مجله مهندسي بيوسيستم ايران (۴۲) ۲, ۱۳۹۰ (۲۱۳-۲۰۵)

تاثير هيدروكلوئيد زانتان در بهبود ويژگي هاي فيزيكي و حسي خمير و نان بربري

صادق ريخته‌گري [۱]، بابک قنبرزاده [۲]* و بابك غياثي[۳]
[۱]، دانش آموخته كارشناسي ارشد، مهندسي كشاورزي- علوم و صنايع غذايي، [۲]، استاديار، دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات تهران و [۲]، دانشيار گروه علوم و صنايع غذايي دانشكده كشاورزي دانشگاه تبريز
(تاريخ دريافت: ۱۳۸۹/۶/۲۴- تاريخ تصويب: ۱۳۹۰/۸/۳)

چكيده

در اين تحقيق، اثر هيدروكلوئيد زانتان در دو غلظت ۰/۵% و ۰/۱% (وزني- وزني بر پايه آرد) بر ويژگي هاي فيزيكي و حسي نان بربري تازه و در طول دوره نگهداري مورد مطالعه قرار گرفت. اثر زانتان بر خصوصيات فيزيكي نان بعد از پخت، توسط آزمون مكانيكي، رنگ سنجي پوسته نان و آزمون كالريمتري روبشي تفاضلي (DSC) مطالعه شد. همچنين آزمون حسي براي تعيين ميزان مقبوليت نان بربري انجام شد. تمام آزمون‌هاي انجام شده بر روي نان، به غير از آزمون رنگ سنجي، همگي در يک روز، دو روز و چهار روز پس از پخت انجام شدند. به طور كلي، با افزودن زانتان، خواص فيزيكي و مقبوليت كلي نان بهبود يافت. زانتان موجب افزايش قوام خمير، بالا رفتن ميزان جذب آب، افزايش زمان گسترش خمير و نرم شدن آن شد. همچنين موجب زردتر و روشن تر شدن پوسته و نرم شدن مغز نان شد. نمونه‌هاي حاوي ۰/۵ درصد صمغ زانتان، بالاترين كيفيت و كمترين تغييرات نامطلوب را طي دوره نگهداري نشان دادند.

واژه‌هاي كليدي: نان بربري، صمغ زانتان، ويژگي هاي فيزيكي، ويژگي هاي حسي

مقدمه

نان گندم به عنوان غذاي اصلي مردم ايران، روزانه قسمت اعظم انرژي، پروتئين، املاح معدني و ويتامين‌هاي گروه B مورد نياز را تأمين مي كند. آمار نشان مي دهد كه بيش از ۳۰% نان‌هاي سنتي توليد شده، به علت كيفيت نامطلوب توليد، تبديل به ضايعات مي‌شوند. بيات شدن نان، فرايند فيزيكوشيميايي پيچيده‌اي است كه نتيجة آن، سفت شدن مغز و لاستيكي شدن پوسته نان و ناشي از تغييرات رخ داده در نشاسته (رتروگراداسيون) و گلوتن مي‌باشد. ايجاد پيوندهاي هيدروژني بين زنجيرهاي آمورف نشاسته و تبديل آنها از شكل آمورف به شكل كريستالي، ايجاد پيوند هيدروژني بين گرانول‌هاي نشاسته و شبكه گلوتني و تبديل كريستال‌هاي آلفا به بتا در مولكول هاي نشاسته، همگي تغييراتي هستند كه مي‌توانند در بياتي نان نقش مهمي ايفا نمايند (Gray & Bemiler, 2003).

هيدروكلوئيدها، بيوپليمرهاي كربوهيدراتي (مانند صمغ‌ها) و گاهي پروتئيني (مانند ژلاتين) هستند كه مي‌توانند مقدار زيادي آب را در ساختار خود جذب كرده و يا گير بياندازند و بدين طريق باعث ايجاد خواص كاربردي مفيد در سامانه‌هاي غذايي شوند (Ghanbarzadeh, 2010). مهمترين اثرات هيدروكلوئيدها در محصولات نانوايي عبارتند از:

اثرات ضدبياتي: اين مواد، به علت ظرفيت بالاي نگهداري آب، موجب حفظ آب در فرآورده‌ها شده و در نتيجه از مهاجرت آب به پوسته جلوگيري مي‌كنند. به همين دليل پوسته حالت چرمي پيدا نكرده و بيات نمي‌شود. علاوه بر اين، هيدروكلوئيدها با اتصال به مولكول‌هاي آب، اين مولكول‌ها را از دسترس زنجيرهاي نشاسته خارج مي‌كنند. در نتيجه محيط براي تحرک زنجيرهاي نشاسته مهيا نشده و اين زنجيرها نمي‌توانند به يكديگر متصل شوند. مكانيسم ديگري كه به هيدروكلوئيدها در به تعويق انداختن بياتي نسبت داده شده، اين است كه اين مواد از اتصال زنجيرهاي نشاسته به شبكه گلوتني جلوگيري كرده و نمي‌گذارند بافت داخلي نان سفت شود (Mandala et al., 2006). برخي از پژوهشگران نيز بر اين باورند كه هيدروكلوئيدها بيشتر، بخش بي‌شكل (آمورف) بافت مغز نان را اصلاح مي‌كنند كه اين كار از طريق جلوگيري از ايجاد پيوند بين گلوتن و نشاسته رخ مي‌دهد (Gray & Bemiler, 2003).

بهبود كيفيت نان‌هاي تازه: گزارش‌هاي متعددي مبني بر بهبود ويژگي‌هاي كيفي نان‌هاي مختلف مانند بهبود حجم، نسبت ارتفاع به ضخامت، بهبود عطر و طعم و تردي، افزايش فعاليت آبي و كاهش سفتي مغز نان منتشر شده است. (Rosell et al., 2001; Guarda et al., 2004; Barcenas, 2004).

جايگزيني به جاي چربي‌ها: هيدروكلوئيدها مي‌توانند به عنوان جايگزين چربي در فرمولاسيون موادغذايي نيز مورد استفاده قرار گيرند (Rosell et al., 2001; Barcenas, 2004 &

* نويسنده مسئول: ghanbarzadeh@tabrizu.ac.ir

(2007. اين عمل باعث كاهش دريافت كالري بالا و كلسترول از طريق چربي ها مي‌گردد.

