بهينه‌سازي مصرف انرژي در كارخانجات قند نيشكري

صادق جمالي

دانشكدة مهندسي برق - دانشگاه علم و صنعت ايران

چكيده

در اين مقاله ضمن ارائة نتايج حاصل از ممیزي انرژي در يك كارخانة قند نيشكري در استان خوزستان، وضعيت مصارف انرژي و شدت انرژي براي توليد شكر در آن با استانداردهاي جهاني مقايسه مي‌گردد و راهكارهايي جهت بهينه‌سازي مصرف انرژي دراين كارخانه ارائه مي‌شود. همچنين نقش نيشكر درتوليد انرژي و در نتيجه اقتصاد ملي مورد بررسي قرار گرفته و پيشنهادهايي در اين زمينه ارائه مي‌گردند.

واژه‌هاي كليدي: *بهينه‌سازي انرژي، كارخانجات قند نيشكري، انرژي موجود در نيشكر، نيشكر پر انرژي، انرژي موجود در باگاس*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

بعد از افزايش ناگهاني قيمت نفت در سال ۱۹۷۳ كشورهاي پيشرفتة صنعتي به عنوان مصرف‌كنندگان اصلي انرژي در جهان‌بر آن شدند كه منابع جديدي از انرژي را بيابند. ليكن بزودي مشخص شد كه حتي با توجه به قيمت چند برابر شدة نفت در آن زمان باز هم نفت انرژي بسيار ارزان قيمتي مي‌باشد. به همين جهت توجه به مقادير زياد انرژي كه توسط منابع مختلف توليد مي‌گردند، ولي تلف مي‌شوند معطوف گرديد. از موفق‌ترين سيستم‌هاي بازيافت انرژي سيستمي است كه به توليد توام برق و بخار[1] معروف است، كه در آن به طور همزمان انرژي الكتريكي و حرارتي توليد مي‌شوند.

توليد توأم برق و بخار از ديرباز به صورت استاندارد در صنايع قند صورت مي‌پذيرفته است و احتمالاً مبدأ آن نيز از اين صنايع مي‌باشد. پيدايش آسيابهاي چند غلطكي در كارخانه‌هاي قند نيشكري از حدود يك قرن گذشته باعث توليد تفاله يا پسماندة فيبري از نيشكر به نام باگاس مي‌گردد، كه به اندازة كافي خشك مي‌باشد تا بتوان آن را به عنوان سوخت ديگ بخار سوزاند و حرارت حاصله باعث تغليظ شربت رقيق حاصله از نيشكر شده كه در نهايت باعث توليد كريستالهاي شكر مي‌شود. در حال حاضر با پيشرفت در طراحي ديگهاي بخار با كارآيي بيشتر و به كار گيري سيستم‌هاي بهره‌برداري بهينة انرژي توليد شدة از فيبر، نيشكر يا باگاس كه بالاتر از احتياجات كارخانه مي‌باشد را مي‌توان به صورت انرژي الكتريكي به خارج از كارخانه صادر نمود.

در ايالات متحده دولت قوانيني را وضع نموده است كه بر اساس آن سازمانهاي برق موظف به خريد انرژي الكتريكي با نرخ هزينة سوخت جانشين مي‌باشند. در سال ۱۹۸۷ سيزده كارخانة توليد شكر در هاوائي ۴۰۰ ميليون كيلووات ساعت برق به سازمانهاي برق در ايالت هاوائي فروختند. اين ميزان انرژي ۱۰ درصد كل انرژي مصرفي آن ايالت بود. كشورهاي ديگر نيز به سطوح بالايي در اين زمينه دست يافته‌اند. به عنوان مثال كشور موريس در سال ۱۹۸۶ به ميزان ۱۱۵ ميليون كيلووات ساعت برق از ۱۵ كارخانة قند نيشكري خود دريافت نمود، كه اين ميزان ۲۶/۳ درصد كل انرژي مصرفي اين كشور بود.

كارخانه‌هاي قند نيشكري داراي مشخصه‌هاي منحصر به فرد از نقطه نظر به كار گيري فناوري توليد توأم برق و بخار مي‌باشند. در نيروگاههاي برق معمولي مقدار زيادي از حرارت موجود در بخار با فشار پائين خروجي از توربين‌ها، با چگاليده شدن[2] توسط آب خنك‌كن از بين مي‌رود. در كارخانه‌هاي شكر حرارت موجود در بخار با فشار پائين براي توليد كار مفيد در فرآيندهاي گرمكن شربت جهت تبخير و پخت شربت به كار گرفته مي‌شود. در نتيجه راندمان حرارتي يك كارخانة شكر در مقايسه با يك نيروگاه برق بالاتر مي‌باشد [۱].

1. Cogeneration
2. Condense

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۲- اطلاعات كلي در مورد كارخانة مورد مطالعه

شركت صنعتي مورد بررسي كه در اين مقاله از آن با عنوان "كارخانه" نام برده مي‌شود، يكي از بزرگترين واحدهاي كشاورزي – صنعتي در سطح جهاني مي‌باشد كه در جهت گسترش صنايع قند و به زيركشت در آوردن بخش ديگري از زمينهاي خوزستان احداث گرديده است.

پروانة تأسيس كارخانه در تاريخ سوم مهرماه ۱۳۵۲ از وزارت كشاورزي و منابع طبيعي اخذ گرديد. اولين قلمة نيشكر در تاريخ يكشنبه ۲۰ مهرماه ۱۳۵۴ پس از ۲۰۰ روز كه از فعاليتهاي تسطيح و عمليات خاكي سپري مي‌گشت در خزانة كارون كشت گرديد و بهره‌برداري از كارخانه در اسفندماه ۱۳۵۶ آغاز گرديد.

محل انتخاب شده براي اين طرح عظيم اراضي آبخور رودخانه‌هاي كارون و در واقع در محدودة ديمچة دز ۱۲ كيلومتري شوشتر و ۵۰ كيلومتري دزفول مي‌باشد. آب مورد نياز مزارع از شبكه‌هاي آبياري گتوند (كارون) و دز تأمين مي‌گردد. وسعت محل مزبور حدود ۴۰ هزار هكتار مي‌باشد كه ۲۵ هزار هكتار آن قابل كشت است.

