An open-access, APC-free journal
ISSN: 2981-8184

REVIEW ARTICLE

High-Strength Steel Reinforcement: A Smart Solution for Sustainable Construction

Abu Syed Md Sumon

EPCM Engineering Ltd
West Khulshi, Chattogram, Bangladesh

Corresponding Email: epcm.bd@gmail.com

Published: 6/3/2026
https://doi.org/10.5281/zenodo.20530117

ABSTRACT

A paradox is evident in the use of high-strength grade reinforcing steel in Bangladesh. While domestic steel manufacturers are introducing higher-grade products to strengthen their position in the reinforcement steel market, developed nations such as the United States, Canada, and countries in Europe are concurrently demonstrating a growing demand for such high-strength steel in their construction industries. In contrast, the construction sector in Bangladesh has not yet shown a similar level of demand for these higher grades. It is critically important to emphasize the need for proper design guidelines for the use of high-strength reinforcing steel, particularly grades of 600 MPa and above. Recently, steel manufacturers in Bangladesh have begun producing and marketing high-strength reinforcing steel without first establishing appropriate design guidelines. This practice is encouraging designers and users to apply these grades indiscriminately across all types of structures, often without consideration of strain compatibility with concrete or overall structural performance. Manufacturers are claiming that the use of high-strength reinforcement can reduce steel consumption by up to 30%, a claim that may expose designers and builders to significant risks. Therefore, the development of clear, comprehensive, and well-defined guidelines is essential to ensure the safe and effective use of high-strength reinforcing steel in concrete structures.

Keywords: High-Strength Steel, Reinforcement, BNBC 2020, ACI 318-19, Eurocode 2, Sustainable Construction

Cite: *Sumon, ASM. 2026,* High-Strength Steel Reinforcement: A Smart Solution for Sustainable Construction, *Bangla J. Interdisciplinary Sci., 1: 17-25.*

হাই-স্ট্রেংথ স্টিল রেইনফোর্সমেন্ট: টেকসই উন্নয়নের স্মার্ট সমাধান

সারসংক্ষেপ

বাংলাদেশে হাই-স্ট্রেংথ গ্রেডের রিইনফোর্সিং স্টিল ব্যবহারের ক্ষেত্রে একটি প্যারাডক্স লক্ষণীয়। বাংলাদেশে স্টিল উৎপাদনকারী প্রতিষ্ঠানগুলো উচ্চ শক্তির গ্রেড প্রবর্তন করে স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট মার্কেটে তাদের অবস্থান শক্তিশালী করার চেষ্টা করছে। সেক্ষেত্রে যুক্তরাষ্ট্র, কানাডা এবং ইউরোপের মত উন্নত দেশগুলো তাদের নির্মাণশিল্পই উচ্চ শক্তির স্টিল ব্যবহারের জন্যে ক্রমবর্ধমান চাহিদা প্রকাশ করছে। কিন্তু আমাদের দেশের নির্মাণশিল্প সেভাবে তাদের উচ্চ শক্তির গ্রেড-এর চাহিদা প্রকাশ করছে না। উচ্চ শক্তির রিইনফোর্সিং স্টিল-এর গ্রেড ৬০০ MPa এবং তদূর্ধ্ব গ্রেড ব্যবহারের জন্যে সঠিক নির্দেশিকা প্রণয়নের প্রয়োজনীয়তার উপর জোর দেওয়া অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। সম্প্রতি, বাংলাদেশে স্টিল উৎপাদনকারী প্রতিষ্ঠানগুলো নির্দেশিকা প্রণয়ন না করেই হাই-স্ট্রেংথ গ্রেডের রিইনফোর্সিং স্টিল উৎপাদন ও বাজারজাত করছে, যা ডিজাইনার এবং ব্যবহারকারীদের এই গ্রেডগুলি সকল কাঠামোতে নির্বিচারে প্রয়োগ করার জন্যে উৎসাহিত করছে, কংক্রিটের সাথে স্ট্রেন সামঞ্জস্যতা এবং সামগ্রিক কর্মক্ষমতা বিবেচনা না করেই। এই উৎপাদনকারীরা দাবি করছে যে হাই-স্ট্রেংথ গ্রেডের রিইনফোর্সিং স্টিল ব্যবহার করে স্টিলের ব্যবহার ৩০% পর্যন্ত হ্রাস করা যেতে পারে, যা ডিজাইনার এবং নির্মাণকারীদের ঝুঁকির মধ্যে ফেলতে পারে। সুতরাং, কংক্রিট কাঠামোতে হাই-স্ট্রেংথ গ্রেডের রিইনফোর্সিং স্টিল নিরাপদ এবং কার্যকরভাবে ব্যবহারের জন্যে সঠিক, বিস্তৃত এবং সুসংজ্ঞায়িত নির্দেশিকা অত্যন্ত প্রয়োজনীয়।

মূল শব্দগুলি: হাই-স্ট্রেংথ স্টিল, রিইনফোর্সমেন্ট, BNBC ২০২০, ACI 318-19, ইউরোকোড ২, টেকসই নির্মাণ

ভূমিকা

বিশ্ব একটি টেকসই ভবিষ্যতের দিকে অগ্রসর হওয়ার সাথে সাথে নির্মাণ শিল্প পরিবেশ-বান্ধব পদ্ধতি গ্রহণের জন্যে ক্রমবর্ধমান চাপের সম্মুখীন হচ্ছে। এই খাতে একটি উল্লেখযোগ্য উন্নয়ন হল হাই-স্ট্রেংথ গ্রেডের রিইনফোর্সমেন্টের ব্যবহার, যা স্থায়িত্ব এবং দক্ষতার দিক থেকে অসংখ্য সুবিধা প্রদান করে। কিভাবে উচ্চ শক্তির রিইনফোর্সমেন্ট একটি টেকসই ভবিষ্যতের জন্যে অবদান রাখে এবং কেন এটি আধুনিক নির্মাণের জন্যে একটি বুদ্ধিমান সমাধান হিসেবে বিবেচিত হয়, তা অন্বেষণ করা প্রয়োজন।

