و سیستم های باربر. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

6- Anonymous (2003) Principles of potato storage. International potato center. Lima. Peru.

7- Beukem K and Brui S (1983) Three-dimensional natural convection in a porous medium with internal heat generation. Int. Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 26, No. 3, pp. 451–458.

8- Bishop CFH (1980) Potato mechanization and storage. Ipswich united Kingdom. Farming press limited.

9- Bowyer RG and Intong CL (1987) Pressure losses in ventilated paddy rice stores. Food Technol. in Aust. Vol. 35, No. 2, pp. 78-79.

10- Gottschal k (1996) Mathematical modeling of the thermal behavior of stored potatoes and developing of fuzzy control algorithms to optimize the climate in store. Acta. Horticulture. Vol. 406, pp. 331– 339.

11- Ilangantileke S and Khatana GVS (1997) Improved Rustic Storage in South Asia. Program Report, Lima, CIP, pp 256-263.

12- Irvine DA, Jayas DS and Mazza G (1993) Resistance to air flow through potato. Trans. of the ASAE, Vol. 36, No. 5, pp 1405-1410.

13- Landry JA and Norris E (2002) Expert system for the control of potato storage Environment. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 17, No. 6, pp. 83–84.

14- Misener GC (1986) Airflow resistance due to soil on bulk potatoes. Can. Agric. Eng. Vol. 28, pp. 43-49.

15- Neale MA and Messer HGM (1976) Resistance of root and bulk vegetable to airflow. Journal of Agric. Eng. Res. Vol. 21, pp. 221-231.

16- Rajabipour A, Shahbazi F, Mohtasebi S and Tabatabaefar A (2001) Air resistance in walnuts. Journal of Agric. Sci. Technol. Vol. 3, pp. 257-264.

17- Rastovski A (1987) Storage of potato. Pudoc, Wageningen.

18- Segerlind LJ (1983) Presenting velocity–pressure gradient data for use in mathematical model. Trans of the ASAE, 26(4)1245-48.

19- Xu Y and Burfoot D (2002) Simulating the bulk storage of food stuffs. Journal of Food Engineering, Vol. 39, pp. 23–29.

Design underground bin storage for potato

Abstract

Potato is the most important food crop in the world after, wheat, rice, maize and barley. Storage of potato was attention by many countries since many years ago. The use of potato stories is necessary for two purpose; the raise of quality and preventing spoilage.

In this study design underground bin storage for potato were assumed. The volume of this store was suited with the rate of farmer potato production and was near the farm to reduce transporting cost to large stories. In this study the long, width and depth of structure was 12, 8 and 3 m, respectively. For selecting the fan capacity and designing aeration system an apparatus consisted of an air compressor, a cylindrical bin and an inclined U tube manometer were used. The static pressure loss through the pile of two potato variety (Agria and Diamant) for four velocities (0.04, 0.06, 0.08 and $0.1 \frac{m^3}{s}$) was measured. Then the effect of potato porosity to pressure loss was measured.

The results of experiment indicated that:

- The range of static pressure loss was 2-5 pascal per meter of potato pile and increased by increasing the velocity of air.
- The static pressure loss for variety of Diamant was higher than Agria and this is to lower porosity of this variety.

For determine the properties of material and store structure, the data of weather for Fereidan part of Esfahan was used. Then the beam and column of structure were selected with use of SAP2000 structure analyzer.

Key words : Underground bin storage, Potato, Air flow resistance