هدف اصلي اين طرح احداث مزارع نيشكر به وسعت ۲۵۰۰۰ هكتار و توليد سالانه ۲ ميليون تن نيشكر و در نهايت ۲۵۰ هزار تن شكر سفيد، به علاوة توليد محصولاتي مانند خوراك دام، نئوپان، الكل، سركه، كاغذ و فوروفورال مي‌باشد. طرح كارخانه مربوط به شركتهاي آمريكائي و هلندي بوده و ماشين آلات آن ساخت كشورهاي آلمان، هلند، چك و آمريكا مي‌باشند.

پس از آغاز بهره‌برداري، حداكثر توليد كارخانه در سال ۱۳۶۴ به ميزان ۱۴۶ هزار تن شكر سفيد بود، ولي به علت بمباران رژيم بعثي عراق در اين سال و صدمه ديدن كارخانه و مزارع، توليد جهت بازسازي متوقف گرديد.

در حال حاضر سالانه حدود ۱/۱ ميليون تن نيشكر از مزارع به كارخانه حمل مي‌گردد و كارخانه حدود ۱۱۰ هزار تن توليد شكر سفيد دارد و حدود ۴۸ هزار تن ملاس توليدي كارخانه به خارج صادر مي‌شود. مصرف آب كارخانه به ميزان ۸۱ متر مكعب در ثانيه از رود كارون و ۱۵ متر مكعب در ثانيه از رود دز تأمين مي‌گردد. حامل انرژي مصرفي كارخانه در زمان بهره‌برداري گاز طبيعي مي‌باشد، كه در حال حاضر ميزان مصرف ۸۸ ميليون مترمكعب در سال است.

كارخانه داراي ۱۰۵۰۰ نفر پرسنل ثابت و ۴ تا ۵ هزار نفر پرسنل فصلي در زمان بهره‌برداري مي‌باشد. زمان بهره‌برداري كارخانه از ۱۵ مهر تا ۱۲ ارديبهشت سال بعد، با توجه به برداشت نيشكر مي‌باشد. وليكن واحد تصفية شكر كارخانه در ساير ايام سال مي‌تواند شكر خام وارادتي را مستقل از واحد توليد شكر خام، تصفيه نمايد.

۳-وضعيت توليدات و مصارف حاملهاي انرژي در كارخانه

در جهت اجراي مميزي انرژي و بررسي وضعيت كارخانه از نظر مصرف انرژي لازم است كه وضعيت آماري توليدات و همچنين مصارف انرژي كارخانه مورد مطالعه قرار گيرد.

دورة بهره‌برداري سالانة كارخانه از مهر تا ارديبهشت سال بعد مي‌باشد. با توجه به جدول ۱ كه مربوط به آمار بهره‌برداري سال ۷۶-۷۵ مي‌باشد، ملاحظه مي‌گردد كه حداكثر نيشكر خرد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

شده در كارخانه حدود يك ميليون و يكصد هزار تن است كه با ظرفيت طراحي شدة آن يعني آسياب ۲ ميليون تن نيشكر بسيار فاصله دارد. طول دورة بهره‌برداري با توجه به وضعيت جوي مي‌تواند متغير باشد، يعني در صورت مساعد بودن وضعيت جوي اين دوره مي‌تواند كاهش يابد. اصولاً بارندگي مانع رساندن نيشكر به كارخانه مي‌شود. زيرا امكان بريدن ني‌ها و حمل آنها وجود ندارد. در حال حاضر عمل درو در مزارع اين كارخانه به صورت دستي توسط كارگران ني‌بر كه به طور فصلي كار مي‌كنند انجام مي‌پذيرد. تريلرهاي ني‌بر در هنگام بارندگي به علت گل بودن قادر به ورود به مزارع نمي باشند. با توجه به رُسي بودن خاك منطقه، آب به لايه‌هاي پائين‌تر خاك نفوذ نمي‌كند و براي مدت نسبتاً طولاني‌تري زمين به صورت گل باقي مي‌ماند. از آنجائي كه ني‌هاي بريده شده معمولاً در روز بعد جمع‌آوري و حمل مي‌گردند، در صورتي كه بعد از عمليات ني‌بري و قبل از حمل به كارخانه بارندگي شود، نيشكر بريده شده تا بهبود وضعيت جوي و جمع‌آوري به تدريج مي‌پوسد و در نتيجه مقدار زيادي از قند خود را از دست مي‌دهد. اين موضوع از نظر مصرف انرژي بسيار حائز اهميت است. زيرا كه انرژي مصرفي كارخانه بر اساس وزن نيشكر ورودي تعيين مي‌گردد و در صورت استفاده از نيشكر پوسيده، شكر كمتري توليد مي‌گردد و در نتيجه شدت انرژي شكر توليدي بالا مي‌رود. افزايش دورة بهره‌برداري به علت شرايط جوي عامل مهم ديگري در افزايش مصرف انرژي مي‌باشد. ظرفيت نامي مجموع هر سه آسياب كارخانه ۷۵۰ تن بر ساعت است كه در يك روز ظرفيت نامي آنها ۱۸ هزار تن مي‌باشد. اگر توقفهاي ناشي از اشكالات و تعميرات و نگهداري آسيابها نيز در نظر گرفته شوند، كارخانه قادر است به راحتي ۱۵ هزار تن نيشكر را در روز آسياب نموده و در يك دورة صد روزه بيش از يك ميليون و پانصد هزار تن نيشكر آسياب كند. به عبارت ديگر به راحتي مي‌توان از كل مزارع زير كشت، در كمتر از صد روز بهره‌برداري نمود. افزايش دورة بهره‌برداري ضمن افزايش هزينه‌هاي پرسنلي، در بسياري از مواقع باعث كار كردن كارخانه بدون بار و يا زير ظرفيت نامي كارخانه مي‌شود، كه اين امر عامل بسياري عمده‌اي در مصرف انرژي كارخانه مي‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۱ - آمار ماهیانة تولید محصولات و مصارف انرژي در دورة بهره‌برداري ۷۶-۷۵