সাধারনত, হাই-স্ট্রেংথ স্টিল রেইনফোর্সমেন্ট (High-Strength Steel Reinforcement) বলতে এমন ইস্পাত রড বা বারকে বোঝায় যার ইল্ড স্ট্রেংথ সাধারণত ৫০০ MPa বা তার বেশি, যা সাধারণ ইস্পাতের তুলনায় অধিক লোড বহন করতে সক্ষম, লোড ও মোমেন্ট কাপাসিটি বেশী, এবং একই শক্তি অর্জনে তুলনামূলকভাবে কম স্টিলের প্রয়োজন হয়। AISC কমিটি অন স্পেসিফিকেশনস-এর "অ্যাড হক টাস্ক গ্রুপ অন হাই স্ট্রেংথ স্টিল"-এর মতে, এটি স্পষ্ট যে "উচ্চ শক্তি" (high strength) ধারণাটি প্রকৌশল খাতভেদে ভিন্নভাবে সংজ্ঞায়িত হয়। সাধারণত যে কোনো স্টিল যার ইল্ড স্ট্রেংথ (Fy) ৪৫০ MPa (৬৫ ksi)-এর বেশি, সেটিকে বিল্ডিং নির্মাণে "হাই-স্ট্রেংথ স্টিল" হিসেবে গণ্য হয়। তবে সেতু নির্মাণের ক্ষেত্রে, "হাই-স্ট্রেংথ"

শব্দটি আজকাল সাধারণত ৫৫০ MPa (৮০ ksi) বা তারও বেশি ইল্ড স্ট্রেংথ বিশিষ্ট স্টিলকে নির্দেশ করে (AISC Committee, 2019)। প্রচলিত রিইনফোর্সমেন্ট স্টিল সাধারণত ৪০০–৪৬০ MPa ইল্ড স্ট্রেংথ বিশিষ্ট, যা মাঝারি শক্তি সম্পন্ন। অপরদিকে, হাই-স্ট্রেংথ স্টিলের ইল্ড স্ট্রেংথ ৫০০–৬০০ MPa বা তদূর্ধ্ব হয়, যা একই লোড বহনে ছোট ক্রস-সেকশন ব্যবহারকে সম্ভব করে। এর ফলে কংক্রিট সেকশন হালকা হয়, নির্মাণে কনজেশন কমে, ও টেকসইতা বৃদ্ধি পায়। তবে, হাই-স্ট্রেংথ স্টিল ব্যবহারে স্ট্রেইন কম্প্যাটিবিলিটি এবং ডাক্টিলিটি বিষয়ে সতর্কতা অপরিহার্য। গত কয়েক দশক ধরে কংক্রিট কাঠামোতে হাই-স্ট্রেংথ স্টিল (৫০০, ৫৫০, ৬০০ গ্রেড ও তদূর্ধ্ব) রিইনফোর্সমেন্টের চাহিদা উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পেয়েছে। হাই-স্ট্রেংথ স্টিল এর ব্যবহার বিভিন্ন কাঠামোগত উপাদানে প্রয়োজনীয় স্টিলের পরিমাণ কমাতে পারে, যার ফলে ছোট ক্রস-সেকশন, অতিমাত্রায় রিইনফোর্সড অংশগুলোতে কনজেশন কম, উন্নত কংক্রিট প্লেসমেন্ট, মজুরি সাশ্রয়, নির্মাণ সময়ের হ্রাস এবং কিছু ক্ষেত্রে মরিচা প্রতিরোধে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখতে পারে। ৬০০ গ্রেড অথবা তদূর্ধ্ব গ্রেডের হাই-স্ট্রেংথ স্টিলে সাধারণ স্ট্রেংথের স্টিলের মত একই ইলাস্টিসিটি মডুলাস থাকা সত্ত্বেও এদের ইল্ড পয়েন্ট ও কংক্রিটের ম্যাক্সিমাম ক্রাশিং স্ট্রেইনের পার্থক্য স্বল্পতা অথবা কম্প্রেশনে কংক্রিটের ক্রাশিং স্ট্রেইন অতিক্রম করে যেতে পারে (Yao et al., 2020)। তাই , হাই-স্ট্রেংথ স্টিলে আরও বেশি ডাক্টীলিটি প্রয়োজন, যাতে করে কম্প্রেশনে কংক্রিটের ক্রাশিং এর পূর্বেই ইল্ডিং শুরু হয় । নতুবা, হাই-স্ট্রেংথ স্টিল দ্বারা তৈরি কলামগুলিতে কংক্রিট ক্রাশ হওয়ার আগে লঙ্গিচিউডিনাল রিইনফোর্সমেন্ট তার সম্পূর্ণ ইলংগেশন ও স্ট্রেইন কাজে নাও লাগাতে পারে। এই কারণে, বিভিন্ন বিল্ডিং কোডগুলো কলামগুলোতে লঙ্গিচিউডিনাল রিইনফোর্সিং স্টিলের ইল্ড স্ট্রেংথ-এর উপর সীমা আরোপ করেছে। সঠিক হাই-স্ট্রেংথ স্টিল উৎপাদনে সঠিক উৎপাদন প্রক্রিয়া (মাইক্রো এলইং অথবা থার্মো-মেকানিক্যাল ট্রিট্মেন্ট) অনুসরণ না করে উৎপাদন করলে স্টিলের প্রয়োজনীয় মেকানিক্যাল প্রপারটিজ (ইল্ড স্ট্রেংথ, ডাক্টাইলিটি, বেন্ডাবিলিটি ইত্যাদি) অর্জন সম্ভব নয়।