جايگزيني به جاي گلوتن: برخي از افراد به دليل نداشتن آنزيم‌هاي لازم نمي‌توانند گلوتن موجود در گندم را هضم كنند. طبق تحقيقات انجام شده متيل سلولز و صمغ عربي مي‌توانند به عنوان جايگزين گلوتن در فرمولاسيون نان‌هاي بدون گلوتن به كار روند (Guarda et al., 2004).

بهبود مقاومت به تخمير: طبق تحقيقات انجام شده اصلاح و بهبود پايداري خمير گندم در حين تخمير مي‌تواند توسط افزودن هيدروكلوئيدها به فرمولاسيون نان حاصل شود (Guarda et al., 2004).

تقويت مقاومت به انجماد و انجمادزدايي: پژوهشگران بر اين باورند كه هيدروكلوئيدها در فرآورده‌هايي كه منجمد شده و انجمادزدايي مي‌شوند مي‌توانند باعث بهبود كيفيت محصول شوند (Guarda et al., 2004).

با توجه به پژوهش‌هاي گذشته مبني بر تاثيرات مثبت برخي از هيدروكلوئيدها در غلظت‌هاي مشخص، بر كيفيت نان گندم، هدف از انجام اين تحقيق، ايجاد تغيير در فرمولاسيون نان بربري با استفاده از هيدروكلوئيد زانتان، بررسي تاثير به كارگيري زانتان بر روي خصوصيات رئولوژيكي و حسي خمير و نان نهايي، مقايسه نتايج به دست آمده از تيمارهاي مختلف با يكديگر و يافتن بهترين تيمارها، با توجه به برآورد كلي از آزمايش‌هاي انجام شده بر روي خمير و نان نهايي مي باشد.

مواد و روش‌ها

آزمون‌هاي انجام شده بر روي آرد

رطوبت (AACC 44-15A)، مقدار خاكستر (AACC 08-01)، مقدارپروتئين (AACC 08-01)، مقدار pH (AACC 02-52)، مقدار چربي (AACC 30-25)، مقدار عدد فالينگ (AACC56-81B)، مقدار گلوتن مرطوب (۲- ۹۶۳۹ و يا ۱- ۳۲۴۶ استاندارد ملي ايران) و مقدار فيبر خام آرد (AACC32-10)، اندازه‌گيري شدند.

آزمون‌هاي انجام شده بر روي خمير

آزمون فارينوگراف

براي تعيين خصوصيات خمير از آزمون فارينوگراف (AACC54-10) استفاده شد. دستگاه مورد استفاده، مدل ۸۲۷۵۰۴، ساخت كمپاني برابندر آلمان بود. تيمارها شامل، خمير حاوي ۰/۵% زانتان، خمير حاوي ۰/۱% زانتان و خمير فاقد هيدروكلوئيد كه به عنوان تيمار شاهد تلقي مي‌شد، بودند. از اين آزمون پارامترهايي همچون درصد جذب آب، زمان رسيدن[1] (A)، زمان پيك يا زمان گسترش خمير[2] (B) (DDT)، شاخص تحمل به مخلوط كردن[3] (E) (MTI) و درجه نرم شدن[4](F) در ارتباط با خمير به دست مي‌آيد.

آزمون اكستنسوگراف

آزمون‌ها اكستنسوگراف براي تعيين خواص كششي خميرها (AACC54-10) با استفاده از دستگاه مدل ۸۱۰۱۱۲، ساخت كمپاني برابندر آلمان صورت گرفت و تيمارها مشابه فارينوگراف بودند. هر نمونه سه مرحله تخمير را در بازه‌هاي زماني ۴۵ دقيقه‌اي طي كرد. به عبارت ديگر سه قالب ۱۵۰ گرمي از هر نمونه تهيه و به ترتيب ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ دقيقه تخمير انجام شد. فاكتورهاي مورد اندازه گيري عبارت بودند از:

ميزان مقاومت در برابر كشش[5] ($R_{5.}$) كه برابر است با ارتفاع منحني بعد از ۵۰ ميلي‌تر جابه‌ايي روي نمودار اكستنسوگرام و بر حسب واحد برابندر بيان مي‌شود. هر چقدر اين ارتفاع بيشتر باشد، نشان دهنده بالا بودن مقاومت خمير در برابر كشش خواهد بود.

حداكثر مقاومت خمير به كشش (R_m) كه پيك اكستنسوگرام را نشان مي دهد.

كشش پذيري خمير[6](E) كه طول منحني از زمان آغاز تا زمان پاره شدن خمير بوده و بيانگر ميزان كشش پذيري خمير در برابر نيروي كشش اعمال شده به خمير است و بر حسب ميلي‌متر بيان مي شود.

عدد نسبت[7] : اين عدد بيانگر نسبت پارامتر $R_{5.}$ به ميزان كشش پذيري در نقطه $R_{5.}$ مي‌باشد. هرچه اين نسبت از لحاظ عددي بزرگتر باشد، نشان دهنده اين است كه آرد و خمير حاصل از آن قوي تر مي‌باشد.

مقدار انرژي مصرف شده كه مساحت سطح زير منحني بوده و مقدار انرژي را كه صرف مي شود تا خمير كش آمده و در نهايت پاره شود را بيان مي كند و برحسب cm^2 بيان مي شود.

آزمون‌هاي انجام شده بر روي نان

آزمون رنگ سنجي

اين آزمون توسط دستگاه رنگ سنج هانتر لب[8]، مدلD25-9000 ساخت كشور آمريكا انجام شد. هدف از انجام

1. Arrival time
2. Dough developing time
3. Mixing tolerance index
4. Degree of softening
5. Resistance to Extension
6. Extensibility
7. Ratio Number
8. Hunter Lab

اين آزمون بررسي تغييرات رنگ سطح نان با درصدهاي مختلف از زانتان مي‌باشد. اين آزمون نيز در سه تكرار انجام شد. ميزان رنگ با استفاده از پارامترهاي هانترلب، بر حسب روشنايي[1] (L^*)، قرمزي- سبزي (a^*) و زردي-آبي (b^*) بيان مي‌شود. نمونه‌ها بر روي صفحه استاندارد سفيد ($L^*=۹۶/۸۶$, $a^*=-۰/۰۲$, $b^*=۱/۹۹$) قرار داده شدند. ارزش‌هاي رنگ به صورت زير محاسبه مي‌شوند:

$$YI=\frac{۱۴۲/۸۶b^*}{L^*} \quad (۱)$$

$$WI=۱۰۰-\sqrt{[(۱۰۰-L^*)^۲+a^{*۲}+b^{*۲}]} \quad (۲)$$

YI: انديس زردي WI: انديس سفيدي

اختلاف رنگ كلي بين نمونه‌ها از معادله زير به دست مي‌آيد:

$$\Delta E=[(\Delta L^*)^۲+(\Delta a^*)^۲+(\Delta b^*)^۲]^{\frac{۱}{۲}} \quad (۳)$$

آزمون كالريمتري روبشي تفاضلي (DSC)[2]

اين آزمون توسط دستگاه DSC، ساخت كشور فرانسه، با نام تجاري (SETARAM) انجام گرديد. در اين آزمون نان به وزن ۱۵ گرم در پن[3] دستگاه (ظرف كوچك آلومينيومي) به صورت كاملاً پوشانده شده قرار گرفت. اسكن گرمايي بين ۲۵ $^{\circ}C$ تا ۱۶۰ $^{\circ}C$ با سرعت ۱۰ $^{\circ}C/min$ انجام شد.