	۱۳۷۵						۱۳۷۶		جمع کل
	مهر	آبان	آذر	دي	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	
نیشکرخرد شده (تن)	۶۷۰۱۸	۲۶۹۴۴۹	۲۰۴۰۴۱	۲۰۲۳۸۰	۱۴۴۵۱۸	۱۵۷۰۱۷	۷۷۷۶۴	۸۷۴۸	۱۱۳۰۹۳۶
ملاس تولیدي (تن)	۱۸۹۴	۱۱۳۰۲	۸۴۸۰	۷۴۱۳	۴۸۱۲	۹۲۰۲	۴۸۰۹	۲۶۵	۴۸۱۷۷
باگاس تولیدي (تن)	۲۴۰۹۵	۹۸۱۶۶	۷۸۲۸۰	۷۷۴۴۸	۵۳۷۹۴	۶۲۵۶۴	۳۸۵۰۳	۴۶۹۳	۴۳۹۳۴۳
شکر سفید تولیدي (تن)	۱۷۹۹۶*	۲۰۱۲۵	۱۹۳۱۵	۱۵۹۰۱	۱۶۸۰۰	۱۵۸۵۷	۸۴۶۵	۰	۱۱۴۴۵۹
بخار تولیدي (تن)	۱۰۱۴۹۸	۱۹۲۴۷۶	۱۹۵۷۳۳	۱۶۷۵۵۳	۱۴۴۵۰۳	۱۵۴۸۳۴			
برق تولیدي (مگاوات ساعت)	۳۵۲۳	۵۰۵۵	۴۵۳۰	۴۷۴۹	۴۱۸۵	۴۴۳۲			
گازمصرفي (۱۰۰۰ مترمکعب)	۹۲۱۱	۱۵۹۶۶۵	۱۵۵۰۶	۱۴۶۹۴	۱۳۲۱۱	۱۳۰۱۸			
شدت انرژي (متر مکعب بازاي هر تن نیشکر)	۱۳۷	۵۹	۷۵	۷۲	۹۱	۸۲			
شدت‌انرژي (مترمکعب بازاي هرتن شکرسفید)	۵۱۱	۷۹۳	۸۰۲	۹۲۴	۷۸۶	۸۲۰			

* با احتساب شکر زرد وارداتي

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

علاوه بر توليد اصلي كارخانه كه شكر سفيد مي‌باشد، كارخانه داراي توليدات جانبي باگاس و ملاس مي‌باشد. ملاس پساب به دست آمده از شربتي مي‌باشد كه شكر آن گرفته شده است. هر چه درصد قند در باگاس و ملاس كمتر باشد، كارخانه بهره‌برداري بهتري دارد و شكر بيشتري از يك مقدار مشخص نيشكر با عيار قند ثابت استحصال گرديده است.

مصرف گاز طبيعي در ماههاي مختلف بهره‌برداري مشخص گرديده است. گاز طبيعي ابتدا در نيروگاه بخار كارخانه تبديل به انرژي حرارتي مي‌گردد، كه قسمتي از بخار توليدي جهت توليد برق و قسمت ديگر جهت گردش توربين‌هاي آسيابها به كار گرفته مي‌شود. درصد بسيار كوچكي از گاز ورودي كارخانه به مصرف كورة آهك كارخانه مي‌رسد.

بر اساس ميزان گاز طبيعي مصرف شده، شدت انرژي به دو صورت: بر اساس نيشكر ورودي و همچنين شكر سفيد توليد شده محاسبه مي‌گردد. در اين جا هدف از ارائة شدت انرژي، مقايسه تغييرات آن با توجه به وضعيت بهره‌برداري كارخانه مي‌باشد. در استاندارد جهاني، شدت انرژي در كارخانه‌هاي توليد شكر بر اساس نيشكر ورودي مي‌باشد. محاسبه شدت انرژي بر اساس شكر سفيد ممكن است شامل شكر سفيد توليدي از انبار و همچنين شكر زرد وارداتي باشد. براي بررسي دقيق‌تر وضعيت بهره‌برداري كارخانه و مقايسة آن با استانداردهاي جهاني جدولهاي ۲، ۳ و ۴ به ترتيب وضعيت توليدات، بازيابي نسبي و موازنة قند ورودي را در يک دورة بهره‌برداري ۴۰ روزه، از تاريخ ۷۶/۷/۲۱ تا ۷۶/۹/۱ نشان مي‌دهد.

جدول ۲- توليدات كارخانه و مصارف گاز و مواد خام در دورة بهره‌برداري ۷۶/۷/۲۱ تا ۷۶/۹/۱

محصول	مقدار
شكر زرد ساخته شده و درون دستگاه‌ها (تن)	۱۴۹۷۲
شكر سفيد ساخته شده و درون دستگاه‌ها (تن)	۱۴۸۲۴
قند حبة ساخته شده (تن)	۴۶۶
باگاس توليد شده (تن)	۵۸۷۱۹
ملاس نهائي (تن)	۶۳۵۳
گل صافي‌هاي خام (تن)	۵۲۶۳
كل گاز مصرفي (هزار متر مكعب)	۱۴۷۴۹
سنگ آهک مصرفي (تن)	۲۲۲۲
مصرف خاک فسيل براي هر تن شكر سفيد (كيلوگرم)	۰/۸۶
مصرف كربن فعال براي هر تن شكر سفيد (كيلوگرم)	۰/۴۸

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۳- بازيابي نسبي دورة بهره‌برداري ۷۶/۷/۲۱ تا ۷۶/۹/۱

نيشكر با خاشاک در هکتار (تن)	۶۷/۳۲
نيشكر بدون خاشاک در هکتار (تن)	۶۳/۳۵
نسبت نيشكر با خاشاک به شكر توليدي	۱۰/۲۳
نسبت نيشكر بدون خاشاک به شكر توليدي	۹/۶۲
درصد شكر در نيشكر با خاشاک	۹/۷۷
درصد شكر در نيشكر بدون خاشاک	۱۰/۳۹
شكر در هكتار (تن)	۶/۷۴
درصد ملاس به نيشكر	۴/۱۹
درصد گل خام به نيشكر	۳/۴۷
درصد بازيابي عملي توليد شكر زرد	۸۶/۲۴

جدول ۴- موازنة قند ورودي به كارخانه در محصولات مختلف كارخانه در دوره بهره‌برداري ۷۶/۷/۲۱ تا ۷۶/۹/۱

موازنة قند ورودي به كارخانه	تن	درصد
قند در نيشكر ورودي	۱۹۰۹۲	۱۰۰
قند در شربت ورودي	۱۷۳۶۲	۹۰/۹۴
شكر ساخته شده و درون دستگاه‌ها	۱۴۸۲۴	۷۷/۶۵
قند در باگاس	۱۷۳۰	۹/۰۶
قند در گل صافي‌ها	۲۲۱	۱/۱۶
قند در ملاس	۱۹۸۰	۱۰/۳۷
قند در ضايعات نامعلوم	۳۳۵	۱/۷۶
كل قند در محصولات فرعي و ضايعات	۴۲۶۷	۲۲/۳۵