কোড এবং স্ট্যান্ডার্ড এর বিধানাবলী

বাংলাদেশে একটি উন্নয়নশীল দেশ হিসেবে রিইনফোর্সড কংক্রিট নির্মাণে উচ্চ-শক্তির স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহারের অনেক সম্ভাব্য সুবিধা রয়েছে, বিশেষত যেখানে অনেক হাই-রাইজ ও মেগা প্রকল্প নির্মাণের পরিকল্পনা করা হচ্ছে। এই ধরনের প্রকল্পগুলোতে কংক্রিট ম্যাটেরিয়াল এবং শ্রমশক্তির প্রয়োজনীয়তা হ্রাসের মাধ্যমে সাশ্রয় এবং নির্মাণ সময় হ্রাস করা সম্ভব। অতএব, এই ক্রমবর্ধমান জনপ্রিয় হাই-পারফরমিং ও হাই-স্ট্রেংথ ষ্টীল এবং কংক্রিট ব্যবহারের জন্যে আরও নির্দেশিকার প্রয়োজনীয়তা রয়েছে এবং যা কেবল একটি নতুন ডিজাইন গাইড প্রণয়নের মাধ্যমে পূরণ করা সম্ভব।

স্টিল উৎপাদন প্রযুক্তির অগ্রগতির ফলে হাই-পারফরমিং ও হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সিং স্টিলের উৎপাদন সম্ভব হয়েছে, যার কারণে ডিজাইন কোডগুলি ক্রমাগত রিইনফোর্সিং বারের সর্বাধিক অনুমোদিত ইল্ড স্ট্রেংথ-এর সীমা বৃদ্ধি করেছে। সঠিক উৎপাদন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ৬০০ MPa ও তদূর্ধ্ব গ্রেডের স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট, যা একটি রৈখিক প্রি-ইল্ড আচরণ, একটি সুস্পষ্ট ইল্ড প্লেটো, যথাযথ স্ট্রেইন হারডেনিং

এবং অপেক্ষাকৃত উচ্চ নমনীয়তা (T/Y রেশিও, এলংগেশন অ্যাট ম্যাক্সিমাম ফোর্স, এলংগেশন আফটার ফ্র্যাকচার) অর্জন সম্ভব হলে বাণিজ্যিকভাবে এর ব্যবহার আরও ব্যাপক হওয়ার সম্ভাবনা রয়েছে।

BNBC 2020

উল্লেখ্য যে, BNBC ২০২০ কোড, ২০১০ সালে রচিত হয় ACI 318-08 কে অনুসরণ করে BNBC, 2020)। তবে এটি ২০২১ সালে গেজেট করা হয়েছে। ইতিমধ্যে, ACI 318-19 এর আপডেটেড সংস্করণ প্রকাশিত হয়েছে এবং বিশ্বব্যাপী অনুসরণ করা হচ্ছে (ACI 318-14, 2014)।

বাংলাদেশ ন্যাশনাল বিল্ডিং কোড (BNBC) ২০২০ এর আর্টিকেল ৫.৩.২ অনুযায়ী, রিইনফোর্সিং বার নিম্নলিখিত মানদণ্ড যেমনঃ BDS ISO 6935-2:2010 এবং ASTM স্ট্যান্ডার্ড যেমনঃ A615/A615M, A616M, A617M, A706M, A767M এবং A775M অনুযায়ী হতে হবে (ASTM 615-20, 2020; ASTM 706-16, 2016; BDS ISO 6935-2, 2021)।

এছাড়াও রিবারের ইল্ড স্ট্রেংথ (f_y) ৪১০ MPa এর বেশি ব্যাবহারের ক্ষেত্রে কংক্রিটের সর্বাধিক কমপ্রেসিভ স্ট্রেন ০.৩৫ শতাংশ উপর ভিত্তি করে সর্বোচ্চ ইল্ড স্ট্রেংথ-এর (f_y) মান নির্ণয় করতে হবে যাতে ডিজাইনে গৃহীত বারগুলো উপরে উল্লিখিত ASTM মানগুলোর সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ হয় (ASTM 706-16, 2016; ACI 318-14, 2014; ACI 318-14, 2014)।

BNBC-তে বিধানগুলো মূলত ACI থেকে নেয়া হয়েছে। BNBC কংক্রিটের জন্যে সর্বাধিক কমপ্রেসিভ স্ট্রেন ε_{cu}=০.০০৩৫ (Eurocode 2 এর অনুরূপ) অনুমোদন করেছে এবং ইল্ড স্ট্রেংথ-এর জন্য ৪০০ N/mm² বা ০.০০৩৫ স্ট্রেনের সাথে সম্পর্কিত স্ট্রেসের জন্য সীমা নির্ধারণ করেছে। অথচ একটি বারের সর্বাধিক ইল্ড স্ট্রেংথ = ০.০০৩৫ × ২০০,০০০ = ৭০০ N/mm² (= ১০১ ksi) হতে পারে। এছাড়া, রিইনফোর্সমেন্টের ইল্ড স্ট্রেংথ-এর সাধারণ সীমা পরীক্ষার ডেটা ও ইম্পেরিকেল ডিজাইন সূত্র থেকে নির্ণয় করা যেতে পারে। যেকোনো পরিস্থিতিতে, কমপ্রেশন মেম্বারগুলোর জন্যে ডিফ্লেকশন ও ক্র্যাক গুরুত্বপূর্ণ নয়। এবং তাই কংক্রিটের ক্রাশিং স্ট্রেনের সাথে সম্পর্কিত স্ট্রেসের চেয়ে নিচে রিইনফোর্সমেন্টের ইল্ড স্ট্রেংথ সীমাবদ্ধ করার কোনো কারণ নেই।