آزمون خواص مكانيكي (آزمون نفوذ)

براي تعيين ويژگي‌هاي بافتي نان و به ويژه تعيين سفتي پوسته، از دستگاه بافت سنج با پروب نفوذي استفاده شد. دستگاه مورد استفاده، با نام هونسفيلد[4] مدل H5KS ساخت كشور انگلستان مي‌باشد. از تمامي نان‌ها، نمونه‌هايي به ابعاد ۲ × ۲ سانتي‌متر تهيه شد. نيروي به كار رفته ۵ كيلوگرم يا ۵۰ نيوتن بود كه توسط فك بالايي به نمونه وارد شد. سرعت فك بالايي ۵۰ ميلي‌متر در دقيقه تعيين شد. در اين آزمون از پروب نفوذي استوانه اي شكل و با قطر ۳/۲ ميلي متر استفاده شد. اين آزمون با سه بار تكرار و در روزهاي اول، دوم و چهارم پس از پخت، براي تمام نمونه‌ها انجام شد. از اين آزمون دو ويژگي رئولوژيكي مهم حاصل مي‌شوند:

۱) حداكثر نيرو يا مقدار نيروي شكست[5] (F_{MAX}) كه واحد آن نيوتن مي‌باشد.

۲) حداكثر تغيير شكل يا مقدار تغيير شكل شكست[6] (D_{MAX}) كه واحد آن ميلي‌متراست. هرچه نيروي شكست نمونه بيشتر باشد به اين معنا است كه، پوسته اين نمونه محكم تر بوده و براي پاره شدن به نيروي بالاتري نياز دارد. در مورد ميزان تغيير شكل شكست، اگر اين مسافت زياد باشد، نشان دهنده اين است كه پوسته نان الاستيک بوده است و بالعكس اگر مسافت كم گزارش شد، به اين معنا است كه پوسته نان حالت غير منعطف و ترد داشته و سريع پاره مي شود.

آزمون هدونيک[7] پنج نقطه‌اي

در اين آزمون حسي، از روش هدونيک ۵ نقطه اي استفاده شد. هدف از انجام اين آزمون حسي، تعيين ميزان مقبوليت كلي نمونه‌ها در نظر افراد ارزياب مي‌باشد. تعداد ارزياب‌ها در اين نوع آزمون ۶ نفر بود. در اين قسمت از ارزياب‌ها خواسته شده كه به نمونه‌ها صفت‌هاي كلي لذت بخشي (هدونيک)، از بسيار ناخوشايند تا بسيار خوشايند بدهند. سپس اين صفت‌ها به ترتيب به اعداد يک تا پنج تبديل شدند.

تجزيه و تحليل آماري

آزمون آماري بر اساس طرح كاملاً تصادفي با ۳ تيمار و ۳ مرتبه تكرار در روش‌هاي دستگاهي و ۶ مرتبه تكرار در روش‌هاي حسي انجام شد. ابتدا آناليز واريانس يک طرفه در سطح ۵ درصد و سپس آزمون مقايسه ميانگين‌ها از نوع دانكن به منظور بررسي معني‌دار بودن نتايج حاصله انجام شد. تجزيه و تحليل‌هاي آماري با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۴ و همچنين نرم افزار Microsoft Office Excel 2003 انجام پذيرفت.

نتايج و بحث

آزمون‌هاي ويژگي‌هاي آرد

با توجه به نتايج ارائه شده در جدول (۱)، تمام فاكتورهاي آزمايش شده در حد استاندارد بودند. تنها فاكتور رطوبت در حدود ۰/۰۵% از ميزان استاندارد بالاتر مي‌باشد كه قابل چشم‌پوشي است.

آزمون فارينوگراف

با توجه به نتايج حاصل از آزمون فارينوگراف (جدول ۲)، نمونه‌هاي حاوي زانتان در هر دو سطح ۰/۵ و ۰/۱ درصد باعث افزايش جذب آب شدند كه در تطابق با تحقيقات پيشين قرار داشت (Rosell et al., 2001; Shalini et al., 2007). همچنين اين هيدروكلوئيد باعث بهبود پارامترهاي فارينوگرافي شد، به

1. Lightness Index
2. Differential Scanning Calorimetry
3. Pan
4. Hounsfield
5. Maximum load or Rupture force
6. Maximum Deformation
7. Hedonic

عبارت ديگر، حداكثر قوام خمير، زمان گسترش (DDT)، زمان پايداري و FQN را افزايش و درجه نرم شدگي و شاخص تحمل به مخلوط كردن (MIT) خمير بربري را كاهش داد. حداكثرقوام خمير، حداكثر مقاومت خمير در برابر نيرويي كه پره‌هاي همزن به آن اعمال مي‌كند را نشان مي‌دهد و از پيک منحني فارينوگرافي به دست مي آيد.