۴- مقايسة وضعيت توليد و مصرف انرژي كارخانه با استانداردهاي جهاني

طبق اسناد سازمان توسعة صنعتي سازمان ملل متحد (يونيدو) هر تن نيشكر مي‌توان حدود ۱۰۰ كيلوگرم شكر توليد كرد. به عبارت ديگر ۱۰ درصد وزن كل نيشكر تبديل به شكر مي‌گردد. همچنين به طور متوسط از هر هكتار حدود ۶۰ تن نيشكر به دست مي‌آيد، كه اين مقدار در كشورهاي پيشرفته با استفاده از روشهاي نوين كشاورزي به طور متوسط حدود ۸۰ تن نيشكر مي‌باشد. با توجه به اين آمار در هر هكتار حدود ۸ تن شكر توليد مي‌گردد. شدت انرژي مصرفي

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

براي يك كارخانة نيشكر متوسط با ظرفيت نيشكر ورودي ۱۰۵ هزار تن در ماه، طبق استاندارد يونيدو حدود ۰/۵۶ تن بخار به ازاي هر تن نيشكر بوده و شدت انرژي الكتريكي آن ۱۴ كيلووات ساعت به ازاي هر تن نيشكر مي‌باشد. همچنين با توجه به كار ۲۴ ساعتة كارخانه براي ۱۵۰ روز مداوم در فصل بهره‌برداري، نيروي انساني مورد نياز ۲۴۲ نفر مي‌باشند كه شامل ۴۲ نيروي متخصص و كارگر ماهر و ۲۰۰ كارگر ساده است. [٤].

مرجع [۳] روشهاي استفادة بهينه از توليد برق و بخار در كارخانه‌هاي قند نيشكري را ارائه مي‌كند. بر طبق اين مرجع در يك كارخانة بزرگ (يعني با ظرفيت بيش از ۴ هزار تن نيشكر در روز) در صورتي كه تمامي نيروهاي محركة آن از جمله آسيابها، برقي شوند، در آن صورت با نيشكر با فيبر ۱۳/۵ درصد و در نظر گرفتن ۵ درصد ضايعات باگاس و با بخار مصرفي فرآيند ۳۴۰ كيلوگرم براي هر تن نيشكر و برق مصرفي ۲۸ كيلووات ساعت براي هر تن نيشكر، ميزان ۱۰۰ كيلووات ساعت انرژي اضافي به ازاي هر تن نيشكر با توجه به مصارف بخار و انرژي حرارتي خود كارخانه وجود دارد، كه اين انرژي را مي‌توان به خارج از كارخانه صادر نمود.

در اينجا مشخصات عملكردي يك كارخانة ۵ هزار تني قند نيشكري كه جديداً در آفريقاي جنوبي احداث گرديده است ارائه مي‌گردد. اين كارخانه براي ظرفيت روزانة ۵۵۰۰ تن نيشكر و توليد سالانة ۱۴۰ هزار تن شكر طراحي گرديده است. اين كارخانه با هدف بهترين كارآئي انرژي و همچنين حداقل آلودگي محيط زيست طراحي گرديده است. آسيابهاي آن داراي ظرفيت ساليانة ۱۱۷۶۴۵۰ تن نيشكر در يك دورة ۳۹ هفته‌اي كه حدوداً از اول آوريل شروع مي‌گردد، مي‌باشند. عيار نيشكر آن ۱۳/۵ درصد و فيبر نيشكر آن ۱۴/۴ درصد مي‌باشد. كارخانه در سال ۱۴۰ هزار تن شكر خام توليد مي‌نمايد.

عمليات عصاره‌گيري توسط عمل ديفوزيون و آسيابهاي آبگير صورت مي‌پذيرد. تمام قسمتهاي عصاره‌گيري، از آماده كردن نيشكر تا خشك كردن باگاس، به آرامي و با بازدهي بالاتر از ۹۸ درصد صورت مي‌گيرند و باگاس حاصله داراي رطوبت كمتر از ۵۰ درصد مي‌باشد. همچنين مقدار گل صافي آن كمتر ۰/۵ درصد وزن نيشكر است.

با مقايسة آمار مربوط به اين كارخانه با آمار ۴۰ روزة كارخانه مورد مطالعه در ايران، چند نتيجة مهم به دست مي‌آيند. اول اين كه بازده عصاره‌گيري كارخانة ايراني حدود ۹۰ درصد است، كه در مقابل ۹۸ درصد كارخانة مزبور، ضايعات قند در باگاس ۴ برابر بيشتر است. همچنين ميزان قند در گل صافي ۳/۴۷ درصد، در مقابل ۰/۵ درصد كارخانة مذكور مي‌باشد.

جهت مقايسة نهائي وضعيت بهره‌برداري يك كارخانة استاندارد قند نيشكري كه با سيستم آسياب مشابه عمل عصاره‌گيري را انجام مي‌دهد ارائه مي‌گردد [۵]. جدول ۵ آمار مختلف دو كارخانه را مقايسه مي‌كند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۵- مقايسة عملكرد كارخانة مورد مطالعه با استاندارد جهاني

	كارخانة مورد مطالعه	استاندارد جهاني
درصد فيبر نيشكر	۱۵/۶	۱۵
درصد رطوبت باگاس	۵۵	۴۸
درصد آب اضافه شده به فيبر باگاس	۲۹۵	۲۵۰
درصد باگاس توليدي به نيشكر	۳۸	۳۰
درصد شربت مخلوط توليدي به نيشكر	۱۰۵	۱۰۷
درصد قند باگاس	۹	۲
درصد بخار مصرفي به نيشكر	۷۷	۶۲

با جمع‌بندي آمار استانداردهاي جهاني مصرف انرژي ارائه شده، مي‌توان به اين نتيجه رسيد كه با تقريب نسبتاً خوبي حدود ۰/۶ تن بخار به اضافة ۱۴ كيلووات ساعت برق براي هر تن نيشكر در فرآيند توليد شكر مورد نياز مي‌باشد.