ACI 318

ACI 318-19 (ACI 318-14, 2019), ২০১৪ সালে শুরু হওয়া কোড-এর বিধানগুলোকে একীভূত এবং সরলীকৃত করার প্রক্রিয়া অব্যাহত রেখেছে। এটি লক্ষণীয় যে বেশিরভাগ পরিবর্তনগুলো ফ্লোর সিস্টেমের বিম এবং স্ল্যাবের নকশার ক্ষেত্রে হয়েছে এবং অন্যদিকে কলাম ও ফাউন্ডেশনের মেম্বারগুলোর পরিবর্তন অপেক্ষাকৃত কম। প্রধান পরিবর্তনগুলোর মধ্যে ৫৫০ MPa (৮০ ksi) ও তদূর্ধ্ব উচ্চ-শক্তির রিইনফোর্সিং স্টিলের জন্যে নতুন বিধান প্রবর্তনই উল্লেখযোগ্য। ACI 318-19-এ ৫৫০ MPa (৮০ ksi) ও তদূর্ধ্ব উচ্চ-শক্তির রিইনফোর্সিং স্টিলের নকশা বিধানে কী পরিবর্তন আনা হয়েছে তা নিয়ে আলোচনা আবশ্যক।

ACI 318-19 (ACI 318-19, 2019) বিভিন্ন প্রয়োগক্ষেত্রের জন্যে রিইনফোর্সিং বারের উপর বিভিন্ন সীমাবদ্ধতা প্রদান করে । ACI 318-19 (ACI 318-19, 2019) লঙ্গিচিউডিনাল রিইনফোর্সমেন্টের জন্যে, ডিজাইনের সর্বাধিক ইল্ড স্ট্রেংথ হলো f_y = ৫৫০ N/mm² (৮০ ksi) অনুমোদন করেছে। আরও একটি সীমাবদ্ধতা হলো কংক্রিটের সর্বাধিক কমপ্রেশন স্ট্রেন ε_{cu} = ০.০০৩ -এর মধ্যে সীমাবদ্ধ রেখেছে।

ডিজাইনের একটি প্রধান নীতি হলো কংক্রিট এবং রিইনফোর্সমেন্টের স্ট্রেন-কম্পিটিবিলিটি অনুসরণ করা। রিইনফোর্সমেন্টের ইল্ড স্ট্রেংথ ০.৩৫% স্ট্রেন পদ্ধতি অথবা ০.২% অফসেট পদ্ধতি দ্বারা নির্ধারিত হতে পারে। ০.৩৫% স্ট্রেন পদ্ধতি দ্বারা তাত্ত্বিক সর্বাধিক ইল্ড স্ট্রেংথ হতে পারে f_y,max = ০.০০৩৫ × ২০০,০০০ = ৭০০ N/mm² (= ১০১ ksi)। কংক্রিটের স্ট্রেন সীমা ব্যবহার করে, সর্বাধিক সম্ভাব্য ইল্ড স্ট্রেংথ f_y,max = ০.০০৩০ × ২০০,০০০ = ৬০০ N/mm² (= ৮৭ ksi) নির্ণয় করা যায় এবং সেই অনুযায়ী ৬০০ MPa ও তদূর্ধ্ব গ্রেডের স্টিল রিইনফোর্সমেন্ট ব্যাবহারের ক্ষেত্রে কোন বাধা হওয়ার কথা নয়। যদিও ACI 318-19 অনুযায়ী, লঙ্গিচিউডিনাল রিইনফোর্সমেন্টের জন্যে ডিজাইনের সর্বাধিক ইল্ড স্ট্রেংথ ৫৫০ N/mm² (৮০ ksi) নির্ধারণ করেছে।

Table 1: Comparison of ACI Provisions for Reinforcement

Usage	Application		Maximum Value of f_x or f_{yt} permitted for design calculation, psi	Maximum Value of f_x or f_{yt} permitted for design calculation, psi	Maximum Value of f_x or f_{yt} permitted for design calculation, psi	Maximum Value of f_x or f_{yt} permitted for design calculation, psi	Applicable ASTM Specification for Deformed Bar			
			ACI 318-08	**ACI 318-11**	**ACI 318-14**	**ACI 318-19**	**ACI 318-08**	**ACI 318-11**	**ACI 318-14**	**ACI 318-19**
Flexure; axial force; and shrinkage and temperature	Special Seismic Systems	Special moment frames	60,000[1]	60,000	60,000	80,000	A706 is accepted for all grade, A615 for only upto 60,000 psi with certain condition	A706 is accepted for all grade, A615 for only upto 60,000 psi with certain condition	A706 is accepted for all grade, A615 for only upto 60,000 psi with certain condition	A706 is accepted for all grade, A615 for only upto 60,000 psi with certain condition
		Special structural walls	60,000[1]	60,000	60,000	100,000[10]				
	Other		> 60,000	> 60,000	80,000	100,000[12] [13]	A615, A706, A955, A996	A615, A706, A955, A996	A615, A706, A955, A996	A615, A706, A955, A996, A1035
Lateral support of longitudinal bars; or concrete confinement	Special seismic systems		100,000[2]	100,000	100,000	100,000	--	--	A615, A706, A955, A996, A1035	A615, A706, A955, A996, A1035
	Spirals		100,000[3]	100,000	100,000	100,000	A1035	A1035	A615, A706, A955, A996, A1035	A615, A706, A955, A996, A1035
	Other		80,000[4]	80,000	80,000	80,000	A1035	A1035	A615, A706, A955, A996,	A615, A706, A955, A996