جدول ۱- نتايج حاصل از آزمايشهاي اوليه آرد ستاره و مقايسه آن با استاندارد موجود در پژوهشكده غلات

نمونه	رطوبت (درصد)	خاكستر در مادۀ خشک (درصد)	چربي (درصد)	پروتئين درمادۀ خشک(درصد) (N:5.7)	فيبر	pH	گلوتن مرطوب(درصد)	عدد فالينگ (ثانيه)
آرد ستاره مصرف شده	١٤/٢٥	٠/٧٨٣	١/٥٤	١١/٧٣	٠/٥٧	٦/٢٤	٢٣/٦	٤٦٣
استاندارد آرد ستاره	كمتر از١٤/٢	كمتر از٠/٨٥	____	بيشتر از١٠	____	٥/٥ الي ٦/٥	_____	____
استاندارد آرد بدون سبوس	كمتر از١٤/٢	كمتر از١/٢٢٥	____	بيشتر از١٠/٥	____	٥/٥ الي ٦/٥	____	____
استاندارد آرد كامل	كمتر از١٢/٥	كمتر از١/٦٠٠	____	بيشتر از١١	____	٥/٥ الي ٦/٥	____	____

افزايش قوام خمير و تشكيل شبكه موقت ژل توسط هيدروكلوئيدها، به طور بالقوه مي‌تواند موجب حفظ بيشتر گاز دي اكسيد كربن و بخار آب توليد شده در خمير و در نتيجه افزايش حجم، تخلل و تردي مغز نان گردد. زمان گسترش نيز مدت زمان مورد نياز براي تشكيل و توسعه شبكه گلوتني را نشان مي‌دهد و با افزايش كميت و كيفيت شبكه گلوتني مقادير آن افزايش مي‌يابد. افزايش زمان گسترش خمير نشان مي‌دهد كه زانتان موجب افزايش قدرت شبكه ژلي گلوتن گرديده است. در جدول (۲)، دو ستون مجزا به فاكتور درجه نرم شدن اختصاص يافته است. ستون اول بر اساس استاندارد انجمن شيميدانان غلات آمريكا (AACC) و ستون دوم تحت استاندارد انجمن بين‌المللي علوم و تكنولوژي غلات (ICC)[1] تعريف مي‌شود. با توجه به نتايج به دست آمده، بيشترين درجه نرم شدگي متعلق به نمونه شاهد مي‌باشد. به اين معنا كه مقاومت نمونه‌هاي حاوي زانتان نسبت به تضعيف ساختار در اثر مخلوط كردن، افزايش يافته و خميرهاي حاصل نسبت به نمونه شاهد، از قوت بالاتري برخوردار مي باشند. نكته مهم كاهش قابل توجه درجه نرم شدگي در نمونه ۰/۵% زانتان است كه حاكي از به وجود آمدن خميرهايي با قوت بسيار بالاتر در حضور غلظت بالاي هيدروكلوئيد مي‌باشد. افزايش ميزان جذب آب توسط خمير و تغيير در پارامترهاي فارينوگرافي در اثر افزودن هيدروكلوئيدها به فرمولاسيون خمير، توسط پژوهشگران ديگر نيز گزارش شده است. گروه‌هاي OH موجود در زنجيرهاي پلي‌ساكاريدها، توانايي ايجاد پيوندهاي هيدروژني را دارند و موجب آبدوستي شديد صمغ‌ها مي‌شوند. Rosell et al. (2001) با بررسي اثر هيدروكلوئيدهاي زانتان، آلژينات، HPMC و كاپاكاراگينان بر خواص فارينوگرافي خمير نان گزارش كردند كه نمونه‌هاي حاوي آلژينات و HPMC بيشترين جذب آب را نشان دادند. همچنين زانتان و آلژينات زمان توسعه خمير (DDT) را افزايش دادند. زمان پايداري (معيار ارزيابي قدرت تحمل خمير به فرايند مخلوط كردن) نيز توسط زانتان و آلژينات افزايش يافت. همچنين نتايج اين محققين نشان داد كه افزودن تمامي هيدروكلوئيدها، به ويژه زانتان و آلژينات، الاستيسيته خمير را كاهش دادند. Shalini et al. (2007) نيز گزارش دادند كه در بين صمغ‌هاي گوار، كاپا كاراگينان، HPMC وCMC، دو صمغ آخر بيشترين اثر را در افزايش جذب آب توسط خمير نان چاپاتي داشتند و تنها صمغ گوار بود كه باعث افزايش مشخص DDT شد.

1.International Association for Cereal Science & Technology

جدول۲- نتايج آزمون فارينوگرافي نمونه هاي خمير بربري

نمونه ها	شاخص ها ي فارينوگراف					
	قوام خمير (FU)	جذب آب %*	DDT[1] (دقيقه)	زمان پايداري (دقيقه)	درجه نرم شدگي** (FU)[2]	درجه نرم شدگي*** (FU)	FQN[3]
نمونه شاهد	۵۱۳	۵۵/۸	۲/۲	۶/۲	۵۳	۷۱	۶۷
زانتان۰/۱%	۵۱۸	۵۶/۲	۲/۳	۷	۵۱	۷۰	۷۳
زانتان۰/۵%	۵۴۵	۵۹/۵	۳	۶/۹	۴۰	۴۴	۸۰

* اين مقدار توسط خود دستگاه و براي خط BU۵۰۰ اصلاح گرديده است. ** اين مقدار بعد از۱۰دقيقه نسبت به خط FU۵۰۰ اندازه گيري شده است.
*** اين مقدار بعد از۱۲دقيقه نسبت به خط FU۵۰۰ اندازه گيري شده است. زمان گسترش خمير ۲- واحد فارينوگرافي ۳- عدد كيفي فارينوگرافي

به طور كلي، نمونه حاوي ۰/۱% زانتان در شاخص‌هاي ميزان قوام خمير و زمان پايداري خمير و نمونه حاوي ۰/۵% زانتان در مولفه‌هاي ميزان جذب آب و زمان گسترش خمير و درجه نرم شدگي و عدد كيفي فارينوگراف، بهترين نتايج را به دست آورده‌اند. مطمئناً نقطه بهينه‌اي براي افزايش سفتي و قوام خمير توسط هيدروكلوئيد ها وجود دارد. افزايش زياد قوام خمير مي‌تواند موجب ايجاد مغز سفت، حجم كم و پوسته لاستيكي شود كه در خمير حاوي زانتان مشاهده شده است (Rojas et al., 1999; Lazaridou et al., 2007).