با توجه به آمارهاي ارائه شده در مورد اين كارخانه، ملاحظه مي‌گردد كه در بعضي از زمانها چنين شدت انرژي قابل حصول بوده است كه اين امر مي‌تواند نشان دهندة امكانات صرفه‌جوئي انرژي در كارخانه بدون تغييرات عمده در فرآيند و سرمايه‌گذاري‌هاي سنگين باشد. البته بايد توجه داشت كه بعضي از فرآيندهاي كارخانه اصولاً مصرف انرژي بالاتري دارند. به عنوان مثال استفاده از آسيابها براي عصاره‌گيري مصرف انرژي بالاتري را نسبت به روش عصاره‌گيري به روش ديفوزيون دارد. همچنين استفاده از برق به جاي بخار در توربوپمپهاي آسياب، اصولاً مي‌تواند مصرف انرژي كمتري را با استفاده از الكتروموتورهاي دور متغير فراهم كند. ولي در حال حاضر با توجه به هزينه‌هاي بسيار سنگين، نمي‌توان اين سيستم‌ها را تغيير داد و اصولاً از نظر اقتصادي با توجه به بازگشت سرماية نسبتاً كم، اين گونه تغييرات را نمي‌توان به هيچ وجه توجيه كرد.

نكتة مهم ديگري كه بايد به آن توجه شود، اين امر است كه در مقايسه با كارخانه‌هاي با ظرفيت مشابه كه مجموعاً حدود ۲۵۰ نفر پرسنل دارند، اين كارخانه حدود ۳ برابر ميزان استاندارد پرسنل براي همان ميزان توليد شكر سالياني دارد.

۵- انرژي در نيشكر و نيشكر پر انرژي

نيشكر گياهي است كه انرژي خورشيدي را جذب و حفظ مي‌نمايد. به عبارت ديگر نيشكر ذخيره كنندة انرژي خورشيدي است. با توجه به مسئلة بهينه‌سازي انرژي و همچنين استفاده از انرژي‌هاي نو اين عمل نيشكر بسيار حائز اهميت مي‌باشد. تامپسون در سالهاي ۱۹۶۲ تا ۱۹۷۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

مطالعاتي را دربارة توليد بيوماس[1] توسط نيشكر در آفريقاي جنوبي انجام داد [۱]. طبق تعريف او بيوماس كل مادة خشك موجود در نيشكر در خارج از سطح زمين مي‌باشد. او ميزان توليد بيوماس را بر حسب گرم مادة خشك بر متر مربع در روز ($g/m^2/d$) بر اساس گونه‌هاي مختلف نيشكر توليدي، عمر نيشكر و نوع آبياري (مصنوعي و يا طبيعي توسط باران) اندازه‌گيري نمود و ميزان راندمان عمل فتوسنتز را كه درصد جذب تابش خورشيد يا امواج با طول موج كوتاه ورودي توسط نيشكر مي‌باشد را محاسبه نمود. ضريب به كار گرفته شده جهت تبديل مادة خشك به انرژي معادل ۰/۰۱۷۶ مگاژول بر گرم بوده است. بر اساس اين مطالعات تامپسون نتيجه‌گيري نمود كه توليد تجاري بيوماس از نيشكر را مي‌توان بر اساس راندمان فتوسنتز ۰/۸ درصد براي آبياري ديم و ۱/۱ درصد براي آبياري مصنوعي تقريب زد.

با توجه به مطالعات فوق مي‌توان ميزان انرژي در نيشكر را محاسبه نمود. بدين منظور بايد ابتدا ميزان مادة خشك در نيشكر در هنگام برداشت را محاسبه نمود. به طور تقريبي در هنگام برداشت يكساله، حدود ۸۰ درصد برداشت ساقه و بقيه تقريباً به طور مساوي مربوط به سر برگ و خاشاك مي‌باشد. همچنين همانطوري كه قبلاً گفته شد حدود ۳۰ درصد مادة جامد در ساقة نيشكر وجود دارد، كه نيمي از آن به صورت فيبر و نيم ديگر به صورت ساكاروز محلول است. ميزان مادة خشك در سربرگها حدود ۱۵ درصد و در خاشاك و برگ خشك حدود ۶۰ درصد مي‌باشد. به طور كلي مي‌توان گفت كه نيمي از مادة جامد در ساقه و نيم ديگر در سربرگها و خاشاك و همچنين باقيماندة درو (كاهين) در مزارع مي‌باشد. از نظر انرژي ارزش كالري فيبر موجود در برگها و سربرگها برابر فيبر ساقه مي‌باشد. در جهت استفاده از فيبر نيشكر در توليد برق و بخار بايد از كلية فيبرهاي قابل استحصال از جمله خاشاك و سربرگ استفاده شود، كه در اين مورد البته بايد شرايط محلي را نيز در نظر گرفت.

به عنوان مثال يكي از پژوهشگران در اين زمينه معتقد است كه استفاده از سربرگها و برگها در توليد برق در كشور موريس اقتصادي است. در هاوائي كه محصول نيشكر قبل از درو سوزانده مي‌شود طبق نظر يكي از پژوهشگران حدود ۴۰ درصد انرژي موجود كه در سربرگها و برگهاي نيشكر وجود دارد از بين مي‌رود. البته ذكر اين نكته نيز حائز اهميت است كه بايد هزينه‌هاي ناشي از نسوزاندن نيشكر در استحصال شكر را نيز در نظر گرفت. زيرا هزينه‌هاي برداشت، حمل و استحصال نيشكر سوزانده نشده بيشتر است كه در نتيجه نياز به مطالعة اقتصادي در اين مورد مي‌باشد. بنابراين اگر ۱۲۵ تن در هكتار نيشكر با فيبر ۱۲/۵ درصد استحصال شود حدود ۱۵/۶ تن فيبر در هكتار توليد مي‌گردد، كه با در نظر گرفتن سربرگها و برگهاي خشك حدوداً ۲۱/۲ تن فيبر در هكتار قابل استحصال است كه مي‌توان با سوزاندن آن بخار و برق توليد نمود.

با توجه به نكات فوق امروزه در دنياي پيشرفته به نيشكر تنها در جهت توليد شكر توجه نمي‌شود، بلكه همانطوري كه گفته شد به عنوان يك ذخيره كنندة انرژي نيز توجه خاصي به آن مي‌گردد. بنابراين برنامه‌هاي توليد نيشكر با هدف استحصال بهينه از كل گياه نيشكر در جهت

1- Biomass

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

توليد دو محصول جانبي يعني شكر و فيبر هدايت مي‌گردد. به همين جهت امروزه هدف، نيشكر پرانرژي[1] مي‌باشد.