ACI 318-19-এ বিমের জন্যে রিইনফোর্সমেন্ট স্ট্রেইন সীমা সংশোধন করা হয়েছে [২]। ACI 318-19, 9.3.3.1 এ বলা হয়েছে যে, যে সকল নন-প্রেসট্রেসড বিমের $P_u < 0.10\ f'_c\ A_g$, তাদের রিইনফোর্সমেন্ট টেনশন কন্ট্রল্ড হতে হবে ACI 318-19-এ উল্লেখিত টেবিল 21.2.2 অনুযায়ী। কিন্তু ACI 318-14 অনুযায়ী যে সকল নন-প্রেসট্রেসড বিমের Pu < 0.10 f'c Ag, তাদের টেন্সাইল স্ট্রেইন (ε_t) কমপক্ষে 0.004 হতে হবে [৩]। এই পরিবর্তনের ফলে বিমের জন্যে ফ্লেকজারাল ডিজাইন আরও সাশ্রয়ী হয়েছে, কারণ নিম্ন স্ট্রেইন সীমা পূরণের জন্যে অতিরিক্ত টেনশন স্টিল যুক্ত করার প্রয়োজনীয়তা নেই, যার ফলে ফ্লেকজারাল ডিজাইন-এর ক্ষেত্রে স্টিলের স্ট্রেংথ ফ্যাক্টর ϕ কমে যায়।

ন্যূনতম ফ্লেকজারাল রিইনফোর্সমেন্ট-এর ক্ষেত্রে As,min (minimum required area of tensile reinforcement) নির্ণয়ের জন্যে ইল্ড স্ট্রেংথ-এর সীমা প্রবর্তিত হয়েছে। যে সকল বিমের ইল্ড স্ট্রেংথ ৮০ ksi -এর বেশী, তাদের ন্যূনতম ফ্লেকজারাল রিইনফোর্সমেন্ট-এর পরিমাণ নির্ণয়ের জন্যে ACI 318-19,

9.6.1.2 এ বলা হয়েছে যে এর মান সর্বাধিক ৮০ ksi তে সীমাবদ্ধ থাকতে হবে। ACI 318-14 বিমের জন্যে ৮০ ksi এর বেশি রিইনফোর্সমেন্টের ব্যবহারের অনুমতি দেয়নি। এই পরিবর্তন ৮০ ksi-এর বেশি ইল্ড স্ট্রেংথ বিমের ফ্লেকজারাল নকশাকে প্রভাবিত করে। ACI 318-19 তে উল্লেখিত 9.6.1.2 (a) এবং (b) সূত্র অনুযায়ী গণনা করা As,min-এর মানগুলো গ্রেড ৮০ রিইনফোর্সমেন্টের জন্যে যেমন হবে, তেমনই থাকবে, যদিও নকশায় উচ্চ শক্তির রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহার করা যায়।

ACI 318-19, টেবিল 9.7.6.2.2-এ বিমের প্রস্থ্ বরাবর শিয়ার রিইনফোর্সমেন্টের লেগগুলোর জন্যে নতুন সর্বাধিক ব্যবধানের মানদণ্ড প্রবর্তন করেছে। এই পরিবর্তন, চওড়া বিমগুলোর শিয়ার ক্যাপাসিটি যেমন বাড়বে একাধিক স্টিরাপ লেগ প্রদান করে। এই নতুন মানদণ্ড নকশায় চওড়া বিমের প্রস্থ্ বরাবর লেগের সংখ্যা নির্ধারণকে প্রভাবিত করে যা প্রণিধানযোগ্য।

ACI 318-19, 10.7.1.3 -এ বলা হয়েছে যে, যে সকল কলামের লঙ্গিচিউডিনাল বারের $f_y > ৮০$ ksi, তাদের জন্যে K_{tr} (ট্রান্সভার্স রিইনফোর্সমেন্টে ইনডেক্স)= $0.5d_b$-এর চেয়ে ছোট হতে পারবে না (ACI 318-19, 2019)। অপরদিকে ACI 318-14 কলামের জন্যে ৮০ ksi এর বেশি রিইনফোর্সমেন্টের ব্যবহারের অনুমতি দেয়নি। দীর্ঘস্থায়ী এবং স্প্লাইস দৈর্ঘ্য বরাবর K_{tr} (ট্রান্সভার্স রিইনফোর্সমেন্টে ইনডেক্স)-এর ন্যূনতম মান, নমনীয়তা বৃদ্ধি করে (ACI 318-14, 2014) ।