آزمون اكستنسوگرافي

اكستنسوگراف، اطلاعاتي در مورد خواص ويسكوالاستيک خمير ارائه مي‌دهد و مقاومت به كشش و كشش پذيري خمير را طي دوره تخمير نشان مي‌دهد. خميري كه تواماً مقاومت به كشش و كشش پذيري مناسبي داشته باشد كيفيت نانوايي خوبي نيز خواهد داشت. با توجه به نتايج جدول (۳)، افزودن زانتان در هر دو غلظت ۰/۵ و ۰/۱% موجب افزايش پارامترهاي مقاومت به كشش (R_{50})، حداكثر مقاومت به كشش و عدد نسبت شده است. پارامتر R_{50}، معياري بر قدرت تحمل خمير در مرحله تخمير[1] است و نتايج فوق نشان مي‌دهد كه صمغ زانتان در هر دو غلظت، قدرت تحمل خمير در مرحله تخمير را افزايش مي‌دهد و افزايش غلظت زانتان از ۰/۱ به ۰/۵ درصد موجب افزايش اين ويژگي نشد. به طور كلي با افزايش مدت زمان تخمير، اثر صمغ زانتان بر مقاومت به كشش خمير بيشتر نمود يافته است. در تطابق با تحقيق ما، Rosell et al. (2001) با بررسي اثر هيدروكلوئيدهاي زانتان، آلژينات، HPMC و كاپاكاراگينان بر خواص اكستنسوگرافي خمير نان گزارش كردند كه همگي آنها موجب افزايش پارامتر R_{50} شدند.

در مقابل، با افزودن زانتان، كشش پذيري خمير بربري نسبت به نمونه شاهد (E) كاهش يافت. Rosell et al. (2005) نيز افزايش كشش‌پذيري را فقط در نمونه‌هايي كه زمان‌هاي تخمير پايين (۴۵ دقيقه) را سپري كرده بودند، مشاهده كردند و نمونه‌هاي حاوي HPMC بيشترين كشش پذيري را نشان دادند. در پژوهش ديگري بر روي خمير نان حاوي هيدروكلوئيدهاي مختلف (گوار، كاراگينان و زانتان)، گزارش داده شد كه در آزمون اكستنسوگرافي، با افزايش مدت زمان تخمير، افزايش در عدد نسبت، مقاومت به كشش و مقدار انرژي صرف شده مشاهده شد اما بالعكس، ميزان قابليت كشش خميرهاي حاوي هيدروكلوئيد كاهش يافت (Ozkoc et al., 2009).

1 . Fermentation tolerance

رنگ سنجي هانتر لب

در آزمون رنگ سنجي، از تمامي تيمارها، ۲۴ ساعت بعد از پخت و از قسمت پوسته آنها، نمونه برداري انجام شده و نمونه حاصل مورد بررسي قرار گرفت. با توجه به نتايج مندرج در جدول ۴، با افزودن زانتان در هر دو غلظت، فاكتور روشنايي (L^*)، نسبت به نمونه شاهد به شكل معني داري افزايش يافت كه نشان دهنده روشن تر شدن رنگ پوسته بوده و مطلوب است. فاكتور a^* (سرخي- سبزي) در نمونه‌هاي حاوي زانتان نسبت به نمونه شاهد كاهش معني داري يافته است اين بدين معني است كه افزودن هيدروكلوئيدها موجب كاهش ته رنگ سرخ در نمونه هاي بربري گرديد. فاكتور b^* (زردي – آبي) پارامتري است كه از مقادير منفي براي ته رنگ آبي تا مقادير مثبت براي ته رنگ زرد متغير است. افزودن زانتان موجب افزايش معني دار فاكتور b^* نسبت به نمونه شاهد گرديد. اين بدين معني است كه افزودن هيدروكلوئيدها موجب افزايش زردي پوسته شدند كه در نان بربري مطلوب تلقي مي شود. داده‌هاي انديس زردي نيز افزايش زردي پوسته را تاييد مي‌كند. به طور كلي به نظر مي‌رسد كه زانتان موجب زردتر شدن و روشنتر شدن پوسته نان‌ها نسبت به نمونه شاهد شده است كه اين اتفاق در پوسته نان بربري مطلوب مي‌باشد. در تحقيق مشابهي، پژوهشگران اثبات كردند كه حضور هيدروكلوئيدها (گوار، CMC، HPMC و κ- كاراگينان) موجب افزايش رنگ زرد در پوسته نان‌هاي چاپاتي حاوي هيدروكلوئيد مي‌شود كه اين نتيجه با نتايج به دست آمده در تحقيق حاضر همخواني دارد (Shalini & Laxmi, 2007).

كالريمتري روبشي تفاضلي

آزمون كالريمتري روبشي تفاضلي (DSC) براي تعيين خواص حرارتي و بررسي فرايند انتقال فاز مواد به كار مي رود. پديده‌هايي مانند انتقال شيشه‌اي، ذوب و كريستاليزاسيون نوعي انتقال فاز به شمار مي‌روند و در مواد غذايي حائز اهميت هستند. در طي رتروگراداسيون نشاسته، بخشي از نشاسته آمورف به نشاسته كريستالي تبديل مي‌شود كه هر چقدر اين كريستال‌ها فشرده تر و نواحي كريستالي وسيع‌تر باشد در دماي بالاتري نيز ذوب مي شوند. منحني DSC شاخص براي نان بربري در شكل (۱) ارائه شده است. همان طور كه مشاهده مي‌شود يک انتقال اندوترميک در گستره دمايي ۷۵ تا ۱۴۶ °C مشاهده مي‌شود. تغيير آندوترم ايجاد شده از روي پارامترهاي دمايي T_0 (دماي شروع انتقال فاز)، T_P (دماي پيک)، T_C (دماي انتهاي انتقال فاز) و $\Delta T_r = T_0 - T_C$ (گستره دماي رتروگراداسيون) و تغييرات آنتالپي رتروگراداسيون (ΔH_r) تحليل مي‌گردد.

جدول ۳- نتايج حاصل از آزمون اكستنسوگراف نمونه هاي خمير بربري

زمان	نمونه	انرژي (cm^2)	R_{50} [1] (BU)	E [2] (mm)	R_m [3] (BU)	عدد نسبت [4]
بازه زماني ۴۵ دقيقه اي از زمان تخمير	شاهد	۸۵	۲۵۰	۱۸۴	۳۲۶	۱/۴
	زانتان ۰/۱ %	۷۶	۲۷۸	۱۶۴	۳۰۹	۱/۷
	زانتان ۰/۵ %	۶۹	۲۷۲	۱۴۸	۳۲۱	۱/۸
بازه زماني ۹۰ دقيقه اي از زمان تخمير	شاهد	۷۸	۲۵۳	۱۶۹	۳۲۷	۱/۵
	زانتان ۰/۱ %	۸۹	۳۳۰	۱۵۹	۳۸۳	۲/۱
	زانتان ۰/۵ %	۹۶	۳۴۸	۱۶۰	۴۱۰	۲/۲
بازه زماني ۱۳۵ دقيقه اي از زمان تخمير	شاهد	۸۰	۲۷۸	۱۶۴	۳۳۸	۱/۷
	زانتان ۰/۱ %	۹۷	۳۴۷	۱۶۵	۴۰۲	۲/۱
	زانتان ۰/۵ %	۸۳	۳۱۵	۱۵۸	۳۶۵	۲/۰

ميزان مقاومت در برابر كشش بر حسب واحد براوندر۲- كشش پذيري خمير۳ - حداكثر مقاومت خمير به كشش۴- اين عدد بيانگر نسبت پارامتر R_{5} به ميزان كشش پذيري در نقطهٔ R_{50} مي باشد.