از نظر گياه‌شناسي نيشكر پرانرژي فرقي با نيشكر معمولي ندارد و اين بدان معني نيست كه نيشكر پرانرژي داراي انرژي بيشتري از نيشكر معمولي مي‌باشد، بلكه منظور از نيشكر پرانرژي اين است كه استحصال كل انرژي ذخيره شده در واحد سطح و زمان، بيشتر مي‌باشد. به عبارت ساده‌تر منظور از نيشكر پرانرژي ميزان مادة خشك (جامد) در هر هكتار در سال مي‌باشد، كه در يك مجتمع كشت و صنعت براي توليد غذا و انرژي از نيشكر توليد مي‌گردد.

پيشرفتهاي بزرگي در زمينة سيستم‌هاي رشد و استحصال نيشكر به وجود آمده‌اند. در سالهاي اخير دانش تبديل انرژي خورشيدي، سنتز شكر، حمل و ذخيره‌سازي شكر و كنترل رشد پيشرفتهاي فراواني كرده‌اند. مؤسسات گياه‌شناسي جديد مفهوم نيشكر پرانرژي را امكان‌پذير ساخته‌اند و به كار گيري امكانات فني در جهت مديريت توليد بيشتر محصول را سهل الوصول كرده‌اند. در جهت افزايش استحصال انرژي از واحد سطح، مقداري از شكر موجود در نيشكر با روشهاي جديد گياه‌شناسي در جهت رشد و نمو بيشتر نيشكر مصرف مي‌گردد. به عنوان مثال نتيجة كارهاي تجربي در پورتوريكو نشان داده است كه با اين روش ۳۵ تا ۴۰ درصد شكر موجود در ساقة نيشكر كاهش مي‌يابد، ولي در عوض ميزان برداشت نيشكر ۳۰۰ درصد افزايش مي‌يابد. يعني در عمل ميزان استحصال شكر در واحد سطح در سال همواره بيش از روشهاي متداول مي‌باشد و همچنين با افزايش استحصال بيوماس، به ميزان بيشتري انرژي استحصال مي‌گردد. در پورتوريكو كه در آنجا مفهوم نيشكر پر انرژي ابداع گرديده است در حالي كه ميزان برداشت نيشكر (شامل ساقه، سربرگ و برگها) با روشهاي متداول ۵۴ تن در هكتار در سال مي‌باشد، روش توليد نيشكر پر انرژي ۱۸۶ تن در هكتار در سال بوده و در مورد گونه‌هاي تحقيقاتي ميزان توليد تا ۲۸۰ تن در هكتار در سال مي‌باشد. توليد نيشكر پرانرژي علاوه بر گونة خاص نيشكر نياز به مديريت دقيق كشاورزي در آماده‌سازي اراضي زير كشت، كاشت، كوددهي، آبياري و زهكشي، كنترل علفهاي هرز، عمليات برداشت و مديريت اراضي بعد از برداشت دارد. با به كار گيري روشهاي فوق ميزان استحصال نيشكر تا چهار برابر سيستم‌هاي متداول افزايش مي‌يابد [۳].

۶- پتانسيل بازيافت انرژي از باگاس در كارخانه

حال با توجه به مطالب قسمت قبل انرژي باگاس قابل استحصال در كارخانه مورد بحث قرار مي‌گيرد. ديگهاي بخار كارخانه بر اساس سوخت باگاس طراحي و نصب گرديده‌اند وليكن متأسفانه به علت عدم وجود نيروي متخصص و همچنين عدم اجراي تعهدات پيمانكاران و مشاور اولية طرح امكان استفاده از آنها حاصل نگرديد و به همين دليل سوخت ديگهاي بخار از باگاس به گاز تبديل گرديد و در نتيجه تجهيزات مربوط به سوخت باگاس بلا استفاده باقي ماند.

1- High energy cane

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

در حال حاضر کارخانه حدود ۰/۳۸ برابر وزن نیشکر ورودي باگاس با رطوبت ۵۴ درصد توليد مي‌کند. علت بالا بودن ميزان باگاس کارخانه همان بالا بودن درصد رطوبت مي‌باشد. يعني در حالي که در استانداردهاي جهاني رطوبت باگاس بين ۴۴ تا ۴۸ درصد مي‌باشد. در اين کارخانه به علت عدم عملکرد خوب آسيابها ميزان رطوبت بيشتر مي‌گردد. و در نتيجه در هنگام سوختن باگاس با رطوبت نياز به هواي بيشتري مي‌باشد، که اين موضوع مي‌تواند باعث کاهش راندمان ديگهاي بخار گردد [۴].

اين کارخانه داراي سه ديگ بخار هر يك با ظرفيت ۱۷۵ تن در ساعت مي‌باشد. بخار زندة خروجي از ديگهاي بخار مستقيماً به طرف توربين‌ها مي‌روند. تعداد ۳۰ عدد توربين در سر راه بخار زنده وجود دارند، که در آنها بخار با فشار و دماي بالا وارد شده و با فشار و دماي پائين ضمن توليد کار خارج گشته که از آن در فرآيندهاي کارخانه استفاده مي‌گردد. اين ۳۰ عدد توربين شامل ۱۸ توربين آسيابهاي نيشکر، ۲ توربين ژنراتورهاي توليد برق، ۳ توربين پمپهاي آب تغذية ديگهاي بخار، ۳ توربين دمندة هواي ورودي[1] ديگهاي بخار، ۳ توربين مکندة هواي خروجي[2] بويلرها و يك توربوپمپ هوازدا آب ورودي مي‌باشند.

مصرف توربين‌هاي آسيابها در مجموع ۱۷۰ تن بر ساعت مي‌باشد. در حالت ايده‌آل هر توربين ژنراتور ۵۵/۵ تن بخار بر ساعت براي توليد ۷ مگاوات برق مصرف مي‌نمايد. هر توربوپمپ آب تغذية ۶/۷ تن بر ساعت بخار مصرف مي‌کنند. هر توربين مکندة هواي خروجي بويلرها ۱۲/۷ تن بر ساعت بخار و هر توربين دمندة هوا به توربين‌ها ۵/۳ تن بر ساعت بخار مصرف مي‌کند. مصرف بخار توربوپمپ هوازدا نيز ۱/۴ تن بر ساعت مي‌باشد.