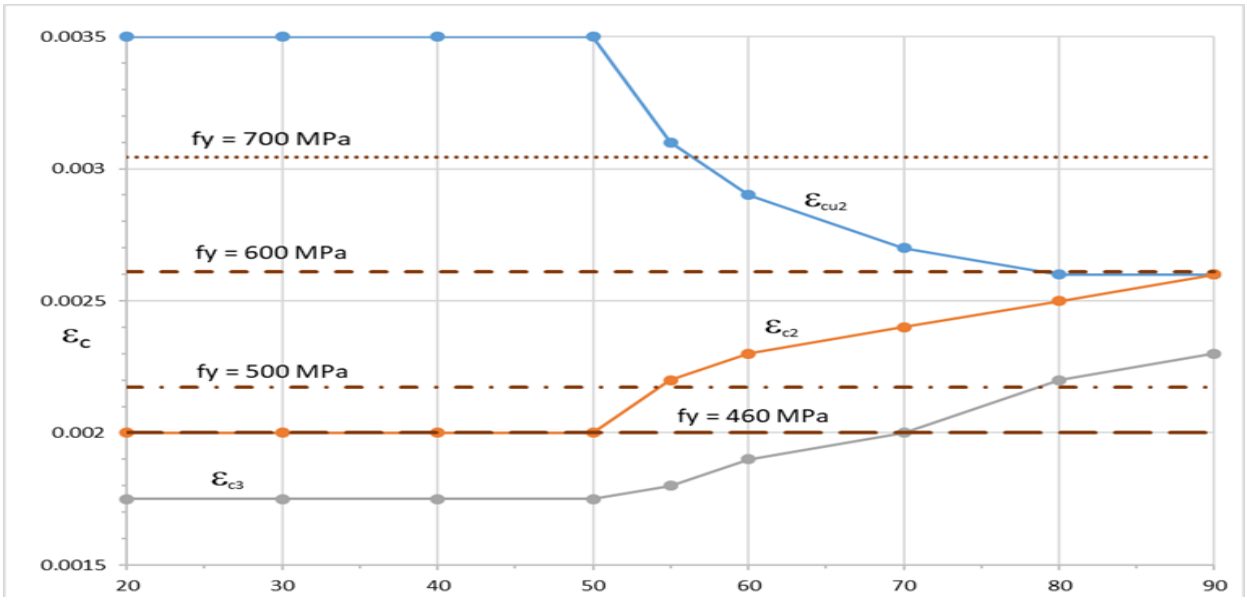
ইউরোকোড

ইউরোকোড-2 অনুযায়ী, ইল্ড স্ট্রেংথ-এর পরিসীমা ৪০০ N/mm^2 থেকে ৬০০ N/mm^2 এর মধ্যে থাকতে হবে [৭] । এই কোডের অধীনে বারের ব্যাসের জন্যে কোনো ঊর্ধ্ব সীমা নেই। সার্ভিসযোগ্যতা সীমা কলামগুলির জন্যে একটি গৌণ ভূমিকা পালন করে। এ কারণেই উচ্চ শক্তির রিইনফোর্সমেন্টের প্রথম প্রয়োগের জন্যে কলামগুলোকে আদর্শ বলে বিবেচনা করা হয়। ইউরোকোড-2, 2011 দ্বারা কলামগুলোর জন্য নিম্নলিখিত সীমাবদ্ধতাগুলো প্রদান করা হয়েছে:

- সর্বাধিক রিইনফোর্সমেন্ট অনুপাত: $\rho \leq 8\%$ (ল্যাপ অংশে $\rho \leq ৮\%$) (EN 1992-1-1, EC 2, 2011)।
- কনসেন্ট্রিক লোডিংয়ের জন্যে সর্বাধিক কংক্রিট স্ট্রেন: $\varepsilon_c \leq ০.০০২$ (EN 1992-1-1, EC 2, 2011)।

উচ্চ শক্তির রিইনফোর্সমেন্ট সহ কলামগুলোর লক্ষ্য হল উচ্চ ধারণক্ষমতা এবং উপকরণের সর্বাধিক ব্যবহার নিশ্চিত করা। এই কারণে, উভয় সীমাবদ্ধতাই শিথিল করা উচিত।

রিইনফোর্সমেন্ট অনুপাতের সীমাবদ্ধতা ঢালাই যোগ্যতা দ্বারা নির্ধারিত হয়। ছোট ব্যাসার্ধের ক্ষেত্রে ৮% এর বেশি রিইনফোর্সমেন্ট অনুপাতের জন্যে কংক্রিট স্থাপন করা এবং উচ্চমানের ঢালাই নিশ্চিত করা সম্ভব নয়। এ কারণেই ইউরোকোড-2, 2011 (EN 1992-1-1 (EC 2), 2011), অনুপাতটি সীমাবদ্ধ করেছে। বড় ব্যাসার্ধের (৭৫ মিমি পর্যন্ত) রিইনফরসিং স্টিল-এর ক্ষেত্রে কলামগুলি এমনকি ২০% পর্যন্ত রিইনফোর্সমেন্ট অনুপাতের সাথেও ঢালাই করা যেতে পারে । এই জন্য উচ্চ শক্তির কলামের ক্ষেত্রে, অভিজ্ঞতা দ্বারা প্রমাণিত হিসেবে সর্বাধিক অনুপাত $\rho = ২০\%$ নির্ধারণ করা হয়।



চিত্র ১: হাই-স্ট্রেংথ ও সাধারণ স্টিলের স্ট্রেস–স্ট্রেইন সম্পর্ক (Tan *et al,* 2019)