جدول۴- نتايج حاصل از رنگ سنجي توسط دستگاه رنگ سنج نمونه هاي نان بربري.

نمونه ها	L^* [1]	a^* [2]	b^* [3]	انديس زردي (YI)	انديس سفيدي (WI)	اختلاف رنگ كلي (ΔE)
نمونهٔ شاهد	۵۲/۲۱(۰/۴۷)^c	۱۱/۰۶(۰/۴۶)^a	۲۳/۳۲(۰/۲۳)^c	۶۳/۷۷(۰/۳۴)^b	۴۵/۷۲(۰/۴۷)^c	۵۰/۶۹ ^{c}
نمونه زانتان ۰/۵%	۵۵/۷۵(۰/۱۹)^b	۱۰/۲۸(۰/۳۲)^b	۲۵/۹۹(۰/۳۳)^b	۶۶/۵۶(۰/۳۴)^a	۴۷/۶۹(۰/۱۷)^b	۶۲/۰۴(۰/۱۶)^b
نمونهٔ زانتان ۰/۱%	۶۲/۰۷(۰/۳۲)^a	۹/۳(۰/۱۹)^c	۲۷/۹۵(۰/۴۷)^a	۶۴/۳۷(۰/۳۳)^b	۵۱/۹۵(۰/۳۵)^a	۶۶/۹۱(۰/۳۴)^a

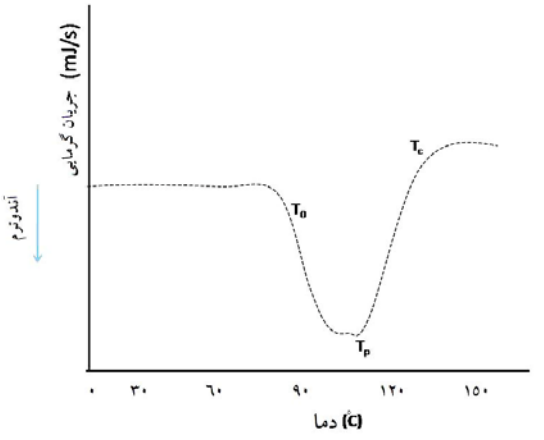
اعداد داخل پرانتز، انحراف معيار حاصل از سه تكرارمي باشند كه به همراه ميانگين داده ها آورده شده اند. نمونه هاي با حروف مختلف كه در يک ستون واقع شده اند در سطح ۵%، اختلاف معني داري دارند. ۱-فاكتور روشنايي ۲- فاكتور قرمزي-سبزي ۳-فاكتور آبي-زرد

مطابق جدول (۵)، افزودن هيدروكلوئيدهاي زانتان در هردو غلظت ۰/۱ و ۰/۵% موجب تغيير پارامترهاي دمايي مربوط به ذوب كريستال‌هاي نشاسته نگرديد. مطابق گزارش Barcenas & Rosell (2005)، افزودن HPMC موجب كاهش نسبتا جزئي انديس رتروگراداسيون و انتقال پيک اندوترميک به دماهاي پايين گرديد كه به معني كاهش پديده رتروگراداسيون است. شايد عدم تاثير قابل توجه هيدروكلوئيدها در اين تحقيق، به غلظت پايين هيدروكلوئيدهاي مورد استفاده مربوط باشد. همچنين شدت بالاي رتروگراداسيون در مغز نان بربري نسبت به نان حجيم، به علت نازكتر بودن پوسته و كاهش سريع رطوبت مغز نان، مي‌تواند اثر هيدروكلوئيدها را كاهش دهد به طوري كه انتقال فاز در نان حجيم مطالعه شده توسط اين محققين، در گستره دمايي ۴۸ تا ۷۵ درجه سانتي‌گراد مشاهده شد ولي در نان بربري در گستره ۷۵ تا ۱۴۶ °C مشاهده گرديد. همچنين نتايج فوق مي‌تواند اين نظريه را تقويت كند كه، هيدروكلوئيدها بيشتر با اثر بر روي بخش‌هاي آمورف نشاسته و جلوگيري از تشكيل پيوندهاي قوي بين آنها موجب كاهش سفتي و اثرات منفي بياتي مي‌گردد و نقش چنداني در بخش كريستالي نشاسته ندارد. براي بررسي بيشتر اين موضوع مي‌توان تغييرات در بخش آمورف نشاسته را، با بررسي تغييرات انتقال شيشه اي، مورد مطالعه قرار داد.

جدول ۵- نتايج حاصل از آزمون**DSC**.

نمونه	آنتالپي J/g	T_R (°C)	T_C (°C)	T_P (°C)	T_0 (°C)
شاهد (روز اول)	۲۹۹/۳۵(۰/۴۸)^c	۴۷/۹۲(۰/۰۹)^b	۱۴۲/۱(۰/۲۶)^b	۱۱۸/۱۶(۰/۱)^b	۹۴/۱۸(۰/۱۷)^a
۰/۱% گزانتان (روز اول)	۴۹۷/۸۶(۰/۴۸)^a	۴۳/۹۲(۰/۱۸)^c	۱۲۶/۹۱(۰/۳)^c	۱۱۲/۹۸(۰/۱۳)^c	۸۲/۹۷(۰/۲۸)^c
۰/۵% گزانتان (روز اول)	۴۳۵/۷۶(۰/۳)^b	۵۱/۷۲(۰/۲۳)^a	۱۴۵/۳۲(۰/۲۱)^a	۱۲۱/۸۵(۰/۳)^a	۹۳/۵۸(۰/۱۷)^b
شاهد (روز دوم)	۳۴۴/۱۶(۰/۱۸)^b	۴۹/۸(۰/۲۱)^c	۱۴۳/۰۵(۰/۴)^c	۱۲۰/۳۷(۰/۴۸)^b	۹۳/۲۵(۰/۱۹)^b
۰/۱% گزانتان، (روز دوم)	۳۱۸/۱۷(۰/۳۲)^c	۵۸/۷(۰/۴۳)^a	۱۵۱/۴۷(۰/۲۸)^a	۱۲۲/۷۸(۰/۱۲)^a	۹۲/۳۴(۰/۳۸)^c
۰/۵% گزانتان، (روز دوم)	۳۷۴/۷۲(۰/۵۵)^a	۵۳/۶(۰/۰۸)^b	۱۴۷/۵۷(۰/۳)^b	۱۱۹/۷۴(۰/۲۹)^b	۹۳/۹۷(۰/۱۲)^a
شاهد (روز چهارم)	۳۲۶/۹۱(۰/۲۶)^c	۵۵/۴۶(۰/۲۵)^b	۱۴۸/۰۶(۰/۴۶)^b	۱۲۱/۶۴(۰/۲۸)^a	۹۲/۶(۰/۲۵)^b
۰/۱% گزانتان (روز چهارم)	۳۳۸/۰۷(۰/۲۵)^b	۵۹/۲(۰/۴۲)^a	۱۵۰/۲۸(۰/۱۷)^a	۱۱۸/۲۲(۰/۳۴)^b	۹۱/۱۲(۰/۲)^c
۰/۵% گزانتان (روز چهارم)	۳۸۲/۶۵(۰/۳۸)^a	۵۰/۴۳(۰/۳۱)^c	۱۴۴/۵۷(۰/۱۵)^c	۱۲۱/۵۲(۰/۲)^a	۹۴/۲۶(۰/۱۸)^a