حال اگر در کارخانه با توجه به نيشکر ورودي ۲ سري از آسيابها با ظرفيت آسياب ۵۰۰ تن نيشکر بر ساعت کار کنند، در آن صورت با توجه به نياز به دو ديگ بخار و دو واحد ژنراتور با توليد برق مورد نياز در حدود ۱۰ مگاولت‌آمپر، بخار زندة مورد نياز به تفکيك واحدهاي مورد نياز برابر است با:

- توربين‌هاي آسيابها (۱۲ عدد) ۱۱۳ تن بر ساعت
- توربين‌هاي ژنراتور (۲ عدد) ۱۱۱ تن بر ساعت
- توربين‌هاي آب تغذيه (۲ عدد) ۱۳/۵ تن بر ساعت
- توربين‌هاي دمندة هوا (۲ عدد) ۱۰/۵ تن بر ساعت
- توربين‌هاي مکندة هوا (۲ عدد) ۲۵/۵ تن بر ساعت
- توربين‌هاي هوازدا (۱ عدد) ۱/۵ تن بر ساعت
- ۵ درصد مصارف بخار زنده در فرآيندهاي کارخانه: ۱۳/۷۵ تن بر ساعت
- ۵ درصد تلفات: ۱۳/۷۵ تن بر ساعت
- -جمع کل بخار مورد نياز: ۳۰۲/۵ تن بر ساعت

1- F. D. Fan
2- I. D. Fan

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

در صورت باگاس سوز بودن کارخانه ميزان باگاس مورد نياز براي سوخت ديگهاي بخار برابر با ۱۳۷/۵ تن مي‌باشد. از آنجائي که در مجموع ۱۵۰ تن در ساعت باگاس توليد مي‌گردد، بنابراين ۱۲/۵ تن بر ساعت باگاس اضافي وجود دارد که از آن مي‌توان در مصارف ديگر مانند کاغذ و نئوپان در کارخانه‌هاي جانبي استفاده نمود. در صورت استفاده از اين ميزان باگاس جهت توليد برق اضافي و با توجه به استانداردهاي ارائه شده در مصرف ۵/۵ تن بخار براي توليد يك مگاولت‌آمپر برق در توربين‌هاي با چگالنده مي‌توان ميزان ۵ مگاولت‌آمپر از باگاس اضافي برق توليد نمود. همچنين از آنجايي که بخار خروجي توربين‌هاي ژنراتورهاي کارخانه در فرآيندهاي چگاليده مي‌گردد، به ازاي ۷/۵ تن بخار توليد يك مگاولت‌آمپر برق مي‌نمايد و در نتيجه در مجموع حدوداً ۲۰ مگاولت آمپر برق توليد مي‌گردد. که اگر با ضريب توان ۰/۹ مصرف گردد ميزان برق توليدي ۱۸ مگاوات مي‌باشد. با توجه به مصرف ۲۰ کيلووات ساعت برق براي هر تن نيشکر در فرآيند کارخانه در نتيجه حدود ۸ مگاوات برق براي صدور از کارخانه توليد مي‌گردد که در يك دورة کاري ۱۲۰ روزه ميزان ۲۳ هزار مگاوات ساعت برق جهت فروش موجود مي‌باشد.

۷- امکانات بازيافت انرژي

علاوه بر باگاس که مهمترين منبع توليد انرژي در کارخانه مي‌باشد، امکانات ديگري در بازيافت انرژي موجود است که در اين قسمت در سه مبحث انرژي حرارتي، الکتريکي و آب ارائه مي‌گردند.

تبديل سوخت ديگهاي بخار از باگاس به گاز سبب شده است که از منافذي که در سيستم باگاس سوز تعبيه شده بودند هواي سرد وارد ديگهاي بخار بشود که اين امر باعث اتلاف انرژي مي‌گردد. زيرا که در سيستم باگاس سوز به علت وجود رطوبت نسبتاً بالا در باگاس نياز به هواي بيشتري مي‌باشد، که در نتيجه اين منافذ نصب گرديده بودند. بنابراين با توجه به وجود سيستم توليد برق و بخار در کارخانه اصولاً کارخانه براي بالا بردن راندمان حرارتي خود نياز به اصلاحات نسبتاً کوچکي مانند عايقکاري قسمتهاي مختلف ديگهاي بخار و لوله‌هاي انتقال بخار و نصب اکونومايزر دارد.

انرژي الکتريکي:

در صورتي که کارخانه به طور پيوسته و مطابق با ظرفيت خود نيشکر دريافت نمايد، بار روزانة آن تقريباً ثابت باقي مي‌ماند، که اين امر از نظر مديريت بار بسيار حائز اهميت است. اما در صورتي که در بعضي از ساعتهاي روز نيشکر ورودي به کارخانه کم شود، در آن صورت به علت بي بار کار کردن الکتروموتور، ضمن افزايش تلفات انرژي، مقدار ضريب توان کارخانه نيز کاهش مي‌يابد. کارخانه داراي دو ژنراتور با ظرفيت ۷ مگاولت‌آمپر مي‌باشد که در حال حاضر مجموعاً حدود ۷ مگاوات برق با ضريب توان حدود ۰/۷ توليد مي‌نمايند. در صورتي که ضريب توان کارخانه با استفاده از خازنهاي تصحيح ضريب توان از ۰/۷ به ۰/۹ افزايش يابد، امکان بازيافت انرژي الکتريکي به ميزان ۲ مگاوات با شرايط فعلي وجود خواهد داشت. در صورت استفاده از ظرفيت کامل يك ژنراتور يعني ۷ مگاولت‌آمپر، مي‌توان با ضريب توان ۰/۹ کل برق کارخانه را با يك ژنراتور تأمين نمود. از طرف ديگر پائين بودن ضريب توان باعث افزايش جريان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

در كابلهاي انتقال برق مي‌گردد كه در نتيجه تلفات حرارتي در كابلها افزايش مي‌يابد. در صورت تصحيح ضريب توان به ۰/۹ مي‌توان با توجه به رابطة زير تلفات حرارتي انتقال و توزيع انرژي الكتريكي را كاهش داد.