স্ট্রেন সামঞ্জস্যতা

কম্প্রেশনে কংক্রিটের সর্বাধিক স্ট্রেন, গ্রেড C50/60 পর্যন্ত ০.০০৩৫ এবং উচ্চ শক্তির কংক্রিটের ক্ষেত্রে এটি কমে C90/105 -এর জন্যে ০.০০২৬ (উপরের টেবিল অনুযায়ী)। তাই যখন একটি প্রচলিত স্বাভাবিক নর্মাল স্ট্রেংথ-এর রিবার লম্বালম্বি রিইনফোর্সমেন্ট হিসেবে ব্যবহৃত হয়, তখন স্টিল বারটির স্ট্রেন কংক্রিটের সর্বাধিক স্ট্রেনে পৌঁছানোর আগে কম্প্রেশন ইল্ডে পৌঁছাতে সক্ষম হবে। কিন্তু যখন গ্রেড ৬০০ MPa রিবার ব্যবহৃত হয় যার উচ্চতর ইল্ড স্ট্রেন থাকে, তখন কংক্রিটের সর্বাধিক স্ট্রেনে পৌঁছানোর পরেও এটি ইল্ডে পৌঁছাতে নাও পারে। আরও বেশি সীমাবদ্ধতা পরিলক্ষিত হয় পিওর অক্ষীয় কম্প্রেশনের ক্ষেত্রে । কংক্রিটের স্ট্রেন সর্বাধিক চাপের ক্ষেত্রে C50/60 কংক্রিটের জন্যে ০.০০২ এবং C90/105 কংক্রিটের জন্যে ০.০০২৬ হয়। অতএব, এটি নিয়ে উদ্বেগ রয়েছে যে গ্রেড ৬০০ MPa স্টিল বারগুলো পিওর কম্প্রেশনের ক্ষেত্রে কংক্রিটের সর্বাধিক চাপের আগে ইল্ড পটেনশিয়ালে পৌঁছাতে নাও পারে যদি না খুব উচ্চ শক্তির কংক্রিট ব্যবহার করা হয়।

ইউরোকোড-2 অনুযায়ী, স্বাভাবিক শক্তির কংক্রিট-এর জন্যে স্ট্রেন হল ০.০০৩৫ এবং উচ্চ শক্তির কংক্রিট এর জন্যে এটি ০.০০২৬ তে কমে যায়। উপরের চিত্রে দেখানো হয়েছে স্বাভাবিক শক্তির কংক্রিটের জন্যে কংক্রিটের এই কম্প্রেশন স্ট্রেনটি ৭০০ MPa বা তার কম শক্তির স্টিলের ডিজাইন ইল্ড স্ট্রেনের সমান বা তার চেয়ে বেশি এবং তাই স্টিল বেন্ডিং এবং কম্প্রেশন লোডের ক্ষেত্রে ইল্ড পয়েন্টে পৌঁছানোর সম্ভাবনা রয়েছে (Tan *et al,* 2019) ।

উপরের চিত্র-১-এ দেখানো হয়েছে কিভাবে হাই-স্ট্রেংথ স্টিলের স্ট্রেস–স্ট্রেইন কার্ভ প্রচলিত স্টিলের তুলনায় উচ্চ ইল্ড পয়েন্ট এবং অপেক্ষাকৃত ছোট ইয়েল্ড প্লেটো প্রদর্শন করে। সাধারণ স্টিল দ্রুত ইয়েল্ডিংয়ে পৌঁছায় এবং উচ্চ ডাক্টিলিটি প্রদর্শন করে, কিন্তু হাই-স্ট্রেংথ স্টিল তুলনামূলকভাবে উচ্চ লোডে ইলাস্টিক

অবস্থায় থাকে এবং ইয়েল্ডের পরে সীমিত স্ট্রেইন হারডেনিং প্রদর্শন করে। ফলে এটি ডিজাইনে ব্যবহার করার সময় কংক্রিটের ক্রাশিং স্ট্রেইনের সাথে সামঞ্জস্য রক্ষা করা প্রয়োজন।

হাই-স্ট্রেংথ কংক্রিট

হাই-স্ট্রেংথ কংক্রিটের সঙ্গে হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সমেন্টের সমন্বয়ে কংক্রিট মেম্বারগুলোর পরীক্ষা করে দেখা যায়ে যে, উচ্চ-শক্তিসম্পন্ন রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহারের ক্ষেত্রে উচ্চ-শক্তিসম্পন্ন কংক্রিট ব্যবহার করা সুবিধেজনক। হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সমেন্টের জন্যে প্রয়োজনীয় ডেভেলপমেন্ট এবং স্প্লাইস দৈর্ঘ্য কমাবে, ফ্লেকজারাল মেম্বারগুলির ডিফরমেশন সক্ষমতা উন্নত করবে, মেম্বারগুলোর লোড ক্যাপাসিটি ও শিয়ার স্ট্রেংথ বৃদ্ধি করবে, বিশেষ মোমেন্ট ফ্রেমের সংযোগস্থলগুলোর শিয়ার স্ট্রেংথ বৃদ্ধি করবে এবং ডিফ্লেকশন হ্রাস করবে।

উচ্চ-শক্তিসম্পন্ন কংক্রিট একসিয়াল এবং ফ্লেকজারাল উভয়ের সমন্বিত লোড-এর ক্ষেত্রে কলামের স্ট্রেংথ বৃদ্ধি করে, কারণ একটি ছোট স্ট্রেস ব্লক সাধারণ শক্তির কংক্রিটের অংশের সমপরিমাণ কম্প্রেশন স্ট্রেংথ ধারণ করতে পারে। একই অক্ষীয় লোড-এর ক্ষেত্রে, একটি ছোট স্ট্রেস ব্লক টেনশন এবং কম্প্রেশন কাপলের মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি করে, ফলে ফ্লেকজারাল স্ট্রেংথ বৃদ্ধি পায়।