اعداد داخل پرانتز، انحراف معيار حاصل از سه تكرارمي باشند كه به همراه ميانگين داده ها داده شده اند. نمونه هاي با حروف مختلف كه در يک ستون واقع شده‌اند در سطح ۵%، اختلاف معني داري دارند.



شكل۱- نمودار كالريمتري روبشي تفاضلي شاخص نان بربري (بدون صمغ)

آزمون خواص مكانيكي (آزمون نفوذ)

نان بربري از جمله نان‌هايي محسوب مي‌شود كه فاقد بافت مغزي قابل توجه بوده و در دستگاه بافت سنج، بيشتر نيرو صرف سوراخ كردن پوسته نان مي‌شود. در جدول (۶)، نتايج حاصل از بافت سنجي نمونه‌ها در يک، دو و چهار روز پس از پخت ارائه شده است.

افزودن هيدروكلوئيد زانتان، در هردو غلظت ۰/۱ و ۰/۵ درصد و در هر سه دوره زماني يک، دو و چهار روز بعد از پخت موجب كاهش نيروي لازم براي گسيختن پوسته نان بربري گرديد. در اين ميان، نان حاوي ۰/۵% زانتان در هر سه گستره زماني كمترين مقادير نيرو را نشان داد. تغيير شكل شكست نيز با افزودن زانتان در سطح ۰/۵ درصد در هر سه دوره زماني كاهش يافت ولي در سطح ۰/۱ درصد فقط در روز اول اثر كاهش دهنده نشان داد. طي بياتي، مغز نان در اثر از دست دادن آب و فرايند رتروگراداسيون سفت تر مي‌گردد ولي در مقابل، به علت مهاجرت آب از مغز به پوسته، بافت پوسته حالت لاستيكي و نرمتري پيدا مي كند كه مطلوب نيست و پاره كردن و جويدن آن سخت مي‌شود. به طوركلي بهتر است كه هم F_{max} و هم D_{max} براي پوسته كم باشد تا ترد بوده و جويدن آن آسان‌تر باشد. بنابراين به نظر مي‌رسد كه افزودن زانتان توانست كه فرايند بياتي در پوسته نان را تا حدودي كاهش دهد و پوسته تردتري را در مقايسه با نمونه شاهد ايجاد نمايند. در توضيح اين موضوع مي‌توان گفت كه با افزودن هيدروكلوئيدها به علت افزايش گروه‌هاي OH و ديگر گروه‌هاي آبدوست در بافت، جذب آب در مغز بيشتر مي‌شود كه مي‌تواند از مهاجرت آب به پوسته و در نتيجه لاستيكي شدن آن جلوگيري كند. سفت شدن مغز نان يكي از مهمترين نتايج پديده بياتي است كه معمولاً توسط آزمون فشار در نان‌هاي حجيم اندازه‌گيري مي‌شود. در نان بربري به علت عدم ايجاد بافت مغزي قابل توجه، از انجام آزمون فشار خودداري گرديد. افزودن هيدروكلوئيدها به طور بالقوه مي‌تواند موجب كاهش سرعت سفت شدن مغز نان طي نگهداري گردد كه مي‌تواند به مكانيسم‌هاي ذيل نسبت داده شود (Barcenas et al., 2006, 2007; Ribottaa, 2007; Guarda et al., 2004; Collar et al., 2007):

۱) افزايش قوام خمير؛

۲) حفظ بيشتر آب در مغز نان كه به تازگي و نرمي مغز كمک مي كند؛

۳) جلوگيري از ايجاد پيوند گلوتن- نشاسته در طي نگهداري؛

٤) كاهش رتروگراداسيون نشاسته به دليل جلوگيري از توزيع مجدد آب و انتقال آب از گلوتن به نشاسته.

جدول۶- نتايج آزمون نفوذ نمونه‌هاي نان بربري در سه زمان مختلف

نمونه‌ها	يک روز پس از پخت		دو روز پس از پخت		چهار روز پس از پخت	
	نيروي مصرفي براي پاره شدن (N)	تغيير شكل شكست (mm)	نيروي مصرفي براي پاره شدن(N)	تغيير شكل شكست (mm)	نيروي مصرفي براي پاره شدن (N)	تغيير شكل شكست (mm)
شاهد	۳/ ۶۵ [a]	۹/۹۵ [a]	۲/۹۵[a]	۷/۹۳[a]	۳/۱۷[a]	۶/۳۴[b]
نمونه حاوي ۰/۱% زانتان	۱/۳۶ [b]	۷/۹۳ [b]	۲/۳۵ [b]	۹/۴۷ [a]	۲/۱۵ [b]	۷/۹۷ [a]
نمونه حاوي ۰/۵% زانتان	۱/۴۸ [b]	۶/۶۲ [c]	۱/۰۴ [c]	۷/۰۷ [a]	۱/۱۵ [c]	۴/۴۴ [c]