درصد كاهش تلفات =(۱-(۰/۷)^{۲}/(۰/۹)^{۲})*۱۰۰=%۳۹/۵

بنابراين جهت استفادة بهينه از انرژي الكتريكي دو عامل مهم تحويل پيوسته و مطابق ظرفيت نيشكر به كارخانه و ديگري اصلاح ضريب توان مي‌باشند.

آب:

در حال حاضر حدود هزار متر مكعب در ساعت آب در كارخانه به صورت سيفوني مصرف مي‌گردد. يعني بر روي آبهايي كه براي شستشوي نيشكر و ساير مصارف كارخانه مورد استفاه قرار مي‌گيرند عمل بازيابي انجام نمي‌گيرد و اين آبها به طبيعت باز گردانده مي‌شوند. اين موضوع از دو نظر حائز اهميت است. اول آنكه با توجه به وجود مواد شيميائي و مضر در پساب كارخانه اين امر از نظر زيست محيطي مي‌تواند داراي اثرات مخربي باشد. دوم آنكه از نظر مصرف، در صورت بازيافت آب خروجي مي‌توان در مصرف انرژي مورد نياز جهت خريد و پمپاژ آب صرفه‌جوئي نمود. يك مثال ديگر در اين مورد آب چگاليده برگشتي از فرآيندهاي توليد مي‌باشد كه به علت آلوده شدن، قابل استفاده در ديگهاي بخار نمي باشد. علاوه بر حجم نسبتاً زياد اين آب مي‌توان از گرماي آن نيز استفاده نمود.

۸- جمع بندي

در اين مقاله مشخص شده است كه عامل اصلي در بالا بودن مصرف انرژي در كارخانه مربوط به عملكرد پائين‌تر از ظرفيت كارخانه مي‌باشد. دليل اصل كاركرد كارخانه با ظرفيت پائين مربوط به نرسيدن نيشكر به طور مستمر و با كيفيت لازم مي‌باشد. به همين جهت مديريت كشاورزي از نظر كشت، داشت و برداشت بايد مورد توجه قرار گيرد. همچنين در مقايسه با طرحهاي اولية احداث كارخانه، مشخص گرديده است كه ميزان استحصال نيشكر در واحد سطح حدود ۵۰ درصد پيش بيني اوليه مي‌باشد و حدود ۸۰ درصد از اراضي مورد استفاده قرار مي‌گيرند. در نتيجه ميزان توليد سالانة فعلي حدود ۴۰ درصد طرح اوليه و معادل ۱۰۰ هزار تن مي‌باشد. در صورتي كه كارخانه با ظرفيت اصلي خود كار مي‌كرد، در ۱۵ سال اخير حدود يك ميليارد دلار كمتر شكر از خارج وارد مي‌گرديد. همچنين عدم بهره‌برداري از ظرفيت كامل كارخانه باعث افزايش شدت انرژي توليد محصول در كارخانه شده است. در اعمال سيستم‌هاي مديريت انرژي در كارخانه وجود دستگاههاي اندازه‌گيري و كنترل بسيار مهم مي‌باشد. متأسفانه بسياري از اين تجهيزات در حال حاضر از كار افتاده‌اند كه نياز به بازسازي دارند. از عوامل مهم در عدم بهره‌برداري بهينه از اين طرح عظيم كمبود نيروي متخصص و عدم آموزش كافي در تبديل

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

نيروهاي كمي به كيفي مي‌باشد. اصولاً بدون وجود نيروي متخصص كافي پياده سازي سيستم‌هاي مديريت انرژي و افزايش بهره‌وري امكان پذير نخواهد شد.

پتانسيل و امكانات عملي صرفه‌جوئي در مصرف انرژي در سه بخش بهره‌برداري، سيستم‌هاي حرارتي و سيستم‌هاي الكتريكي مورد بررسي قرار گرفته‌اند. در بهره‌برداري كيفيت برداشت، حمل نيشكر و عملكرد آسيابها تأثير عمده‌اي در ميزان مصرف انرژي دارد.

در سيستم‌هاي حرارتي نصب اكونومايزر و عايقكاري قسمتهاي مختلف ديگهاي بخار و لوله‌هاي انتقال بخار نقش عمده‌اي در صرفه جويي حرارتي دارند. در سيستم‌هاي الكتريكي عوامل اصلي در صرفه‌جوئي انرژي، كاركرد كارخانه با ظرفيت نامي و مورد ديگر اصلاح ضريب توان مي‌باشد. درصورتي كه كارخانه با ظرفيت نامي كار نكند به علت بي‌بار كار كردن الكتروموتورها، ضمن كاهش ضريب توان تلفات نيز افزايش مي‌يابد.

طبق طرح اولية ديگهاي بخار كارخانه به صورت باگاس سوز طراحي و ساخته شدند. متأسفانه به علت عدم وجود نيروي متخصص سيستم باگاس سوز ديگهاي بخار تبديل به سيستم گازسوز گرديده است. با مقايسه با استانداردهاي جهاني سيستم‌هاي توليد توأم برق و بخار در كارخانه‌هاي قند نيشكري و استفاده از باگاس به عنوان سوخت، مشخص گرديد كه كارخانه در حدود ۸ مگاوات انرژي الكتريكي اضافه بر مصارف داخلي در صورت استفاده از سوخت باگاس خواهد داشت. اين ميزان انرژي الكتريكي در يك دورة بهره‌برداري ۱۲۰ روزه معادل ۲۳ هزار مگاوات ساعت مي‌باشد.

۹- منابع

1- Payne, J.H., “Cogeneration in the Cane Sugar Industry”, Elsevier Science Publications B.V., 1991.

2- Thompson G.D., Proceeding of South Africa Technology Association, 52, pp. 1-8.

۳- "توليد برق و بار در كارخانه‌هاي قند نيشكري"، ترجمة دكتر صادق جمالي، مجلة صنايع قند ايران، شمارة ۱۱۷، سال بيستم، ۴۳-۲۶، خرداد- تير ۱۳۷۵.

4- “Cane Sugar Processing Plant”, UNIDO, File: A-28, ISIC: 3118.

۵- ج.م. كارگيل، "نوآوري در طراحي يک كارخانة قند نيشكري"، ترجمة دكتر علي اردهالي، مجلة صنايع قند ايران، شمارة ۱۲۱، سال بيستم، ۳۸-۲۸، بهمن- اسفند ۱۳۷۵.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]