উপসংহার

হাই-স্ট্রেংথ ও হাই-পারফরমিং রিইনফোর্সিং স্টিলের ব্যবহারের বর্তমান তথ্যকে সংহত করে প্রকৌশলী এবং গবেষকদের ব্যবহারের জন্যে একটি সমন্বিত নির্দেশিকা তৈরি করা এখন সময়ের দাবি। সেক্ষেত্রে নির্মাণ শিল্পের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট সকল প্রকৌশলী, স্থপতি, ভবন মালিক, ডেভেলপার, রিইনফোর্সিং স্টিল নির্মাণকারী প্রতিষ্ঠানসহ সর্বোপরি সরকারেরও হাই-স্ট্রেংথ ও হাই-পারফরমিং স্টিল ব্যাবহারের অঙ্গিকার প্রয়োজন, যা টেকসই উন্নয়নের জন্যে অপরিহার্য। সাম্প্রতিক বছরগুলোতে, সুউচ্চ আধুনিক নতুন নতুন ভবন ও উন্নত স্থাপত্য - সমৃদ্ধ স্থাপনার অনেক চাহিদা বৃদ্ধি পেয়েছে। এই চাহিদাগুলোর মধ্যে রয়েছে কাঠামোগত নিরাপত্তা, চিত্তাকর্ষক নকশা, উচ্চমাত্রার স্থায়িত্ব, এবং কম পরিবেশগত ক্ষতির প্রভাব। এই সমস্ত চাহিদা পূরণ করতে, উচ্চ মানসম্পন্ন পণ্য ব্যবহারের পাশাপাশি উদ্ভাবনী পদ্ধতির প্রয়োগ জরুরি, যা ভবনের স্ট্রাকচারাল মেম্বারগুলোর অপ্টিমাইজেশনের দিকে লক্ষ রাখে। উৎপাদন প্রক্রিয়া, ক্রস-সেকশন হ্রাস এবং স্থায়ীত্বের সুবিধাগুলো হাই-স্ট্রেংথ ও হাই-পারফরমিং স্টিল ব্যবহারের মাধ্যমে অর্জন সম্ভব।

উপরোক্ত গবেষণা এবং বিশ্লেষণের মাধ্যমে স্পষ্ট হয়েছে যে —

(১) ৬০০ MPa বা তদূর্ধ্ব গ্রেডের হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সমেন্ট সঠিকভাবে নির্মাণ ও ব্যবহার করা হলে সাধারন স্টিল থেকেও অতিরিক্ত স্টিল সাশ্রয় সম্ভব;

(২) কংক্রিটের স্ট্রেন কম্প্যাটিবিলিটি ও ডাক্টিলিটি বিবেচনা না করলে বিল্ডিং ও কাঠামোর ঝুঁকি বাড়ে;

(৩) হাই-স্ট্রেংথ কংক্রিটের সঙ্গে হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সমেন্টের সমন্বয়ে কংক্রিট-এর ব্যাবহার স্টিলের সাশ্রয়, নির্মাণ-এর সার্বিক ক্যাপাসিটি, কার্যক্ষমতা ও স্থায়িত্ব বৃদ্ধি করে ।

(৪) BNBC ২০২০ বর্তমানে ACI 318-08 অনুসরণ করলেও, ACI 318-19 ও ইউরোকোড-২ এর আপডেটেড ধারা অনুসরণ করা বাংলাদেশের নির্মাণশিল্পের জন্য অপরিহার্য;

(৫) হাই-স্ট্রেংথ রিইনফোর্সমেন্ট ব্যবহারের নিরাপদ প্রয়োগের জন্য জাতীয় পর্যায়ে ডিজাইন গাইডলাইন ও ট্রেনিং অপরিহার্য।

সুতরাং, সরকার, ডিজাইনার ও শিল্প প্রতিষ্ঠানগুলোর সম্মিলিত উদ্যোগে হাই-স্ট্রেংথ স্টিলের যথাযথ মান ও নির্দেশিকা প্রণয়ন করা হলে এটি বাংলাদেশের টেকসই নির্মাণ শিল্পে এক নতুন দিগন্ত উন্মোচন করবে।

তথ্যসূত্র

AISC Committee on Specifications Ad Hoc Task Group on High Strength Steel. (2019, December 19). *Task group report on high strength steel (Version 5.0 – Final).* American Institute of Steel Construction.

American Concrete Institute. (2014). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14).* American Concrete Institute.

American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19).* American Concrete Institute.

ASTM International. (2016). *Standard specification for deformed and plain low-alloy steel bars for concrete reinforcement (ASTM A706-16).* ASTM International.

ASTM International. (2020). *Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement (ASTM A615-20).* ASTM International.

Bangladesh National Building Code. (2020). *Bangladesh National Building Code (BNBC 2020).* Housing and Building Research Institute, Bangladesh.

Bangladesh Standards and Testing Institution. (2021). *Steel for the reinforcement of concrete—Part 2: Ribbed bars (BDS ISO 6935-2).* Bangladesh Standards and Testing Institution.

European Committee for Standardization. (2011). *Eurocode 2: Design of concrete structures—Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1).* European Committee for Standardization.

Tan, T. H., Nguyen, N. B., Li, B., et al. (2019). Design considerations and guidelines in the use of grade 600 steel reinforcements for reinforced concrete construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 603*, 052037. https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052037

Yao, X., Zhang, Y., Guan, J. F., et al. (2020). Experimental study and reliability analysis of flexural capacity of RC beams reinforced with 600 MPa grade steel. Adv. Civil Engineer. 17. https://doi.org/10.1155/2020/8899630

Disclaimer: *All articles published in BJIS remain the intellectual property of their respective authors. Accordingly, all data, information, and opinions expressed within are solely the responsibility of the authors or contributors. BJIS, along with its editors and editorial board, assumes no liability for any harm to persons or property arising from the use or application of the published content. Any claims related to such damage should be directed to the individual authors or contributors.*