آزمون حسي

براي تعيين مقبوليت كلي نمونه ها، از مقياس هدونيک ۵ نقطه اي استفاده شد. عدد يک به ناخوشايند و عدد ۵ به بسيار خوشايند داده شد. ميانگين امتيازات ارائه شده توسط ۶ نفر ارزياب آموزش ندیده در سه دوره زماني يک، دو و سه روز بعد از پخت در جدول (۷) ارائه شده است. نمونه هاي با امتياز بالاتر از ۳ به عنوان نمونه‌هاي قابل قبول در نظر گرفته شدند. همان طور كه مشاهده مي‌شود با گذشت زمان ميانگين امتيازات داده شده كاهش مي‌يابد كه به علت افزايش پديده بياتي مي‌باشد. در هر سه گسترهٔ زماني، نمونه‌هاي حاوي هيدروكلوئيد زانتان، مقبوليت بيشتري نسبت به نمونه‌هاي شاهد داشتند. با افزايش غلظت زانتان از ۰/۱ به ۰/۵ درصد، مقبوليت افزايش يافت. نتايج

پژوهش‌هاي ديگر نشان داد كه افزودن هيدروكلوئيدهاي گوار، CMC وHPMC در سطح ۰/۲۵ و ۰/۱ درصد موجب افزايش مقبوليت كلي نان چاپاتي و افزودن كاراگينان موجب كاهش آن مي‌گردد (Shalini, & Laxmi, 2007). همچنين افزودن هيدروكلوئيدها باعث افزايش امتيازات حسي نان بدون گلوتن گرديد و نان حاوي CMC بالاترين امتياز را كسب كرد (Lazaridou et al., 2007).

Guarda et al. (2004) نيز اثر هيدروكلوئيدهاي مختلف (زانتان، آلژينات، كاراگينان و HPMC) را بر ميزان مقبوليت ظاهري، طعم، آروما، تردي و مقبوليت كلي نان حجيم را بررسي كردند. نتايج آنها نشان داد كه به جز نمونه حاوي كاراگينان بقيه نمونه‌هاي حاوي هيدروكلوئيد، امتيازات حسي بالاتر يا نزديكي را نسبت به نمونه شاهد كسب كردند. در تحقيق ديگري تاثير هيدروكلوئيدهاي مختلف و امولسيفايرهاي مختلف و تركيب آنها با هم، بر نان تهيه شده از آرد برنج، مورد بررسي قرار گرفت و مشخص شد كه حضور هيدروكلوئيدها موجب بهبود خواص حسي در نمونه‌ها مي‌شود (Demirkesen et al., 2010).

جدول ۷- نتايج حاصل از آزمون حسي نمونه هاي نان بربري در سه بازهٔ زماني.

نمونه ها	امتیازهای داده شده به تیمارها		
	یک روز پس از پخت	دو روز پس از پخت	چهار روز پس از پخت
شاهد	۳/۱۶(۰/۳۸)^{b}	۲/۸۳(۰/۷۱)^{a}	۲/۶۶(۰/۴۹)^{b}
نمونهٔ حاوی ۰/۱٪ زانتان	۳/۵(۰/۵۲)^{b}	۳/۵(۰/۵۲)^{a}	۳/۳۳(۰/۴۹)^{a}
نمونهٔ حاوی ۰/۵٪ زانتان	۴/۱۶(۰/۳۸)^{a}	۳/۵(۰/۵۲)^{a}	۳/۶۶(۰/۴۹)^{a}

اعداد داخل پرانتز، انحراف معيار حاصل از شش تكرارمی باشند كه به همراه ميانگين داده ها داده شده اند. نمونه های با حروف مختلف كه در يک ستون واقع شده اند در سطح ۵٪، اختلاف معنی داری دارند.

نتيجه گيري كلي

به طور كلي، هم در آزمايش هاي صورت گرفته بر روي خمير نان بربري و هم در آزمايش‌هاي انجام شده بر روي نان بربري پخته شده، تاثير مثبت هيدروكلوئيد در بهبود خصوصيات فيزيكي و حسي كاملاً مشهود مي باشد. در اين تحقيق، هيدروكلوئيد زانتان تقريباً توانسته است نتايج آزمون ها را هم در مورد خمير و هم در مورد نان پخته شده، بهبود بخشد. با توجه به كليه نتايج بدست آمده، نمونه حاوي ۰/۵% زانتان، توانسته است در اكثر آزمايشها، بهترين تاثير را بر روي ويژگي هاي رئولوژيكي خمير و نان بربري ايجاد نمايد.

REFERENCES

Barcenas, M., Benedito, C. & Rosell, C. (2004).Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage, *Food Hydrocolloids*, 18, 769–774.

Barcenas, M.E. & Rosell, C.M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality & aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19, 1037–1043.

Barcenas, M.E. & Rosell, C.M. (2006). Different approaches for improving the quality & extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures & HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 72, 92–99.

Barcenas, M.E. & Rosell C.M. (2007). Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures & hydrocolloid addition. *Food Chemistry*, 100, 1594-1601.

Collar C., Santos E. & Rosell C.M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820-826.

Demirkesen I., Mert B., Sumnu G. & Sahin S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.

Ghanbarzadeh, B. (2010). *Principales of food & food biopolymer rheology*. University of Tehran Press (In Farsi).

Ghodke Shalini K. & Laxmi A. (2007). Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough & quality of Chapatti (Indian unleavened Flat bread) Part-I hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 21, 110–117.

Gray J.A. & Bemiller J.N., (2003). Bread staling: molecular basis & control. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2, 1-21

Guarda A., Rosell C.M., Beneditob C. & Galottoc M.J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers & antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18, 241–247.

Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc M. & Biliaderis C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology & bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.

Mandala I.G. (2005). Physical properties of fresh & frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Food Engineering*, 66,

Science & Technology, 40, 879-884.

Rojas J.A., Rosell C. & Benedito de Barber C. (1999). Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13, 27-33.

Rosell C.M., Collar C. & Haros M. (2005). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the mixolab. *Food Hydrocolloids,* 21, 452–462.

Rosell C.M., Rojas J.A. & Benedito de Barber C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology & bread quality. *Food Hydrocolloids,* 15, 75 – 81.

291–300.

Mandala I.G. & Sotirakoglou, K. (2006). Effect of frozen storage & microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 19, 709-719.

Ribotta P.D. & Bail A. (2007). Thermo-physical & thermo-mechanical assessment of partially baked bread during chilling & freezing process. Impact of selected enzymes on crumb contraction to prevent crust flaking. *Journal of Food Engineering*, 78, 913-921.

Ribotta P.D. & Bail A. (2007). Thermo-physical assessment of bread during staling. *LWT Food*